Крымский Федеральный Университет имени В.И. Вернадского

На правах рукописи

Билятдинов Камиль Закирович

МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА БОЛЬШИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Научная специальность: 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

доктора технических наук

Научный консультант:
Дегтярёв Александр Борисович,
доктор технических наук, доцент

Симферополь – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 5
Основная часть 23
Глава 1. Анализ предметной области
и постановка задачи исследования 23
1.1. Анализ объекта и предмета исследования 23
1.2. Анализ проблемы исследования во взаимосвязи
с противоречиями управления эксплуатацией
большими техническими системами 39
1.3. Анализ методов оценки качества технических систем
и информационные резервы оценки качества 45
1.4. Постановка задачи диссертационного исследования
на разработку и внедрение методов и способов оценки качества
больших технических систем в процессе эксплуатации 63
Выводы по первой главе 78
Глава 2. Принципы, методы и модели оценки
качества больших технических систем в процессе эксплуатации 79
2.1. Принципы оценки качества
больших технических систем в процессе эксплуатации 79
2.2. Метод оценки качества больших технических систем
на основе вычитания матриц значений показателей 87
2.3. Усовершенствованный метод парных сравнений 112
2.4. Модифицированный метод DEA
для анализа и оценки эффективности больших технических систем 123
2.5. Математическое моделирование технических систем
в интересах рациональной организации оценки качества
в процессе эксплуатации 142
Выводы по второй главе 153

Глава 3. Модель и методики оценки процессов обеспечения устойчивости
и вероятностных характеристик больших технических систем ……... 154
3.1. Методика для анализа и оценки вероятности
не выполнения большой технической системой
своих функций в процессе эксплуатации …… 154
3.2. Методика оценки вероятности достижения цели
функционирования системы …….. 168
3.3. Модель обеспечения устойчивости
большой технической системы …….. 173
3.4. Методика для анализа и оценки процессов обеспечения
устойчивости больших технических систем ……. 187
Выводы по третьей главе ……... 199
Глава 4. Методика оценки качества компонентов
большой технической системы на базе комплексных показателей
и правил логического вывода при их экспертном парном сравнении ……. 200
4.1. Назначение, ограничения, допущения и алгоритмы методики ……..…. 200
4.2. Этапы методики ……. 204
Выводы по четвертой главе ……... 229
Глава 5. Модели и алгоритмическое обеспечение
систем принятия решений при сопровождении
больших технических систем в процессе эксплуатации ……..... 230
5.1. Модель сопровождения технических систем
в процессе эксплуатации ……..... 230
5.2. Способ рациональной работы
с информационными ресурсами больших технических систем …… 242
5.3. Анализ результатов внедрения методов и способов
и рекомендации по их применению …….. 256
Выводы по пятой главе …….. 272

Заключение ……...…. 273
Список сокращений и условных обозначений ……..… 277
Список литературы ……...…. 278

Приложение А. Примеры расчетов и применения программ для ЭВМ …….. 301

Приложение Б. Акты внедрения результатов
диссертационного исследования,
акты установки программ для ЭВМ и сведения
о государственной регистрации программ для ЭВМ ……... 347

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

В диссертации большие технические системы (далее – БТС) – это комплексы основных производственных и вспомогательных подсистем (элементов), функционирующих в рамках одного технологического процесса для достижения единой цели. БТС могут функционировать в масштабах предприятия, организации, промышленного района, производственного кластера, инфраструктуры региона и т.д. Сегодня примерами БТС являются: промышленные предприятия, агропромышленные комплексы, системы и линии связи, информационно-вычислительные центры и компьютерные сети, объекты транспорта и транспортные системы, объекты топливно-энергетического комплекса и др.

В конце XX века и в начале XXI века во всем мире существенно увеличилось значение совершенствования управления и принятия решений с целью повышения эффективности функционирования БТС. Это произошло вследствие широкого использования информационных технологий, повышения доступности и объемов обрабатываемой информации, а также высокой степени автоматизации процессов управления и производства в данных системах при одновременном повышении требований по сокращению ресурсов и времени на принятие рациональных управленческих решений на этапе эксплуатации БТС.

В свою очередь принятие таких решений основывается на оценке качества БТС и (или) оценке качества подсистем (элементов, технических изделий) в их составе. Отсюда возникает объективная необходимость в разработке новых научно обоснованных методологических, технических, технологических решений путем создания новых и совершенствования существующих методов и способов оценки качества, обработки информации при управлении БТС.

При этом, учитывая тот факт, что эффективная и устойчивая эксплуатация БТС имеет важнейшее значение для экономики Российской Федерации, то разработка и внедрение этих решений приобретает особую актуальность и вносит значительный вклад в развитие страны.

Современные БТС объединяет похожий состав технических средств управления и вспомогательных технических подсистем: автоматизированные системы управления (АСУ), системы связи, системы жизнеобеспечения, технические системы охраны (ТСО), системы электропитания и т.д., а также возможность применения единых обобщенных показателей качества и методологических подходов к оценке качества.

При всем функциональном многообразии основных производственных подсистем, определяемых их назначением, структура БТС будет состоять из подсистемы управления, основных производственных и вспомогательных подсистем (далее – технических систем).

В диссертации качество БТС – это совокупность свойств технических систем в их составе (включая свойства, проявляющиеся при совместной эксплуатации этих систем), обусловливающих пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением и целью функционирования БТС.

Эффективность БТС – это сложное интегральное свойство, зависящее от качества технических систем (качества элементов, изделий) в ее составе.

Оценка качества БТС и (или) подсистем, элементов, технических изделий в их составе (далее – систем) включает в себя выбор показателей, определение их действительных значений, сравнение их с базовыми показателями (требованиями), а при необходимости и определение (уточнение) этих базовых показателей (требований), учитывая специфику и условия функционирования БТС.

Объективная и полная оценка качества БТС в основном возможна в процессе эксплуатации. На этом этапе жизненного цикла особенно важно провести оценку качества систем в минимальные сроки, что позволит лицу, принимающему решения (далее – ЛПР), принять своевременные и обоснованные управленческие решения. Для этого должностные лица органов управления БТС (далее – ДЛ) решают следующие основные задачи:

1. Оценка качества и обоснование выбора лучшей БТС (модели БТС) из множества аналогичных систем или лучшего периода времени функционирования одной оцениваемой БТС.

2. Экспертная оценка систем с привлечением большого числа различных специалистов-экспертов (в том числе в дистанционном режиме), также в основном для обоснованного выбора лучшей системы, а иногда и для выбора лучших ресурсов для эксплуатации БТС.

3. Анализ, оценка эффективности БТС и обоснование управленческого решения по повышению (обеспечению) результативности и экономичности систем.

4. Анализ и оценка вероятности не выполнения БТС (или элементов БТС) своих функций в процессе эксплуатации.

5. Анализ и оценка процессов обеспечения устойчивости функционирования БТС в неблагоприятных условиях.

6. Оценка качества компонентов БТС (технических систем), эксплуатируемых в составе БТС, и обоснование выбора лучшей системы (ресурса) для обеспечния требуемой эффективности эксплуатации БТС.

7. Сокращение времени и (или) расхода ресурсов при оценке качества БТС и обработки информации.

8. Анализ и обработка результатов оценки и их представление ЛПР в форме удобной для принятия своевременного и обоснованного управленческого решения.

Эффективное выполнение этих задач предопределяет для ДЛ необходимость в условиях неопределенности получать и обрабатывать большое количество информации, поступающей из различных источников, так как развитие современных технологий привело к тому, что большинство систем, входящих в состав БТС, имеют аналоги, в том числе по условиям эксплуатации. Основная часть такой информации размещена на внешних информационных ресурсах, включая информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет».

В особенности это касается систем жизнеобеспечения, ТСО, систем контроля управления доступом (СКУД), систем электропитания, различных систем сигнализации (включая системы пожарной сигнализации и пожаротушения), систем оповещения, АСУ и систем связи и др. Очевидно, что от качества данных систем напрямую зависит эффективность и устойчивость функционирования БТС. Отсюда можно сделать вывод, что оценка качества БТС, должна быть основана на

выполнении обязательного условия по рациональному использованию больших объемов информации, полученной из различных источников.

В свою очередь увеличение объемов информации и количества источников информации приведет к существенному увеличению расхода времени и ресурсов. Дополнительно потребуется повышение квалификации ЛПР и персонала, проводящего оценку и обеспечивающего принятие управленческих решений. Вышеприведенные обстоятельства не позволяют в полной мере использовать апробированные методы оценки эффективности и качества, что существенно усложняет принятие своевременных управленческих решений на этапе эксплуатации БТС.

Таким образом, сегодня можно обоснованно сформулировать актуальную **проблему**, состоящую в необходимости разрешения сложившихся противоречий между возрастающим объемом разнородных источников, динамикой структурированных и неструктурированных данных о БТС и объективной потребностью в принятии своевременных управленческих решений на основе оценки качества БТС в процессе эксплуатации и при ограниченных ресурсах.

В современных условиях данная проблема все более негативно влияет на эффективность функционирования БТС, так как в условиях неблагоприятных внешних воздействий быстрее накапливается отрицательный эффект от принятия несвоевременных и (или) необоснованных (субъективных) управленческих решений вследствие чего сокращается время эксплуатации систем, повышается расход ресурсов, увеличивается количество неисправностей (отказов) систем, эксплуатируемых в составе БТС, а также существенно повышается вероятность чрезвычайных ситуаций в процессе эксплуатации БТС.

Существующие традиционные подходы к решению данной проблемы основаны на увеличении численности ДЛ (управленческого персонала) и (или) количества программно-аппаратных средств контроля. В свою очередь это увеличивает расходы на управление БТС и в большинстве случаев увеличивает время принятия управленческих решений, так как увеличивается время передачи и обработки информации. При этом обоснованность управленческих решений будет

в основном зависит от компетентности и объективности ЛПР и ДЛ БТС.

Поэтому в диссертационной работе доказано, что в отличие от традиционного подхода, решение или существенное ослабление негативного влияния вышеназванной актуальной проблемы возможно путем комплексного подхода к разработке, совершенствованию и внедрению методов и способов оценки качества БТС в процессе эксплуатации (далее – методы и способы), позволяющих при принятии управленческих решений проводить оценку качества технических систем за минимальное время с минимальными затратами ресурсов, при выполнении обязательного условия по рациональному использованию для оценки качества этих систем больших объемов разнообразной информации, полученной в процессе эксплуатации из различных источников. Повышение требований к БТС усиливает актуальность разработки и совершенствования методов и способов как комплекса научно обоснованных методологических, технических и технологических решений, которые в будущем будут вносить все более значительный вклад в развитие страны.

С практической точки зрения методы и способы будут представлять собой организованную совокупность принципов, методов, способа, моделей, методик и программ для ЭВМ, а с теоретической – основы учения об организации деятельности в области методологического, математического и программного обеспечения оценки качества технических систем, входящих в состав БТС.

Степень разработанности темы исследования. Проблемами оценки качества, эффективности, надежности, устойчивости сложных систем, совершенствования управления и обработки информации занимались многие ученые:

- В.С. Авдуевский – эффективность и надежность в технике;

- Г.Г. Азгальдов, А.В. Гличев – методы квалиметрии;

- Р.Л. Акофф (R.L. Ackoff) – исследование систем и теория операций;

- В. Купер (W.Cooper), А. Чарнес (A. Charnes) и М.Дж. Фаррелл (M.J. Farrell) – сравнительный анализ, оценка эффективности сложных систем и метод DEA (Data Envelopment Analysis);

- С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич – математико-статистические методы экспертных оценок и обработка экспертной информации;

- Дуглас Тейлор Росс (Douglas T. Ross) – методология SADT (Structural Analysis and Design Technique), методологии IDEF (I-CAM DEFinition или Integrated DEFinition), ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing);

- В.Н. Волкова – управление и системный анализ;

- Ф.Р. Гантмахер – теория матриц;

- В.А. Горелик – модели принятия решений и оценка риска;

- Э. Деминг (W.E. Deming) – управление, статистика, методология принятия решений в управлении качеством;

- А.И. Дивеев – вычислительные методы для решения задач управления;

- А.А. Зацаринный, А.И. Костогрызов, – системная инженерия, риск-ориентированный подход и качество информации в сложных системах;

- А.М. Ляпунов – теория устойчивости систем;

- Л.С. Понтрягин – теория оптимального управления;

- М.Ф. Росин – статистическая динамика и теория эффективности систем;

- Т. Саати (T.L. Saaty) – исследование операций и метод анализа иерархий;

- И.Н. Синицын – стохастические CALS-технологии (Continuous Acquisition and Life cycle Support);

- А.В. Шестаков – моделирование, оценка рисков и обработка информации;

- И.Ф. Шишкин – оценка качества и вероятностных характеристик систем;

- У. Э. Шухарт (Walter Andrew Shewhart) – статистические методы оценки, обработка и представление статистической информации, контроль качества;

- Б.С. Флейшман – системотология и потенциальная эффективность систем;

- Duddy C., Piggins A., Men J., Chen G., Chen P., Zhou L. – методы многокритериальной оптимизации и применение критерия Парето;

- и многие другие учёные.

В условиях неопределенности, возникающих при эксплуатации БТС, результаты этих важнейших научных трудов по отдельности не применимы для реализации комплексного подхода при выполнении вышеназванных пяти

основных задач оценки качества БТС в рамках решения или существенного ослабления негативного влияния проблемы исследования.

Поэтому результаты научных трудов этих и многих других учёных составили теоретическую основу диссертационного исследования, но напрямую не применимы как методы и способы оценки качества БТС в процессе эксплуатации, вследствие отсутствия в достаточной мере разработанного научно-методологического аппарата, учитывающего состав, специфику эксплуатации современных БТС и требования по повышению эффективности управления БТС.

Кроме того, повышение требований к эффективности функционирования БТС предполагает необходимость систематизации и анализа информации, используемой для оценки, а также реализацию обратной связи в виде оценки эффективности управленческих решений, принимаемых по результатам оценки качества для своевременного исправления недостатков.

Всё вышеизложенное обосновывает актуальность разработки и внедрения комплекса научно обоснованных методологических, технических и технологических решений, а также выбор темы диссертации.

Объект исследования – большие технические системы и совершенствование управления и принятия решений с целью повышения эффективности функционирования больших технических систем.

Предмет исследования – методы и способы оценки качества больших технических систем в процессе эксплуатации, как комплекс научно обоснованных технических, технологических и методологических решений, которые вносят значительный вклад в развитие страны.

Цель диссертационной работы – совершенствование управления и принятия решений в процессе эксплуатации больших технических систем за счет существенного снижения затрат времени и ресурсов на оценку качества больших технических систем путем разработки, совершенствования и внедрения методов и способов оценки качества.

В основу работы положена **гипотеза**: внедрение методов и способов позволит сократить время принятия обоснованных управленческих решений в

условиях увеличения объема используемой информации для оценки качества систем, эксплуатируемых в составе БТС.

Для достижения поставленной цели и проверки правильности гипотезы были поставлены и решены следующие **задачи диссертационной работы:**

1. Проведен анализ объекта и предмета исследования. Определены понятия информационных резервов БТС и основные универсальные показатели оценки качества систем, в наибольшей степени влияющие на обеспечение эффективности функционирования БТС.

2. Проведены анализ и систематизация методов оценки качества и моделирования потенциально применимых в процессе эксплуатации БТС.

3. Проведен анализ проблемы исследования во взаимосвязи с противоречиями управления эксплуатацией БТС в современном мире. Осуществлена постановка задачи исследования.

4. Сформулированы принципы разработки, совершенствования и внедрения методов и способов (далее – Принципы). Разработан метод оценки качества БТС с помощью вычитания матриц значений показателей качества. Матрицы составлены на основе построения и сравнения базовой и реальной структурно-функциональных моделей (далее – СФМ) системы. Разработана программа для ЭВМ, реализующая оценку качества систем методом вычитания матриц. Модифицирован метод DEA и усовершенствован метод парных сравнений для оценки качества систем. На основе кибернетического подхода разработана динамическая модель БТС для рациональной оценки качества систем, эксплуатируемых в его составе.

Принципы, методы и модели составляют теоретическую часть исследования, как совокупность новых научно обоснованных методологических решений в сфере совершенствования управления и принятия управленческих решений. Теоретическая часть послужила основой для решения задач практической части диссертационной работы.

5. На основе динамической модели БТС разработана и внедрена модель сопровождения систем в процессе эксплуатации как технологическое решение по

совершенствованию управления эксплуатацией БТС.

6. На основе модифицированного метода DEA разработана и внедрена методика оценки эффективности систем (методологическое решение), а также программы для ЭВМ, реализующие данную методику – техническое решение.

7. Разработана и внедрена модель обеспечения устойчивости БТС, которая позволяет моделировать изменения количественных значений основных показателей оценки качества БТС в зависимости от результатов деструктивных воздействий (методологическое решение).

8. На основе модели обеспечения устойчивости БТС разработаны и внедрены методика для анализа и оценки процессов обеспечения устойчивости больших технических систем (методологическое решение) и программа для ЭВМ, реализующая данную методику (техническое решение).

9. Разработана и внедрена методика оценки качества компонентов большой технической системы на базе комплексных показателей и правил логического вывода при их экспертном парном сравнении (методологическое решение) с использованием усовершенствованного метода парных сравнений. Разработана программа для ЭВМ для оценки качества систем посредством усовершенствованного метода парных сравнений, применяемая при дистанционном опросе экспертов в сети «Интернет».

10. Разработаны и внедрены методики оценки вероятностно-временных характеристик (далее – ВВХ) БТС в зависимости от вероятности выхода из строя систем в их составе (методологическое решение), а также программы для ЭВМ, реализующие данные методики (технические решения).

11. Разработаны и внедрены способ и алгоритмы рациональной работы с информационными ресурсами БТС (далее – Способ) – технологическое решение, а также программа для ЭВМ, реализующая этот способ (техническое решение).

12. Оценены результаты внедрения методов и способов. Сформулированы рекомендации по рациональному применению методов и способов, в том числе для формирования интеграционных резервов повышения эффективности БТС.

Научная новизна. Впервые систематизированы противоречия управления БТС и сформулирована проблема оценки качества БТС в процессе эксплуатации. Предложены новые научно обоснованные методологические, технологические и технические решения в сфере совершенствования управления БТС и принятия управленческих решений по результатам оценки качества систем. На единой методологической базе разработаны Принципы и метод оценки качества на основе вычитания матриц и СФМ, а также применен кибернетический подход при моделировании динамики эксплуатации систем, усовершенствованы методы, позволяющие оценивать эффективность и качество систем в процессе эксплуатации. Разработаны универсальные модели и методики, которые могут применяться как по отдельности, так и в комплексе, открывающие перспективные направления совершенствования систем. Разработаны Способ и алгоритмы с целью существенного уменьшения затрат времени и ресурсов на оценку качества и подготовку управленческих решений и для формирования информационных резервов БТС.

Теоретическая и практическая значимость результатов

Теоретическая значимость результатов

Исследованы и систематизированы по четырем уровням противоречия управления современными БТС: личностный, общественный, технический и организационно-технический. Внедрение методов и способов востребовано на техническом и организационно-техническом уровнях. Сформулированы и обоснованы Принципы. Определены и систематизированы основные универсальные показатели оценки качества систем.

В методе оценки качества БТС на основе вычитания матриц значений показателей качества (далее – Матриц) разработаны: унифицированные табличные формы структурно-функциональных моделей (далее – СФМ) БТС, правила составления и формулы вычитания Матриц. В СФМ БТС описывается участие систем в выполнении функций БТС, их количество и показатели качества, проранжированные в зависимости от их значимости для обеспечения эффективного функционирования БТС.

Разработана формула расчёта комплексного показателя качества функционирования БТС, учитывающая установленные в базовой СФМ БТС приоритеты значений множества показателей и результаты вычитания Матриц.

Усовершенствован метод парных сравнений путем систематизации правил логических выводов, применимых для программной реализации автоматической обработки экспертной информации. Выведены и применены формулы проверочных значений при использовании метода парного сравнения: контрольное число суммы баллов, а также минимально и максимально возможные количественные значения (суммы баллов для одной системы и коэффициента качества системы). Разработана таблица проверочных значений для проверки на непротиворечивость получаемых результатов.

Модифицирован метод DEA. В отличие от классического метода DEA в модифицированном методе разработаны формулы расчёта значений комплексных показателей результативности, экономичности и эффективности систем с учетом их базовых (требуемых) значений, а также табличные формы для систематизации результатов оценки корреляционной зависимости, и вводятся предельные значения показателей качества (коэффициент вето).

В методике оценки эффективности систем реализованы основы усовершенствованного метода парных сравнений и модифицированного метода DEA. Определён порядок действий по расчёту значений показателей и составления рейтинга эффективности систем при использовании базовой СФМ БТС.

В динамической модели БТС отражена зависимость изменения параметров времени и расхода ресурсов на эксплуатацию от воздействий внешней среды и принимаемых управленческих решений. Динамическая модель БТС разработана на основе кибернетического подхода с учетом пространства метрик показателей качества.

При использовании динамической модели в модели сопровождения систем в процессе эксплуатации определены наиболее рациональные роль и место оценки качества систем, разработаны схемы сопровождения, взаимодействия, алгоритм оценки качества и принятия решений, а также сформулированы и описаны типы

возможных управленческих решений по результатам оценки качества во взаимосвязи с затратами времени и ресурсов на их выполнение.

В модели обеспечения устойчивости БТС описана как совокупность систем, влияющих на устойчивость ее функционирования. Определены показатели оценки качества систем, влияющие на устойчивость БТС. Разработаны формулы и взаимосвязанные табличные формы, включающие в себя метрики показателей качества, для описания состояния устойчивости БТС в неблагоприятных условиях.

На основе модели обеспечения устойчивости в методике анализа и оценки процессов обеспечения устойчивости БТС разработаны схемы динамики процесса обеспечения устойчивого функционирования БТС, для составления последовательности и формул расчёта коэффициента устойчивости и формул необходимых условий обеспечения устойчивого функционирования БТС. Определены критерии устойчивости БТС в зависимости от требуемого количества систем, эксплуатируемых в составе БТС.

В методике для анализа и оценки вероятности не выполнения БТС своих функций в процессе эксплуатации введен показатель оценки качества – вероятность одновременного отказа (неисправности) заданного количества систем, при котором нарушается функционирование БТС. Показатель рассчитывается с помощью усовершенствованной формулы, выведенной на основе закона биноминального распределения для выборки с возвратом.

В методике оценки качества компонентов БТС на базе комплексных показателей и правил логического вывода при их экспертном парном сравнении определены этапы методики, в составе которых разработаны алгоритмы и формулы расчётов нормированных весовых коэффициентов важности показателей качества, комплексных показателей качества и табличные формы для наиболее рационального выполнения расчётов и обработки статистической и экспертной информации с использованием усовершенствованного автором метода парных сравнений.

В способе рациональной работы с информационными ресурсами (ИР) БТС определена структура и содержание ИР БТС в виде базы данных основных

сведений о системе и архива, в котором предусмотрены учёт и идентификация источников информации. Разработаны алгоритм работы с информационными ресурсами, схема организации ИР БТС, реестры источников информации и системотехнические решения в виде комплексного применения программ для ЭВМ, разработанных автором.

Практическая значимость результатов

Принципы и модели предусматривают три направления применения методов и способов: совершенствование эксплуатации и технического обеспечения (ТО) систем, использование в НИОКР при модернизации систем и создании новых систем, при подготовке кадров для эксплуатации и ТО БТС. Это позволяет применять системный подход для наиболее рациональной оценки с учетом специфики БТС, что в комплексе с ИР БТС способствует снижению риска БТС за счет своевременного принятия обоснованных управленческих решений.

Модели и методы послужили основой создания методик и алгоритмов, программная реализация которых позволила существенно снизить затраты времени и ресурсов на оценку эффективности и качества систем и своевременное принятие управленческих решений по результатам оценки.

Метод оценки качества БТС на основе вычитания Матриц позволяет существенно уменьшить время комплексной оценки БТС (или периодов времени эксплуатации) без затрат дополнительных ресурсов. СФМ БТС и рейтинг качества БТС способствуют выявлению недостатков и принятию обоснованных управленческих решений по их своевременному устранению. Разработанные алгоритмы и программа для ЭВМ, позволяют рационально применять на практике данный метод для оценки БТС различного назначения.

Применение базовой и реальных СФМ БТС обеспечивает учёт специфики, требуемый уровень детализации функций БТС и выступает основой использования методики оценки устойчивости, методики оценки вероятностных характеристик систем и комплексной методики оценки качества систем.

Усовершенствованный метод парных сравнений обладает необходимой универсальностью для сравнительной оценки различных систем. Программная

реализация метода позволяет дистанционно привлекать к оценки большое количество экспертов (при использовании компьютерных сетей), существенно сократить время обработки экспертной информации, противодействовать вводу ложной информации и вести учёт источников информации, которыми пользовались эксперты.

Модифицированный метод DEA и методика оценки эффективности систем совместно с программой для ЭВМ «Анализ и оценка эффективности систем» сокращают время на оценку результативности и экономичности при требуемой детализации израсходованных ресурсов и полученного результата, а также позволяют проводить анализ корреляционной зависимости всех используемых переменных и составлять рейтинг эффективности систем.

Методика для анализа и оценки вероятности не выполнения БТС своих функций в процессе эксплуатации совместно с программой для ЭВМ «Расчет и анализ вероятностных характеристик системы» позволяет экономить время и ресурсы БТС и оценивать вероятностные характеристики одновременного выхода из строя (неисправности) заданного количества систем (элементов, изделий) в составе БТС.

Модель обеспечения устойчивости БТС позволяет проводить анализ изменений состояний устойчивости БТС в неблагоприятных условиях эксплуатации и влияния качества систем в составе БТС на устойчивость и эффективное функционирование.

Методика для анализа и оценки процессов обеспечения устойчивости БТС совместно с программой для ЭВМ «Оценка устойчивости систем» позволяет рассчитать коэффициент устойчивости БТС при эксплуатации в неблагоприятных условиях и оценить запас устойчивости БТС, исходя из расхода времени и ресурсов на восстановление функционирования требуемого количества систем (элементов, изделий) в составе БТС.

Методика оценки качества компонентов большой технической системы на базе комплексных показателей и правил логического вывода при их экспертном парном сравнении позволяет без затрат дополнительных ресурсов существенно

уменьшить время оценки качества с использованием статистической и экспертной информации, получаемой из различных источников. Методика способствует поддержанию в актуальном состоянии ИР БТС и ведению реестров источников информации. Обоснования и детализация рейтинга качества систем предоставляют ЛПР возможность выбора лучшей системы для эксплуатации в составе БТС в требуемых условиях. Наличие обратной связи позволяет оценивать эффективность принятых решений с использованием программы для ЭВМ «Анализ и оценка эффективности систем».

Модель сопровождения систем в процессе эксплуатации позволяет ЛПР и ДЛ БТС рационально организовать работу по совершенствованию и развитию систем на основе эффективного применения методов и способов. Разработанные в рамках данной модели алгоритмы оценки и схема организации взаимодействия в процессе оценки качества обеспечивают снижение времени оценки в условиях увеличения объемов используемой информации.

Способ рациональной работы с информационными ресурсами (далее – Способ) совместно с программой для ЭВМ «Реализация способа рациональной работы с информационными ресурсами и формирования информационных резервов системы» обеспечивает системное и комплексное использование ИР БТС, методов, моделей, методик, алгоритмов и программ для ЭВМ. Таким образом обеспечивается существенное сокращение расхода времени и ресурсов на оценку качества и обработку информации при подготовке управленческих решений. Способа применим при бумажном и электронном документообороте, то есть может выступать дополнительным фактором обеспечения устойчивости системы управления БТС.

Динамическая модель БТС, модель сопровождения систем и Способ выступают как модели и алгоритмическое обеспечение систем принятия решений при сопровождении БТС в процессе эксплуатации и способствуют организации постоянного контроля качества систем в процессе эксплуатации и ТО, а также являются основой проактивного управления БТС.

Методология и методы исследования. Методологическую основу исследования составляют методы общей теории систем, классический теоретико-множественный аппарат, теория матриц, методы системного анализа и синтеза, методы системной инженерии. Метод парного сравнения, метод DEA, методы групповых экспертных оценок, статистические методы, методы моделирования и применение кибернетического подхода. Методология SADT и стандарт IDEF0.

Основной научный результат. Разработаны и внедрены Принципы, методы, модели, методики, Способ, алгоритмы и программы для ЭВМ, предназначенные для оценки качества БТС в процессе эксплуатации, и отличающиеся тем, что на основе синтеза структурно-функциональной архитектуры БТС, анализа и распределения структурированных и неструктурированных данных о БТС (системах в их составе), формируется комплекс сверток нормированных метрик характеристик существенных свойств БТС в динамических условиях эксплуатации с учетом ограниченных ресурсов для принятия управленческих решений, повышающих эффективность функционирования БТС.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Метод оценки качества больших технических систем на основе вычитания матриц значений показателей.

2. Модифицированный метод DEA для анализа и оценки эффективности больших технических систем.

3. Методика для анализа и оценки вероятности не выполнения большой технической системой своих функций в процессе эксплуатации.

4. Модель и методика для анализа и оценки процессов обеспечения устойчивости больших технических систем.

5. Методика оценки качества компонентов большой технической системы на базе комплексных показателей и правил логического вывода при их экспертном парном сравнении.

6. Модели и алгоритмическое обеспечение систем принятия решений при сопровождении больших технических систем в процессе эксплуатации.

Степень достоверности и апробация результатов

Обоснованность научных положений, рекомендаций и выводов определяется корректным использованием апробированных методов и моделей, предварительным статистическим анализом результатов оценки эффективности применения Способа и методик, а также согласованностью результатов моделирования.

Достоверность положений и выводов диссертации подтверждена 11 положительными актами внедрения основных результатов диссертации и 2 актами установки программ для ЭВМ.

Практическая ценность и реализация результатов работы

Научные результаты, полученные в диссертации, доведены до практического применения при эксплуатации БТС. Они представляют непосредственный интерес в области оценки эффективности и качества систем, подготовки управленческих решений, обеспечения устойчивости БТС различного назначения, комплексного совершенствования управления и принятия решений с целью повышения эффективности функционирования.

В соответствии с 11 актами внедрения результатов диссертационного исследования и 2 актами установки программ для ЭВМ, разработанные и усовершенствованные методы, разработанные Способ, модели, методики, алгоритмы и программы для ЭВМ прошли апробацию и внедрены для практического применения в БТС, а также используются при подготовке кадров в высших учебных заведениях.

Апробация работы. Содержание диссертации было доложено и получило одобрение на 15 научных конференциях (2013-2022).

Диссертация соответствует пунктам 3, 5, 11 и 13 паспорта научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Совокупность научных положений, идей и практических результатов диссертационного исследования, представленных в виде разработанного автором комплекса новых научно обоснованных технических, технологические и

методологических решений в области совершенствования управления и принятия решений с целью повышения эффективности функционирования БТС, что вносит значительный вклад в развитие страны.

Личный вклад автора состоит в формулировке и обосновании проблемы исследования и нахождении рационального пути ее решения или существенного ослабления негативного влияния на эффективность управления БТС, заключающегося в разработке и внедрении методов и способов, как комплекса научно обоснованных технических, технологических и методологических решений, которые вносят значительный вклад в развитие страны.

Все научные результаты получены автором самостоятельно.

Публикации. По теме исследования были зарегистрированы в качестве автора (соавтора) и правообладателя 8 программ для ЭВМ (из них без соавторов – 6 программ для ЭВМ) и опубликовано в качестве автора и соавтора 40 научных статей в 15 рецензированных научных изданиях по перечню ВАК (включая Scopus, Web of Science, RSCI и ядро РИНЦ): общим объемом 15,98 п.л. – личный вклад автора 14,52 п.л. (из них без соавторов опубликовано 16 научных статей по перечню ВАК).

Структура и объём диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, содержащего 217 источников, и двух приложений: А «Примеры расчетов и применения программ для ЭВМ» и Б «Акты внедрения результатов диссертационного исследования, акты установки программ для ЭВМ и сведения о государственной регистрации программ для ЭВМ».

Объем диссертации без приложений составляет 300 страниц.

Общий объем диссертации с приложениями составляет 370 страниц.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Глава 1. Анализ предметной области и постановка задачи исследования

1.1. Анализ объекта и предмета исследования

Развитие производственных сил на протяжении двух десятилетий XXI века показало, что принятие своевременных рациональных управленческих решений на основе оценки качества систем, входящих в состав БТС, играет важнейшую роль при обеспечении их эффективного функционирования. Современные БТС, вне зависимости от назначения, объединяет то обстоятельство, что в их составе присутствует одинаковая организованная совокупность систем, эксплуатируемых в различных условиях: АСУ, системы связи, системы жизнеобеспечения, ТСО, системы электропитания, системы автоматизации технологических процессов, СКУД, различные системы сигнализации и т.д. (рисунок 1.1.1).

Специфика функционирования БТС требует проведения анализа предметной области в рамках выполнения задач исследования с учетом функционального разнообразия систем в их составе (рисунок 1.1.1) [36, с. 199-200].

Анализ обобщенного состава БТС (рис. 1.1.1) показывает их структурное и функциональное многообразие. БТС состоит из большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов. Поэтому при оценке качества необходимо дополнительно учитывать качество отдельных видов оборудования и аппаратуры, имеющих аналоги в составе других систем. В первую очередь это относится к различным аппаратно-программным комплексам и средствам автоматизации, которые входят в состав большинства современных БТС, в том числе в состав их производственных подсистем.

Данное условие объясняется, тем, что в конце XX века и в начале XXI века произошло значительное увеличение объема и скорости обработки информации, вследствие развития информационных технологий [28, с. 40].

Рисунок. 1.1.1. Основные типовые технические системы, эксплуатируемые в составе современных БТС, и связи между ними

Это послужило одной из причин увеличения степени влияния как между элементами внутри любой БТС, так и с взаимодействующими системами в составе БТС (рис. 1.1.1) и с внешней средой в целом. Данные обстоятельства потребовали системного подхода к процессу принятия управленческого решения и более полного учета его последствий в будущем.

Вместе с тем во втором десятилетии XXI века развитие информационных технологий, современных систем связи, программных и аппаратных средств, используемых в процессе обеспечения управления, послужили основой повышения качества управленческих решений.

Однако, информационные технологии выполняют обеспечивающие функции при принятии решения и не могут заменить собой действия должностных лиц (ДЛ) органов управления (ОУ) [28, с. 40].

Поэтому в интересах достижения цели исследования и для формирования единых методологических подходов к оценке качества БТС её структуру (S_{BTS}) целесообразно описать как организованную совокупность элементов (систем) и связей между ними, возникающих в процессе эксплуатации, (рис. 1.1.1) и, соответственно, представить в виде множеств систем (N) и связей (C):

$$S_{BTS} = \{N_{j.i},\ C_{l.h};\ \ j=1,j;\ i=1,I;\ l=1,L;\ h=1,H\},$$

где $N_{j.i}$ – множество различного типа (назначения) систем, эксплуатируемых в составе БТС;

$C_{l.h}$ – множество различного типа (назначения) связей между этими системами;

i – обозначение (признак) типа системы в составе БТС;

j – количество i-типа (назначения) систем в составе БТС;

h – обозначение (признак) связи между системами;

l – количество h-связей между системами.

В свою очередь свойства систем и связей, возникающих в процессе эксплуатации, выражаются значениями показателей качества. Своевременность, достоверность, непротиворечивость и доступность этой информации напрямую влияет на принимаемые в процессе эксплуатации БТС управленческие решения.

Дополнительно необходимо учитывать особую специфику оцениваемых БТС (отличия от других сложных систем) [21, 23, 41]:

- повышенная значимость устойчивости их эксплуатации и эффективного функционирования БТС для страны;

- исследуемые БТС уникальны как по составу технических систем, так и по разнообразию своего функционального предназначения;

- разнообразие вариантов расположения, природных и географических условий, влияющих на эксплуатацию систем;

- БТС стационарны и создаются на десятилетия эксплуатации;

- дислокация большинства БТС вблизи или в городах с необходимостью использования инфраструктуры городов и трудовых ресурсов;

- БТС могут быть объектами двойного назначения, включая метрополитены

больших городов, предприятия и организации оборонной промышленности и др.;

- как правило наличие развитой сети внутренних коммуникаций (подземных, наземных и воздушных) большой протяженности, а также очень значительных объемов запасов материальных средств (ресурсов) для эксплуатации;

- зависимость БТС от взаимодействия с другими внешними БТС, работы транспортной инфраструктуры и т.д. [24, с. 152].

Поэтому известные методы оценки качества (будут далее рассмотрены в параграфе 1.3 диссертации) в полной мере не рационально использовать на этапе эксплуатации, вследствие особой специфики и уникальности исследуемых БТС и систем в их составе (рис. 1.1.1).

Для формирования единых методологических основ исследуемые БТС целесообразно представить в виде одного класса сложных систем, то есть в виде совокупности множества объектов, обладающих согласно общепринятых критериев классификации систем [13] следующими особенностями [68, с. 106]:

1. По взаимодействию с внешней средой – открытые системы.
2. По структуре – сложные системы.
3. По характеру основных функций – специализированные.
4. По характеру развития – развивающиеся (подверженные модернизации).
5. По степени организованности – хорошо организованные.
6. По характеру связи между элементами – детерминированные.
7. По характеру структуры управления – централизованные.
8. По назначению – производящие продукцию, товары, услуги.

Вышеперечисленные особенности будет одновременно выступать признаками общности.

При этом важно отметить, что сегодня методы и способы оценки качества систем актуальны и востребованы в CALS-технологиях (англ. Continuous Acquisition and Life cycle Support), то есть при обеспечении непрерывной информационной поддержки поставок и жизненного цикла технических систем, эксплуатируемых в составе БТС [144].

Таким образом, особая специфика оцениваемых БТС определяют

уникальность разрабатываемых методов и способов с учетом необходимости более полного и рационального использования информации, полученной по результатам эксплуатации систем в составе БТС. Дополнительно важно отметить, что структурное и функциональное многообразие систем (рис. 1.1.1), а также возможное наличие более эффективных аналогов предопределяют требования к универсальности разрабатываемых методов и способов, способных учитывать специфики эксплуатации каждой БТС [24, 35, 36]. При эксплуатации систем ЛПР получают большое количество информации о качестве систем, поступающей из различных источников. Определенная (незначительная от общего объема) часть этой информации в основном используется для оценки возможностей БТС и планирования технического обеспечения (далее – ТО).

По субъективным мнениям ЛПР и должностных лиц органов управления эта информация может использоваться для принятия управленческих решений в интересах обеспечения эффективного функционирования [25, с. 428].

На основе вышеизложенного логично представить результаты сравнительного анализа существующего положения дел в сфере оценки качества технических систем при эксплуатации в составе БТС и современных требований в виде схемы на рисунке 1.1.2.

При этом на сегодняшний день сложилась ситуация, когда накоплены большие объемы актуальной и ценной информации о системах, полученной за десятилетия эксплуатации БТС, на которые потрачены очень значительные ресурсы и время.

Однако, в интересах оценки эффективности и качества БТС в процессе эксплуатации эта информация используется не в полном объеме и не вполне рационально. В современных условиях жизненно необходимо поддержание требуемого уровня эффективности функционирования БТС, а значит объективно увеличиваются современные требования к оценке качества системам в составе этих БТС (рис. 1.1.2). Поэтому так актуально наиболее рационально использовать информацию.

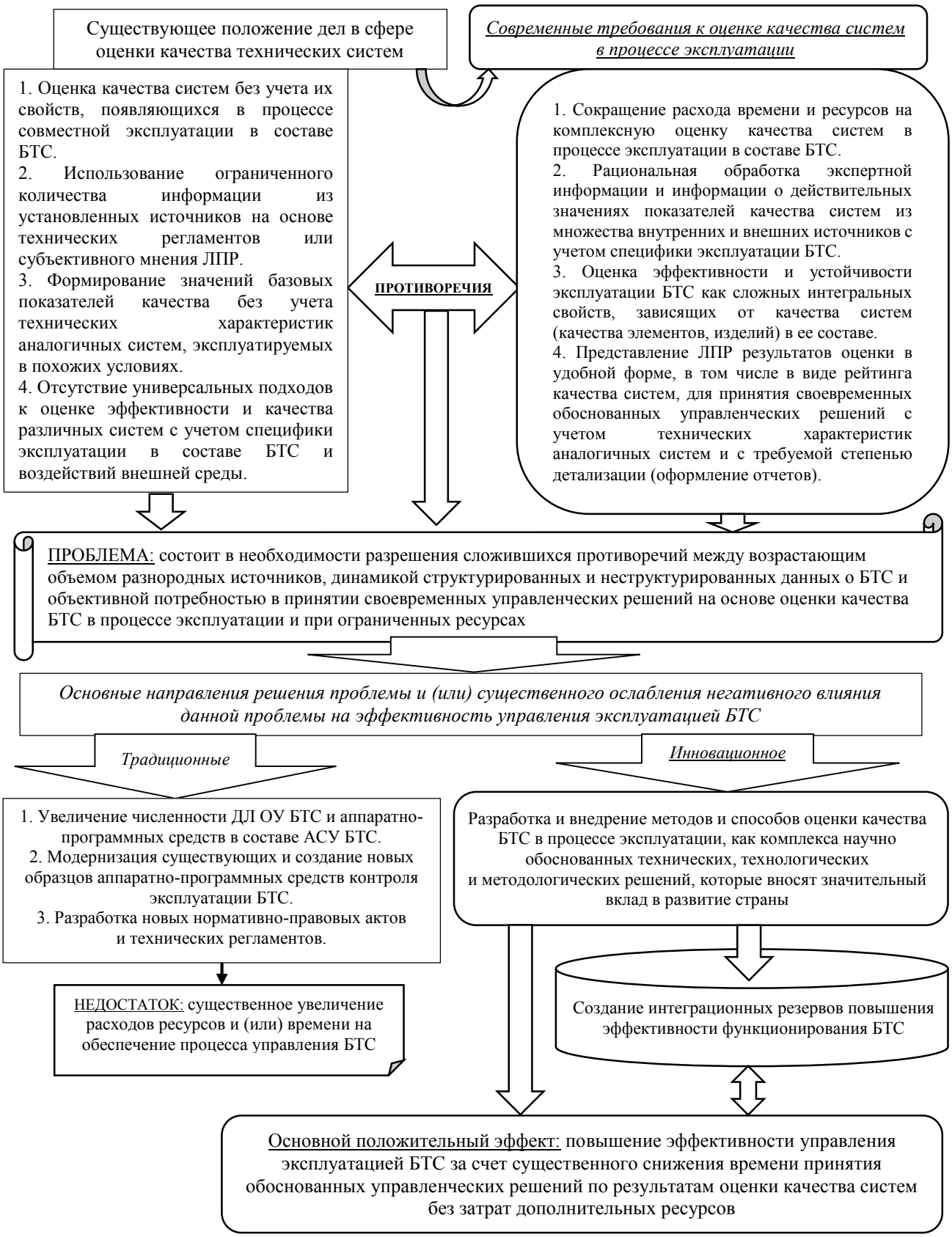


Рисунок 1.1.2. Обобщенные результаты сравнительного анализа существующего положения дел в сфере оценки качества технических систем при эксплуатации в составе БТС и современных требований

Сегодня в государственных стандартах детально описаны и систематизированы требования и рекомендации в области стадий (этапов) и процессов жизненного цикла, применимых для БТС различного назначения:

- ГОСТ Р 15.000-2016. «Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП). Основные положения.»;

- ГОСТ Р 57193-2016. «Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем.»;

- ГОСТ Р 56936-2016. «Производственные услуги. Системы безопасности технические. Этапы жизненного цикла систем. Общие требования.»;

- ГОСТ Р 53393-2017. «Интегрированная логистическая поддержка. Основные положения»;

- ГОСТ Р ИСО 10303-239. «Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 239. Прикладные протоколы. Поддержка жизненного цикла изделий.»;

- ГОСТ Р ИСО 18435-1-2012. «Системы промышленной автоматизации и интеграция. Интеграция приложений для диагностики, оценки возможностей и технического обслуживания. Часть 1. Обзор и общие требования» и др.

В отношении БТС этап эксплуатации обычно будет самым длительным – продолжительностью несколько десятков лет, а для некоторых промышленных предприятий этап эксплуатации продолжается более ста лет.

Эффективное выполнение требований государственных стандартов и других правовых актов потребует получения своевременных, достоверных, полных и непротиворечивых результатов оценки качества.

Информация о процессе эксплуатации БТС, включая результаты оценки качества, используется на последующих этапах (например, при принятии решений о модернизации и (или) об утилизации системы), а также при создании (модернизации) аналогичных БТС, например, при формировании замысла или при разработке технического задания.

При этом важна информация о динамики действительных значений показателей качества различных систем (изделий), эксплуатируемых в составе

оцениваемой БТС в заданных условиях и в установленный период времени.

Существуют объективные предпосылки для повышения эффективности функционирования БТС за счет более полного, рационального и комплексного использования этой информации, накопленной за годы эксплуатации систем в составе БТС. В сущности, сегодня накоплена информация для формирования внутренних информационных резервов БТС, которые целесообразно в первую очередь использовать для оценки качества БТС (систем в их составе) в интересах принятия своевременных обоснованных управленческих решений в процессе эксплуатации БТС (рис. 1.1.2). Результаты оценки качества логично комплексно использовать по трем основным направлениям: повышение качества управленческих решений, в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах (НИОКР) и для повышения качества подготовки кадров (рис. 1.1.3).

Таким образом, на сегодняшний день проблема диссертационного исследования (рис. 1.1.2), сформулированная во введении работы, может негативно влиять на эффективное функционирование БТС.

Данная проблема существенно замедляет совершенствование управления БТС, управление ресурсами при ТО систем, обработки информации, повышение (обеспечение) эффективности эксплуатации систем в условиях ограничения ресурсов и времени [24, 36].

В перспективе системное применение разрабатываемых методов и способов приведет к существенному уменьшению вышеизложенных негативных факторов за счет рационального использования информационных резервов БТС.

При разработке методов и способов необходимо учитывать множество разнообразных условий для каждой конкретной БТС (рис. 1.1.2):

- наличие достоверной и актуальной исходной информации (рис. 1.1.3);
- опыт и квалификация ЛПР;
- эффективность функционирования АСУ и системы связи, обеспечивающих процесс принятия решения;
- имеющиеся ограничения в принятии решения;
- требования нормативно-правовых актов и высшего руководства;

- воздействие внешней среды;

- скорость изменения предметной области принимаемого решения и (или) условий его выполнения;

- ресурсы системы и их рациональное распределение;

- наличие времени на сбор и обработку информации при принятии управленческого решения в процессе эксплуатации систем [27, 29].

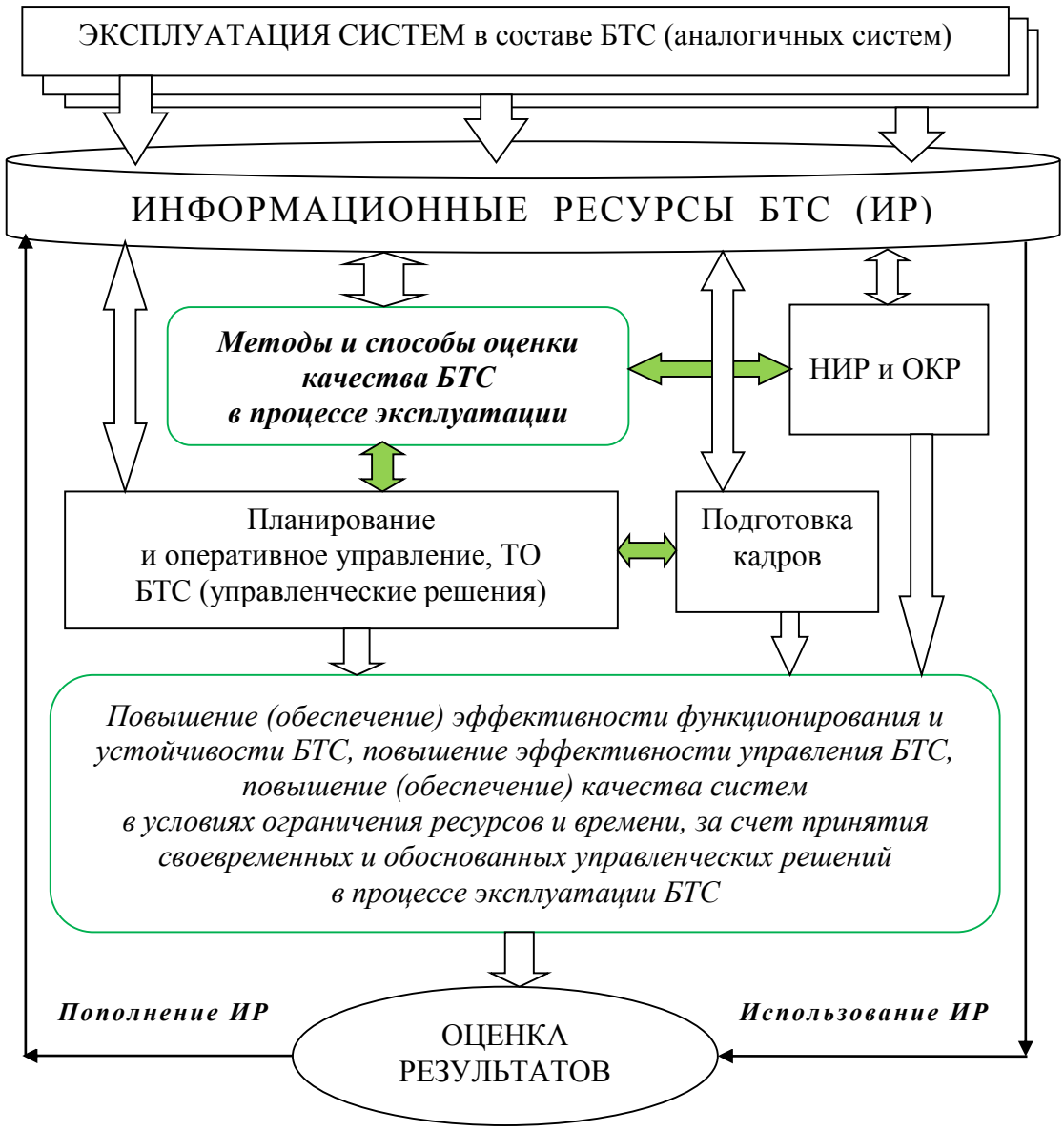


Рисунок 1.1.3. Схема рационального применения методов и способов (роль и место в процессе эксплуатации БТС)

В дальнейшем данные условия и схемы на рисунках 1.1.12 и 1.1.3 будут использованы в параграфе 1.4 для постановки научной задачи диссертационного исследования. Анализ актуальности темы диссертационной работы и проблемы исследования позволяет сделать вывод о важности практической направленности диссертации на повышение эффективности управления эксплуатацией БТС (рис. 1.1.1) за счёт сокращения времени выполнения информационных циклов управления (рис. 1.1.4).

Управление системой – это целенаправленное воздействие на элементы системы (на персонал и технические устройства) с целью достижения системой требуемого состояния [5, 13, 94]. Целенаправленное воздействие на элементы системы – это процесс, то есть в данном исследовании управление целесообразно рассматривать как процесс. В БТС этот процесс реализуется подсистемой управления (рис. 1.1.1, рис. 1.1.4 и рис. 1.1.5), которая в свою очередь также включает в себя управленческий персонал организации и технические устройства, обеспечивающие процесс управления.

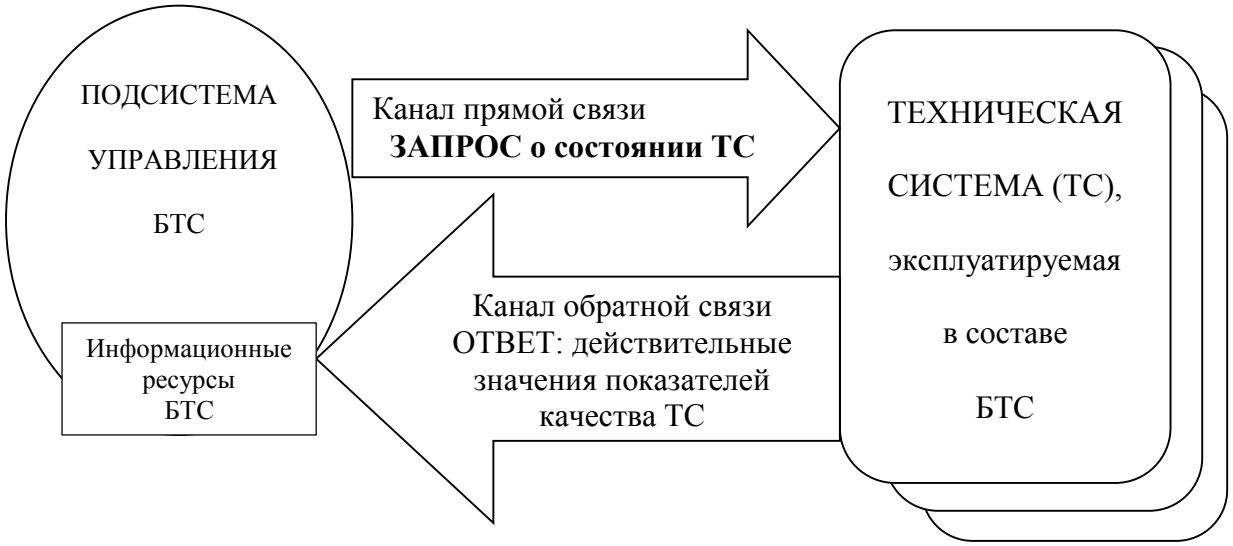
Управление предусматривает наличие в информационном контуре управления (ИКУ) управляющего объекта, объекта управления, прямой связи (управляющих воздействий на объект управления), обратной связи (контроль выполнения) – рис. 1.1.4. Как и на всю систему на процесс управления влияет внешняя среда [24, с. 152].

Обобщение результатов анализа функционирования различных БТС позволило выявить важные закономерности информационных процессов обеспечения оценки качества и принятия управленческих решений – рис. 1.1.4.

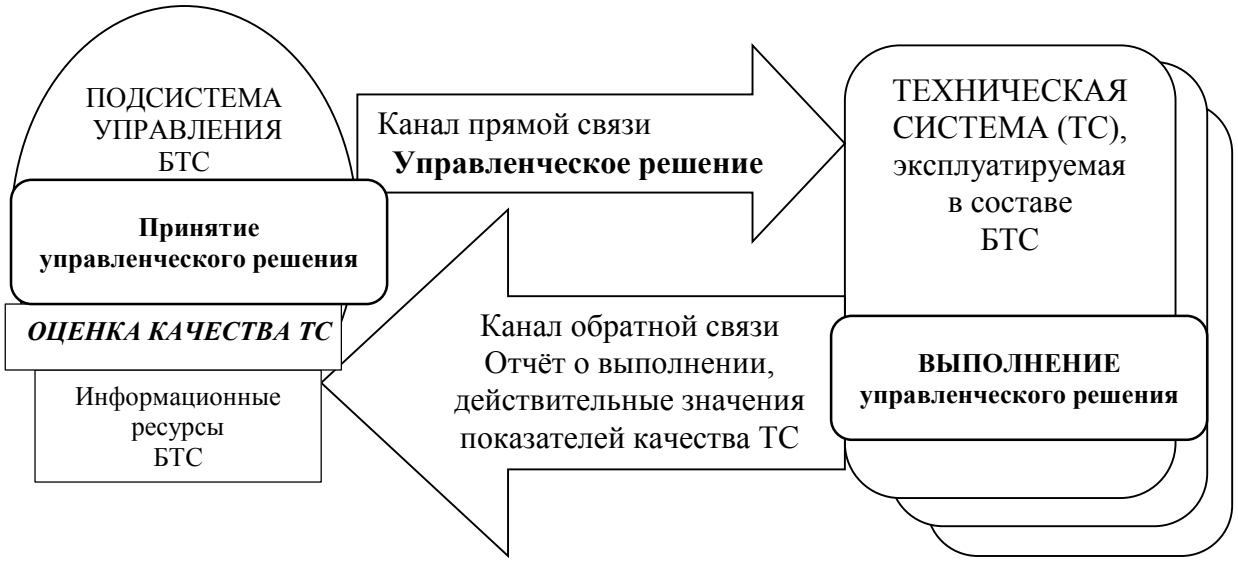
В итоге будет рациональным и обоснованным выделить два типа информационных циклов управления (рис. 1.1.4):

Первый тип: сбор и обработка информации для оценки качества и эффективности систем. Реализуется ИКУ в процессе контроля состояния систем.

Второй тип: принятие, доведение и контроль выполнения управленческого решения, принятого по результатам оценки качества и эффективности систем.



Первый тип информационного цикла управления (ИЦУ-1):
сбор и обработка информации для оценки качества и эффективности систем
(ИЦУ-1: контроль состояния ТС)



Второй тип информационного цикла управления (ИЦУ-2):
принятие, доведение и контроль выполнения управленческого решения,
принятого по результатам оценки качества и эффективности систем

Рисунок 1.1.4. Схема реализации ИЦУ-1 и ИЦУ-2 в информационном контуре управления БТС при принятии управленческих решений по результатам оценки качества и эффективности систем

Процесс управления включает в себя принятие управленческих решений по результатам оценки качества. С этой целью для сбора информации о состоянии систем выполняется определенное число информационных циклов управления (ИЦУ) – по принципу «ЗАПРОС»-«ОТВЕТ», которые реализует ИКУ (рис. 1.1.4).

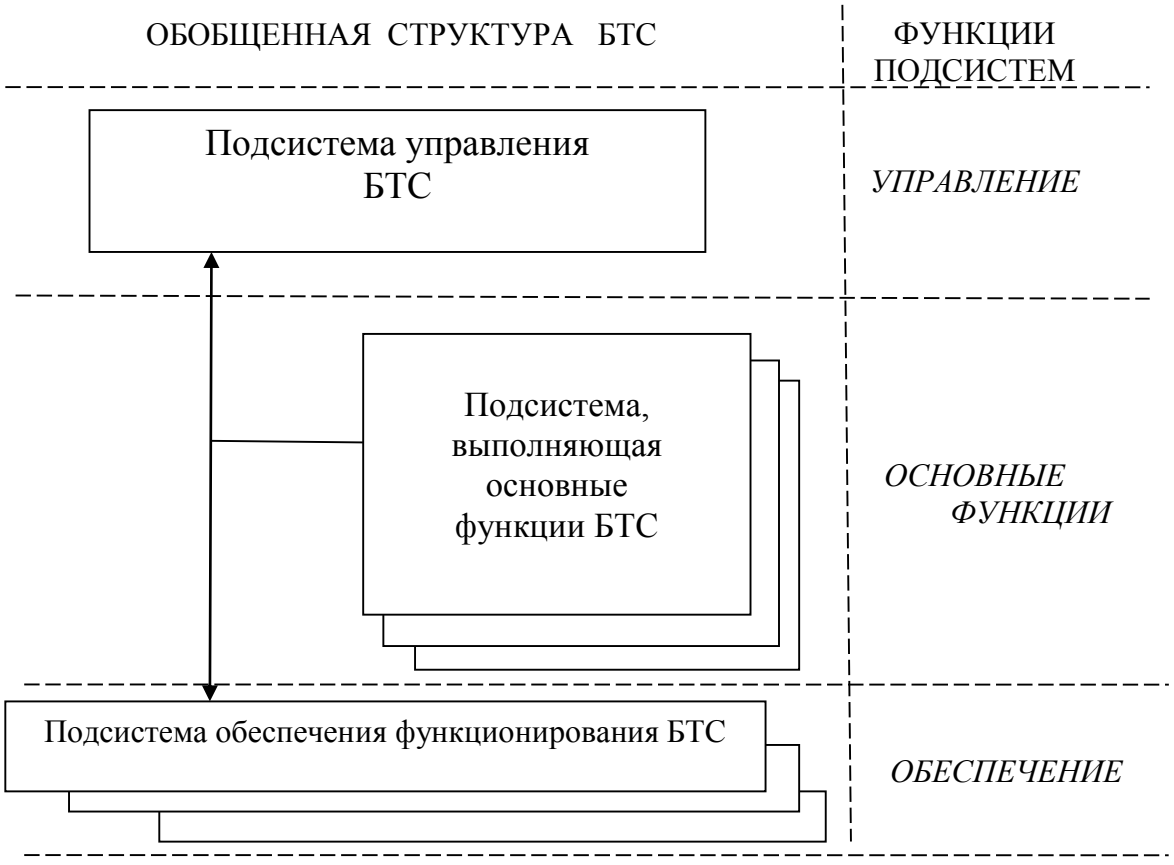


Рисунок 1.1.5. Системный и функциональный подходы представления БТС в диссертационном исследовании

Поэтому одним из важнейших практических направлений применения методов и способов для наиболее рационального достижения цели диссертационного исследования будет являться снижение времени выполнения ИЦУ и существенное сокращение количества ИЦУ при оценке качества и подготовки управленческих решений в процессе эксплуатации БТС.

Данное обстоятельство в свою очередь является основой постановки задачи исследования (параграф № 1.4) в сфере разработки программ для ЭВМ, комплексной методики оценки качества систем (глава 4) и схемы реализации

способа рациональной работы с информационными ресурсами (параграф № 5.3, рис. 5.3.2). При этом за основу для обеспечения универсальности разрабатываемых методов и способов рационально взять комплексное применение системного и функционального подходов представления БТС (рис. 1.1.5).

В разрабатываемых методах и способах комплексное применение системного и функционального подходов сформулировано в Принципах, а также реализовано при разработке метода оценки качества БТС на основе построения и сравнения «идеальной» (базовой) и реальной структурно-функциональных моделей БТС (параграф № 2.2), в модели устойчивости БТС (параграф № 3.2) и в способе формирования информационных резервов БТС (параграф № 5.3).

Далее важно отметить, что в процессе эксплуатации систем БТС проявляются ее важнейшее свойство – устойчивость эксплуатации БТС (далее – устойчивость).

В рамках анализа БТС и предмета исследования целесообразно сформулировать определение устойчивости БТС. Так как специфика БТС, их особенности и необходимость повышения эффективности управления за счет внутренних резервов требует учитывать в разрабатываемых методах и способах целый комплекс взаимосвязанных факторов, а именно: современные угрозы исследуемым БТС, развитие технологий, перспективы создания новых систем, результативность и экономичность систем.

В этом случае под устойчивостью БТС (системы) целесообразно понимать не только способность к сохранению требуемого уровня функционирования в условиях деструктивных воздействий внешней среды, но и способность БТС как можно более длительное время функционировать в неблагоприятных условиях при заданных ресурсах, а также способность противостоять деструктивным воздействиям, восстанавливая свои системы (подсистемы, элементы и (или) изделия) [21, 23, 36].

С точки зрения оценки качества систем, применяемых в составе БТС, неблагоприятными условиями можно обоснованно считать любые внешние и внутренние деструктивные воздействия.

Результатами деструктивных воздействий являются:

- увеличения затрат времени и ресурсов на достижение цели;
- нарушение технологий и режимов функционирования БТС;
- выходят из строя (неисправности) систем (элементов БТС);
- не достижение цели функционирования БТС.

Неблагоприятными условиями могут быть аварии, катастрофы, чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера, экономические проблемы, недостаток качественных ресурсов, отсутствие требуемого количества высококвалифицированного персонала и др.

Таким образом, БТС целесообразно рассматривать как множество взаимосвязанных элементов (технических средств и персонала), обеспечивающих их устойчивое функционирование.

При этом эффективность и устойчивость БТС – это свойства, появляющиеся при совместной эксплуатации систем БТС (рис. 1.1.1), то есть эффективность и устойчивость зависят от качества систем в составе оцениваемого БТС.

Поэтому в разрабатываемых методах и способах оценка устойчивости и эффективность БТС неразрывно связана с оценкой качества систем в процессе эксплуатации.

При этом важно учитывать, что устойчивость БТС – это основа обеспечения ее эффективности. Отсюда можно сделать обоснованный вывод, что разрабатываемые методы и способы должны предусматривать возможность оценки качества систем в сфере обеспечения устойчивости БТС.

В современном мире эффективность управления БТС является важным фактором обеспечения развития экономики и благосостояния населения страны.

В свою очередь эффективность управления любой сложной системой будет зависеть от состава и содержания информационных ресурсов, а также от времени доступа и обработки информации [147, 198, 205].

В исследуемой предметной области под повышением эффективности управления будем понимать снижение затрат времени и ресурсов на оценку качества и обработку информации при обеспечении процесса управления.

В соответствии с циклом Дёминга (PDCA) [100, 131] можно выделить четыре основных процесса (этапа) управления БТС:

1. Планирование эксплуатации БТС в оцениваемый период (год, квартал).

2. Выполнение плана (действие).

3. Контроль результатов выполнения плана (проверка, выявление недостатков).

4. Корректировка и исправление недостатков в процессе оперативного управления БТС.

Эффективность управления на любом этапе цикла Дёминга (PDCA) [100] будет зависит от моделирования состояния системы (прогнозов развития событий или состояния БТС) и от оценки качества элементов (технических систем, изделий) в её составе. В этом случае существенная часть информационных ресурсов будет формироваться за счет оценки качества и эффективности систем, эксплуатируемых в составе БТС (рис. 1.1.6).

Рисунок. 1.1.6. Декомпозиция потоков информации при принятии управленческих решений по результатам оценки эффективности и качества БТС в процессе эксплуатации

Исследование информационных потоков при управлении БТС (рис. 1.1.6) доказывает важность результатов оценки эффективности и качества для формирования информационных ресурсов на всех четырёх этапах цикла Дёминга (PDCA) [100] в интересах совершенствования управления эксплуатацией БТС.

Анализ научной литературы [100, 163, 166, 178] позволил выявить существенные пробелы в этой области знаний, с точки зрения развития теоретического базиса унификации методологических решений, применимых для формирования информационных ресурсов (рис. 1.1.6) в различных БТС [163, 178].

В научных исследованиях [131, 172, 205] это выражается в запросах на более полное использование экспертной и статистической информации без затрат дополнительных ресурсов и времени, а также в возможности обоснованного выбора методов и способов оценки в зависимости от условий функционирования оцениваемых систем.

Научные труды [172, 178, 205] указывают на необходимость развития и совершенствования информационных ресурсов БТС с учетом следующих основных требований:

- обеспечение учета воздействий внешней среды, условий и специфики функционирования сложных систем;

- практическая направленность на снижение времени оценки качества и обработки информации в интересах существенного уменьшения времени принятия управленческих решений;

- снижение субъективности восприятия информации ЛПР, как слабо формализуемого фактора в системе управления;

- обеспечение возможности рациональной реализации в компьютерных программах.

Таким образом, логичным продолжением диссертационной работы стало проведение анализа проблемы исследования во взаимосвязи с противоречиями управления эксплуатацией БТС (параграф № 1.2 диссертации).

1.2. Анализ проблемы исследования во взаимосвязи с противоречиями управления эксплуатацией большими техническими системами

Содержание введения и параграфа № 1.1 диссертации раскрыли сформулированную проблему исследования как несоответствие между требуемым и существующим состоянием дел в исследуемой предметной области (рис. 1.1.2). Кроме того, вышеизложенный материал обосновывает наличие двух важнейших свойства проблемы диссертационного исследования:

1. Актуальность – необходимость скорейшего решения проблемы обуславливается современными требованиями в сфере совершенствования и развития БТС.

2. Значимость – от решения проблемы зависит эффективность функционирования БТС, а это имеет важнейшее значение для экономики Российской Федерации.

Поэтому соблюдение объективности научного исследования и детализация постановки задачи на разработку и внедрение методов и способов диктует необходимость анализа проблемы во взаимосвязи с современными противоречиями управления эксплуатацией БТС. А также определение роли и места методов и способов в разрешении современных противоречий управления БТС. С этой целью рационально систематизировать рассматриваемые противоречия.

Анализ проведен с использованием актуальных научных работ [2, 3, 9, 13, 86, 87, 89, 93, 97, 111] в данной предметной области и на основании научных исследований автора [21, 22, 24, 28].

В сущности, современные проблемы и противоречия исследования сложных систем целесообразно рассматривать в тесной взаимосвязи с процессами управления БТС. Так как в принятии управленческих решений – основы управления – принимают участие люди: ЛПР и ДЛ ОУ (рис. 1.1.6). Таким образом, исследуемые БТС при анализе целесообразно рассматривать как совокупность

людей, технических устройств и связей между ними, под общим управлением и объединенных единой целью [24, с. 152].

Процесс управления БТС реализуется подсистемой управления. При этом управление зависит от ресурсов БТС, времени и воздействий внешней среды. Поэтому целесообразно не отделять противоречия современного процесса управления от ресурсов, времени и воздействия внешней среды, а также от цели создания и функционирования БТС. Противоречия управления системами и в целом процесса управления в современном мире определяются исходя из того, что управление – это целенаправленная деятельность по достижению требуемого состояния системы [24, с. 152 – 153].

Отсюда можно обоснованно распределить противоречия управления системами в процессе эксплуатации в составе БТС по четырем взаимосвязанным уровням [28, с. 40]:

Первый уровень: личностный – противоречия на уровне ЛПР, должностных лиц, обеспечивающих процесс управления БТС, персонала.

Второй уровень: общественный (социальный) – противоречия, возникающие в коллективе (обществе) вследствие принятия управленческих решений (далее решений) и (или) обеспечения процесса управления.

Третий уровень: технический – противоречия, связанные с разработкой, созданием и эксплуатацией БТС.

Четвертый уровень: организационный – описывает проблемы и противоречия при организации процесса управления БТС.

Таким образом, логично на основе систематизации провести анализ проблемы путем определения влияния решаемой проблемы на каждом уровне, а также роли и места предмета диссертационного исследования для наиболее рационального решения проблемы.

Итак, первый уровень. На уровне личности можно выделить следующие основные противоречия и их причины, на которые в значительной степени влияет проблема исследования [28, с. 41]:

1.1. Между требованиями к ЛПР по выполнению должностных обязанностей

и существующим уровнем подготовки ЛПР. Возможные причины: недостаточная квалификация, отсутствие времени и ресурсов на подготовку, не способность ДЛ выполнять данные обязанности в современных условиях.

1.2. Между большим объемом разнообразной информации (рис. 1.1.6), необходимой для принятия решения и оценки качества, и степенью ее использования ЛПР. Возможные причины: повышенная нагрузка на ЛПР, неспособность ЛПР усваивать большие объемы информации, недостаточные компетенции ЛПР в сфере применения программно-аппаратных средств, обеспечивающих процесс управления [28, с. 41].

1.3. Между требованиями к работе в условиях неблагоприятных факторов внешней среды и работоспособностью, стрессоустойчивостью ДЛ.

Возможные причины: неспособность ДЛ выполнять данные обязанности в неблагоприятных условиях при имеющемся состоянии методологического, математического и программного обеспечения управления эксплуатацией БТС.

Второй уровень: общественный. В значительной степени взаимосвязан с противоречиями первого и четвертого уровня. Но в то же время потенциальные противоречия на общественном уровне в большей степени отражают воздействие внешней среды на процесс управления. Так как в любом случае ЛПР и должностные лица органов (подсистемы) управления будут являться членами общества и носителями его потребностей и зависят от социальных условий. Они, разумеется, в различной степени испытывают информационные воздействия внешней среды, включая возможный ввод ложной информации о качестве систем и информационную избыточность в оцениваемой предметной области.

Таким образом противоречия второго уровня при анализе проблемы исследования основаны на том, что внешние источники информации в различной степени всегда будет влиять на оценку эффективности и качества систем.

Третий уровень: технический. Сложный и динамичный уровень противоречий, зависящих от развития и степени использования современных технологий при эксплуатации БТС. Но в целом может включать в себя основные взаимосвязанные противоречия:

3.1. Между необходимостью постоянного совершенствования и (или) создания новых программно-аппаратных средств и ограничением в ресурсах.

3.2. Между развитием информационных технологий и уровнем квалификации ДЛ органов (подсистем) управления БТС по их эффективному применению.

3.3. Между обеспечением повышения оперативности и качества управления за счет взаимодействия открытых информационных систем, доступа к внешним информационным ресурсам и выполнением требований к безопасности информации и защите интеллектуальной собственности.

3.4. Между необходимостью более эффективного использования современных высокоэффективных технологий и существующими возможностями.

3.5. Между требованиями к устойчивости БТС и сильно выраженной зависимостью современных БТС от корректной работы программного обеспечения, технического состояния, надежности и ресурса эксплуатации систем.

3.6. Между требованиями к достоверности информации в информационном контуре управления и возможностью получения ложной (не достоверной, не проверенной) информации.

3.7. Между необходимым разнообразием существующих программно-аппаратных средств для обеспечения выполнения задач управления с учетом специфики этого процесса на различных БТС и необходимостью эффективной совместной работы и взаимодействия разнообразных программно-аппаратных средств: корректной передачи, обработки и представления информации [28, с. 42].

3.8. Между постоянно возрастающими требованиями к БТС и техническими возможностями, надежностью, ресурсом эксплуатации, а также возможностью и целесообразностью модернизации применяемых систем в их составе.

Необходимо отметить, что устойчивость БТС напрямую зависит от эффективности управления. Это обосновывает необходимость разработки и внедрения методов и способов для обеспечения подготовки и принятия своевременных и обоснованных решений в процессе эксплуатации систем.

Противоречия третьего уровня в значительной степени обосновывают

важность и актуальность предмета диссертационного исследования.

Четвертый уровень: организационный. При анализе проблемы исследования сущность и содержание основных противоречий данного уровня в значительной степени зависят от противоречий первых трех уровней, кратко описанных ранее, а также от воздействий внешней среды и организации процесса управления.

В итоге определены следующие основные возможные противоречия организационного уровня [28, с. 43]:

4.1. Между большими объемами доступной информации на внешних и внутренних информационных ресурсах и дефицитом полезной достоверной и полной информации для оценки качества систем в процессе эксплуатации.

4.2. Между требованием к сокращению времени ИЦУ и необходимостью осуществления наиболее полного контроля эксплуатации БТС для осуществления которого необходимы обработка и передача больших объемов информации.

4.3. Между требованием по сокращению ресурсов, затрачиваемых на обеспечение управления, и постоянным повышением расхода ресурсов на содержание управленческого персонала, персонала, обслуживающего АСУ, на создание и эксплуатацию АСУ.

4.4. Между современными требованиями к эффективности управления БТС в процессе эксплуатации и наличием избыточного количества управляющего персонала и программно-аппаратных средств, многократно дублирующих основные функции управления БТС.

4.5. Между необходимостью повышения эффективности управления эксплуатацией БТС и избыточным документооборотом, большим количеством нормативно-правовых актов, наличием большого количество посредников (промежуточных звеньев управления) между управляющим объектом и объектом управления (рис.1.1.3).

4.6. Между требованием к своевременности и устойчивости управления, а также к ограничению круга лиц, допущенных к информации, и наличием избыточного количества ЛПР и ДЛ, участвующих в подготовке и принятии управленческих решений и (или) выполнении функций управления.

4.7. Между принципом личной ответственности руководителя и большим количеством ЛПР (ДЛ, согласовывающих решение), ДЛ, дающих рекомендации, указания и консультации и при этом не имеющих соответствующего уровня технического образования и квалификации, а также не несущих персональной ответственности за эффективное функционирование БТС.

4.8. Между постоянно растущими требованиями к повышению качества БТС и повышением затрат ресурсов и времени на выполнение вспомогательных функций в ущерб достижению основной цели создания и функционирования БТС.

4.9. Между большим количеством нормативно-правовых актов, обеспечивающих правовое регулирование управления, и несоответствием правового регулирования современным требованиям к управлению, состоянию БТС, а также реальным условиям и целям БТС в оцениваемый период времени.

Основная возможная причина вышеперечисленных потенциальных противоречий организационного уровня: несоответствие организации процесса управления, включая оценку качества систем в процессе эксплуатации, целям и задачам БТС. Сравнительный анализ проблемы и противоречий показывает, что в значительной степени роль и место предмета диссертационного исследования будет заключаться в обеспечении решения противоречий организационного уровня. В первую очередь, необходимо отметить наличие общих возможных причин у большинства рассмотренных потенциальных противоречий. Устранение или существенное ослабление влияния данных причин путем решения проблемы позволит решить многие вышеперечисленные противоречия, а, следовательно, и существенно повысить эффективность БТС. Распределение возможных противоречий по предлагаемым уровням и учет их логической взаимосвязи позволяет более полно реализовать принципы системного подхода при разработке и внедрении методов и способов. В перспективе их разработка и внедрение с целью уменьшения влияния причин возможных взаимосвязанных противоречий может быть одним из важных мероприятий по обеспечению эффективности БТС и, как следствие, достижению цели создания и функционирования БТС с минимальным расходом ресурсов и времени.

1.3. Анализ методов оценки качества технических систем и информационные резервы оценки качества

Вышеизложенные материалы первой главы диссертации обосновывают необходимость применения системного подхода при достижении цели исследования с учетом возможных особенностей оценки качества БТС в процессе эксплуатации. Для достижения цели диссертационного исследования в настоящем параграфе проведен анализ современных методов оценки качества на основе научных исследований [4, 16, 17, 89, 108, 114, 119, 123 – 129, 190, 209] в предметных областях близких к предметной области диссертации, а также на основании научных [51, 55, 60, 64, 65, 66, 71, 80, 81] и учебно-методических работ [82, 83] автора в исследуемой предметной области.

В целом анализ этих работ позволяет сделать вывод, что, если рациональное достижение цели исследования будет состоять в создании и внедрении методов и способов, то в самом обобщенном виде оценка качества БТС в процессе эксплуатации (Q) будет включать в себя (1.3.1):

- степень достижения цели (K);
- расход ресурсов на достижение этого результата (R);
- затраты времени (T);
- учет условий и специфики функционирования системы, обязательных требований к БТС и персоналу (D).

$$Q = (K, R, T, D) \qquad (1.3.1)$$

При этом оценка качества систем будет выступать, как важнейшая составляющая контроля эксплуатации и ТО БТС. В свою очередь контроль – это важнейший элемент управления.

По мнению И.Ф. Шишкина: «Контролем называется проверка соответствия норме. <….> Наличие нормы предполагает градацию количественной характеристики любого свойства и обуславливает возможность принятия решения» [160, с. 3-4].

Если обозначить $Q_н$ как требуемое значение комплексного показателя

качества системы, то есть как норму, тогда решение о соответствии или несоответствии системы норме принимается в следующих случаях:

$Q_р > Q_н$ - уровень качества соответствует требованиям;

$Q_р = Q_н$ - уровень качества соответствует требованиям и находится на границе этих требований, то есть у системы нет «запаса по уровню качества»;

$Q_р < Q_н$ - уровень качества не соответствует требованиям.

Отсюда можно сформулировать понятие проблемы, которую призвана выявлять оценка качества систем при контроле эксплуатации. То есть выявленная проблема будет представлять собой несоответствие (ΔQ) между требуемыми значениями показателей качества ($Q_н$) и реальными показателями качества ($Q_р$) оцениваемой системы в заданный период времени:

$$\Delta Q = Q_р - Q_н \qquad (1.3.2)$$

В идеале в любой период времени $\Delta Q \geq 0$, то есть проблем нет, качество соответствует требованиям.

Анализ значений показателей, составляющих формулы (1.3.1) и (1.3.2), позволит ЛПР выявить причины проблем и принять обоснованные управленческие решения в сфере управления системой. Для этого методы и способы должны обеспечивать формирование информационных резервов для повышения качества на организационном уровне противоречий (параграф № 1.2 диссертации).

С этой целью наиболее рационально систематизировать основные методы, применимые для оценки качества систем, и разработать варианты комбинирования при применении методов описания БТС для оценки качества в процессе эксплуатации – схема на рисунке 1.3.1. На основе данной схемы логично провести анализа и адаптировать количественные методы описания систем [83] для оценки качества БТС в процессе эксплуатации – результаты представлены в таблице 1.3.1.

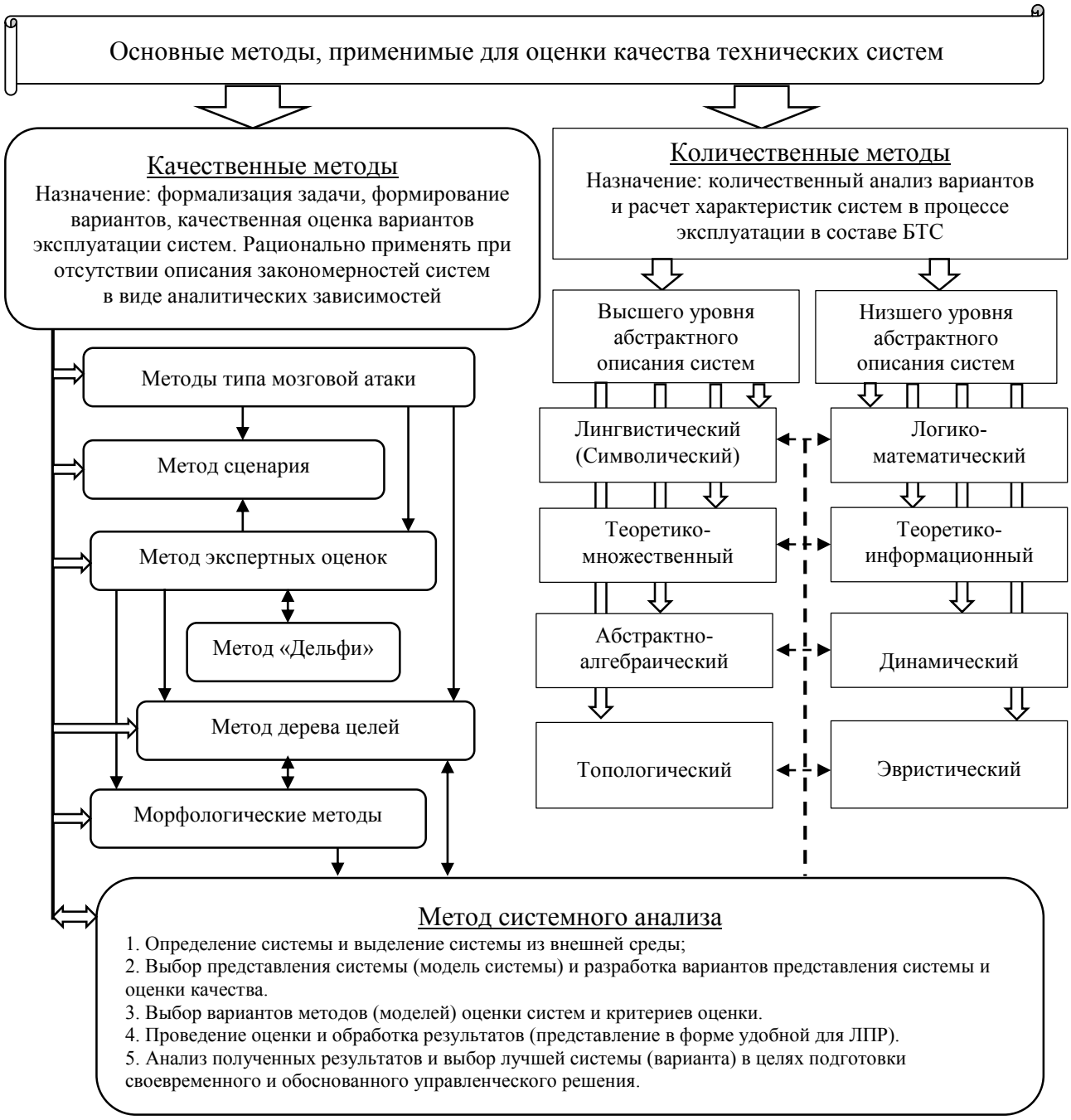


Рисунок 1.3.1. Схема систематизации и вариантов комбинирования при применении методов описания БТС для оценки качества в процессе эксплуатации

Варианты комбинирования методов описания систем и адаптация количественных методов высшего и низшего уровня абстрактного описания систем (табл. 1.3.1) позволят в дальнейшем обеспечить рациональную разработку и внедрение методик оценки качества систем [13, 15, 83].

Таблица 1.3.1

Результаты анализа и адаптации количественных методов описания систем для оценки качества БТС в процессе эксплуатации

№ п/п	Название и сущность метода	Основное математическое выражение	Описание переменных, входящих в состав математического выражения
1. Количественные методы высшего уровня абстрактного описания систем			
1.1	Лингвистический уровень описания	$S=(TR_1, TR_2, \dots TR_n, C_{TR1}, \dots C_{TRj})$	В формуле (S) – это система, состоящая из элементов – «термов» (TR). Взаимодействие между данными элементами (C_{TR}) описывается абстрактным языком. отношений между «термами», (TR) предназначены для оценки, описания оценки и других формулировок.
1.2	Теоретико-множественный уровень описания БТС. Применяется гиперграф, т.е. симплециальный комплекс $K_x(Y, \gamma)$, Элементы Y выступают вершинами графа, а элементы X симплексы, $\gamma \in X \times Y$ бинарное отношение на прямом произведении $X \times Y$	$\Pi: \sigma^i \to k,$ В симплециальном комплексе образ П выражается прямой суммой: $\Pi = \Pi_0 \oplus \Pi_1 \oplus \mathsf{K} \oplus \Pi_N$	Образа симплециального комплекса – это выражение П, которое каждому симплексу σ^i из комплекса ставит в соответствие определенное число k. Размерность комплекса, определяется выражением: $\mathcal{N} = \dim\mathbf{K}$ Динамику БТС рационально представить как изменение образа П в последовательно зафиксированные моменты времени процесса управления БТС и (или) системами в ее составе.
1.3	Абстрактно-алгебраический уровень описания БТС. Обозначения: Y – значения выходных переменных; U – значения входных переменных; T – моменты времени; X – описание состояний системы;	$S = (T, X, U, \Omega, Y, \Gamma, \varphi, \eta)$	Допустимые значения переменных: 1. Входных: $\Omega = \{\omega: T \to U\}$; 2. Выходных: $\Gamma = \{\gamma: T \to Y\}$. Функции: 1. Состояния БТС в момент времени t по значениям координат, определяющих состояние БТС в начальный момент времени ($x_0 \in X$) и входных переменных $\omega \in \Omega$; 2. Определяющая выходные отображения $y(t) = \eta(t, x(t))$.: $\varphi: T \times X \times U \to X$ $\eta: T \times X \to Y$

№ п/п	Название и сущность метода	Основное математическое выражение	Описание переменных, входящих в состав математического выражения
1.4	Топологический уровень описания БТС. Где *L* – некоторое линейное частично упорядоченное множество с отношением порядка (≤), тогда пара (*L*≤) определяет структуру этого множества	$V\colon X \to (L,\leq)$ абстрактная функция А.М. Ляпунова $B = \cup h(x),$ некоторое семейство множеств базиса фильтра *B*. (на основе абстрактной функции Ляпунова А.М.)	Для того чтобы пара (x,B) была $(\varepsilon_1,\varepsilon_2)$ -устойчива, необходимо и достаточно, чтобы для четверки величин $\langle X,B,\varepsilon_1,\varepsilon_2\rangle$ существовала абстрактная функция А. М. Ляпунова указанного типа. Где *X* – произвольное множество, а $h(x)$ – элементы этого семейства.
2. Количественные методы низшего уровня абстрактного описания систем			
2.1	Логический уровень. Для описания логики функционирования управляемой динамической БТС. Логическая схема алгоритма – это формула последовательности операторов и логических условий. Формула выражает процесс функционирования БТС.	$\downarrow \mathrm{P}(y_\mathrm{C}(t) \sim y_\mathrm{P}(t))\Gamma(y_\mathrm{P}(t) \to \mathrm{C})\mathrm{C}(y_\mathrm{P}(t) \sim y_\mathrm{C}(t))\Pi(\ y_\mathrm{C}(t) \to \mathrm{P})\ \omega\uparrow,$ где P($y_C(t)$~$y_P(t)$) отображает акт преобразования информации $y_C(t)$ в информацию $y_P(t)$ в объекте управления (ОУ); оператор Γ($y_P(t)$→C) – акт передачи информации $y_P(t)$ от ОУ к управляющему устройству (УУ) в СУ; C($y_C(t)$~$y_P(t)$) – акт переработки информации $y_P(t)$ в информацию $y_C(t)$ в УУ, при этом ω – всегда ложное логическое условие; Γ($y_C(t)$→C) – акт передачи информации $y_C(t)$ от УУ к ОУ; P – оператор, характеризующий функционирование ОУ; C – оператор, характеризующий функционирование УУ; Основное правило: если логическое условие ложно, то должен действовать тот оператор, к которому ведет стрелка. Символ ↑ означает начало стрелки, а ↓ – ее конец. Особенности: символ ω и стрелки после него отображают действие системы управления (СУ) БТС по принципу замкнутого ИЦУ. Недостаток: устойчивость и характер переходных процессов, оптимальность и т. п. только с помощью логики функционирования СУ БТС определить невозможно.	
2.2	Теоретико–информационный уровень описания БТС. На этом уровне информация выступает как свойство объектов и явлений (процессов) порождать многообразие состояний БТС, которые передаются от одного объекта БТС к другому и приводят к изменению структуры БТС.	1. Предикат *P(x)* (определён в области значений *M)*. 2. Область истинности *P(x)* – это совокупность *x* из *M*. 3. При данной совокупности *P(x)* будет выступать как «истинное высказывание»: $IP = \{x \in M \mid P(x) = 1\}$. *n*-местный предикат это произвольная функция *n* переменных $P(x_1, x_2, \ldots x_n)$	Основные положения: 1. В терминах точного логико-математического языка (в составе которого присутствуют обозначения для объектов и их переменных) формулируется некое условие – предикат *P(x)* 2. Абстрактным множеством с заданными на нем *P(x),* является математическая модель (код информации). 3. Способ кодирования – это представление множества состояний источника во множество состояний носителя информации. 4. Образ состояния – это код состояний носителя информации.

№ п/п	Название и сущность метода	Основное математическое выражение	Описание переменных, входящих в состав математического выражения
2.2	2. Абстрагирование от физической сущности носителей информации.	определенная на множестве $M=M_1 \times \ldots \times M_n$ и принимающая логические значения из множества.	Предикат из n аргументов состоит из множества M области изменения переменных x (n-местный предикат).
2.3	Динамический уровень. Исходные понятия для описания динамики БТС: пространство M называется многообразием в том случае, когда для каждой точки $x \in M$ существует окрестность U гомеоморфная открытому множеству в n-мерном евклидовом пространстве R^n	Дифференциальное уравнение, описывающее поведение динамической системы $\frac{dx}{dt} = v(x),$ правая часть данного дифференциального уравнения выражает характеристики векторного поля $v(x)$ на многообразии M.	Задача теории обыкновенных дифференциальных уравнений состоит в исследовании однопараметрических групп $\{g^t\}$ диффеоморфизмов M, векторных полей на нем и связей между ними. Связь заключается в том, что фазовый поток $M\{g^t\}$, заданный однопараметрической группой диффеоморфизмов многообразия M, определяет вектор скорости движения изображающей точки в фазовом пространстве $g^t x=v(x)$ Данное выражение – это фазовая скорость потока в точке $x \in M$. При это устанавливается связь между двумя формами описания динамических систем: обычной с помощью дифференциальных уравнений, и как однопараметрической группы диффеоморфизмов многообразия.
2.4	Эвристический уровень описания функционирования БТС. На этом уровне термин «эврика» – это некая догадка, основанная на общем опыте решения аналогичных задач, возникавших в прошедших периодах времени функционирования БТС.	Выражение абстрактного описания БТС (S), состоящих из конечного определяемого числа технических подсистем (рис. 1.1.5) или определённого множества их элементов (s_n) $S=(s_1, s_2, \ldots s_n, Z_{s1}, \ldots Z_{sj})$	Основное достоинство эвристического подхода к описанию функционирования БТС учёт множество условий в процессе поиска решений задач управления при наличии в ИКУ БТС (рис. 1.1.4) людей (человека), т.е. ЛПР и ДЛ органов управления БТС, как слабо формализуемых факторов (Z_{sj}). Перспективные сферы применения: эвристическое программирование (программирование сценариев развития ситуаций при функционировании БТС), дифференциальная диагностика, распознавание образов.

Таблица 1.3.1 разработана на основе литературы [13, 15] и работы автора [83].

Далее с учетом схемы на рисунке 1.3.1 и таблицы 1.3.1 в рамках анализа методов оценки качества целесообразно сформулировать следующие основные определения диссертационного исследования.

Свойства систем в составе БТС проявляются в процессе эксплуатации или при нахождении систем на хранении (в резерве).

БТС характеризуют два основных сложных свойства – эффективность и устойчивость, которые проявляются при эксплуатации систем в составе БТС. По сути эффективность и устойчивость БТС – это совокупность свойств систем в его составе, которые в основном проявляются при эксплуатации этих систем.

Отсюда в исследуемой предметной области показатель качества БТС (системы) – это количественное выражение свойств систем (подсистем, изделий) в составе этого БТС (системы). Значение показателя качества – это результат количественного измерения свойств системы, проявляемых в процессе эксплуатации. При этом действительное значение показателя определяется его измерением в процессе эксплуатации.

В зависимости от характеризуемых свойств системы показатели делятся на два вида: единичные (выражают простые свойства) и комплексные (выражают сложные свойства).

В разрабатываемых методах и способах целесообразно применять понятие базового показателя, то есть принятого за основу при оценке качества. Целесообразно предусмотреть при необходимости использование или введение ЛПР показателей, которые будут иметь решающее значение при оценке качества, то есть это будут определяющие показатели. Кроме того, логично предусмотреть применение предельных значений показателей, превышение или снижение которых недопустимо.

Если в методах и способах будет использоваться информация о современных эффективных системах, аналогичных применяемым в составе БТС, то это будет способствовать определению технического уровня качества БТС (систем) в виде относительной сравнительной характеристики БТС (системы), выраженной в

действительных значениях показателей, характеризующих свойства систем в процессе эксплуатации, с их базовыми (требуемыми) показателями, отражающими требования к БТС (системе) с учетом развития современных технологий.

Для оценки технического уровня продукции используют дифференциальный, комплексный или смешанный методы [93, с.41].

В дальнейшем говоря об оценке качества БТС, целесообразно понимать оценку технического уровня качества БТС (систем).

Для этого в рамках настоящего анализа и для постановки задачи в диссертационной работе (параграф № 1.4) в качестве метрики оценки качества систем можно определить следующие основные универсальные взаимосвязанные показатели оценки качества систем, значения которых могут быть измерены (рассчитаны) в процессе эксплуатации БТС:

1. Время (единицы измерения времени: секунды, минуты, часы, сутки и т.д.).

2. Вероятностные характеристики.

3. Трудозатраты (единица измерения: человекочасы).

4. Количество задействованного персонала за оцениваемый период времени.

5. Количество задействованных единиц техники по видам за оцениваемый период времени эксплуатации.

6. Ресурс эксплуатации техники (единица измерения: моточасы).

7. Расход всех видов материальных ресурсов БТС (системой) за оцениваемый период времени эксплуатации, включая электроэнергию, ГСМ, комплекты ЗИП и т.д.

8. Степень (необходимость) использования внешней инфраструктуры (долговременных ресурсов).

9. Затраты денежных средств – могут выступать в качестве эквивалента количественного выражения вышеперечисленных ресурсов.

Таким образом, метрика универсальных показателей ($M_к$) для оценки эффективности и качества систем буде включать в себя пространство реальных (p) и требуемых (T) значений времени (t_p и t_T) и затраченных ресурсов (X_i) на достижение результата(ов) (Y_{pj}) с учетом воздействий внешней среды на изменение

количественных значений данных показателей (Δt, ΔY_j, ΔX_i, ΔP_z), а также действительных значений показателей качества оцениваемых систем (P_z):

$M_к = \{t_T, Y_{T1}, \ldots Y_{Tj}, t_p, Y_{p1}, \ldots Y_{pj}, X_1, X_2, \ldots X_i, P_1, P_2, \ldots P_z, \Delta t, \Delta Y_j, \Delta X_i, \Delta P_z\}$

В диссертации более подробно метрика представлена в динамической модели БТС (рис. 2.5.1) и в модели обеспечения устойчивости БТС (табл. 3.3.1).

Соответственно, оценка качества тесно связана с потребляемыми ресурсами.

Ресурсы можно разделить на два вида:

1. Долговременные: персонал БТС, элементы инфраструктуры (дороги, линии электропередач, мосты и т.д.), технические изделия, транспортные средства.

2. Расходуемые (электроэнергия, ГСМ, ЗИПы и т.д.) [64, 75].

Далее проведем анализ методов оценки качества с использованием вышеперечисленных показателей в зависимости от важности их использования в разрабатываемых методах и способах.

1. Дифференциальный метод оценки качества.

Может быть применим при оценке отдельных показателей качества (Q_i) путем сравнения с базовым (требуемым) значением ($Q_{iб}$).

Для этой цели рассчитывается относительный показатель качества (q_i):

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_{iб}} \qquad (1.3.3)$$

Для практического применения дифференциального метода наиболее рационально сформулировать два критерия:

1-й критерий применяется, когда желательно, чтобы значение $q_i \rightarrow 0$, то есть качество системы тем выше, чем значение показателей качества (Q_i) будет меньше базового (требуемого) значения ($Q_{iб}$), например, меньший расход ГСМ, трудозатрат и т.д. Отсюда получаем, что качество системы соответствует требованиям при условии:

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_{iб}} \le 1 \qquad (1.3.4)$$

2-й критерий применяется, когда желательно, чтобы значение $q_i \rightarrow \infty$, то есть качество системы тем выше, чем значение показателей качества (Q_i) будет больше базового (требуемого) значения ($Q_{iб}$), например, большее время эксплуатации системы до регламентного технического обслуживания, больший объем сжатого воздуха в системе и т.д. Отсюда получаем, что качество системы соответствует требованиям при условии:

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_{iб}} \geq 1 \qquad (1.3.5)$$

2. Комплексный метод оценки качества.

Предназначен для расчета обобщенного показателя качества системы в виде функции от единичных показателей. Метод позволяет найти следующие показатели:

2.1. Главный показатель.

Определяют на основе решения о важности выполняемых функций системой с установлением функциональной зависимости от исходных показателей качества, например, расход человекочасов на эксплуатацию системы.

2.2. Интегральный показатель.

Расчет интегрального показателя (I) осуществляется для нахождения суммарного полезного эффекта или результата (Y) от эксплуатации системы и общих затрат ресурсов ($R_{общ}$) на создание и эксплуатацию оцениваемой системы:

$$I = \frac{Y}{R_{общ}} \qquad (1.3.6)$$

2.3. Средние взвешенные показатели.

Рационально применять при одновременном наличии двух условий:

- невозможно установить функциональную зависимость главного показателя от исходных показателей качества;

- можно определить весовые значения усредняемых параметров.

Средние взвешенные показатели (Q_k) рассчитываются по формуле:

$$Q_k = \sum_{i=1}^{n} v_i Q_i \qquad (1.3.7)$$

где v_i – коэффициент важности (весомости) i-показателя,

Q_i – i-показатель качества оцениваемой системы,

n – общее количество показателей качества.

3. Смешанный метод оценки качества.

Предусматривает использование единичных и комплексных показателей оценки качества. В методах и способах может применяться при условиях:

- использование дифференциального метода не позволяет сделать достоверной оценки из-за большого количества единичных показателей;

- обобщенный показатель в комплексном методе не учитывает все существенные свойства систем.

В смешанном методе объединяются взаимосвязанные единичные показатели в группы. Затем по этим группам определяется комплексный показатель.

При этом наиболее важные показатели рекомендуется рассчитывать как единичные показатели.

Далее дифференциальным методом проводят оценку качества систем.

Анализ методов оценки качества был бы не полным без рассмотрения основных путей решения задач оценки качества разнородных систем. Поэтому логично представить основные результаты анализа методов, применимых для оценки качества разнородных систем в составе БТС.

1. Индекс качества и индекс дефектности – это комплексные показатели качества, применяемые для оценки разнородных систем

1.1. Индекс качества (K) рассчитывается по формуле:

$$K = \sum_{i=1}^{n} g_i q_i \qquad (1.3.8)$$

где g_i – коэффициент важности (весомости) i-системы,

q_i – относительный комплексный показатель качества i-системы.

n – общее количество оцениваемых систем.

1.2. Индекс дефектности (D):

$$D = \sum_{i=1}^{n} g_i \frac{D_i}{D_{iб}} \qquad (1.3.9)$$

где D_i – это коэффициент дефектности за оцениваемый период эксплуатации,

$D_{iб}$ – базовое значение коэффициента дефектности за оцениваемый период эксплуатации системы.

Существующие подходы к расчетам индексов качества и дефектности целесообразно применить для вычисления коэффициентов качества систем.

2. Экспертные методы [18, 19, 154, 155, 157].

Используются при наличии высококвалифицированных специалистов по оцениваемым системам – экспертов. В исследуемой предметной области наиболее применимы экспертные методы по признаку оценки предпочтений:

2.1. Метод рангов. Эксперты осуществляют ранжирование систем в зависимости от их приоритета (значимости) для эксплуатации БТС.

2.2. Балльный метод или метод непосредственного оценивания.

В методе используется упорядочение оцениваемых систем в зависимости от их значимости (по мнению экспертов) путем выставления баллов каждой системе.

2.3. Метод парных сравнений.

Эксперты попарно сравнивают предложенные для оценки системы.

В каждой паре выбирается лучшая система.

Сравнение продолжается до выявления лучшей системы.

Дальнейший анализ в части касающейся оценки эффективности систем предполагает рассмотрение основ понятийного аппарата близкого к нашей предметной области, предложенного О.Н. Моргуновой в научных работах [126, 127, 128]. Качество сложной системы проявляется в полной мере только в процессе ее функционирования, т.е. использования по назначению.

Поэтому наиболее объективная оценка качества системы может быть получена по эффективности ее целевого применения [128, с. 141].

По мнению Б.С. Флейшмана, «эффективность операции есть степень соответствия реального (фактического или ожидаемого) результата операции требуемому (желаемому) или, иными словами, степень достижения цели

операции» [152, с. 176]. Для выбранной предметной области исследования наиболее подходит следующее определение: «Эффективность – это наиболее общее, определяющее свойство любой целенаправленной деятельности, которое с познавательной (гносеологической) точки зрения раскрывается через категорию цели и объективно выражается степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов и времени» [153, с. 59]. При этом оценка эффективности систем будет неразрывно связана с понятием операции. Под операцией понимается упорядоченная совокупность взаимосвязанных действий, направленных на достижение определенной цели [121, с. 30]. На основании данных работ в разрабатываемых методах и способах приоритетом оценки эффективности систем целесообразно считать оценку результативности и экономичности в процессе их эксплуатации по предназначению. Рассмотренные результаты научных трудов, как и традиционные методы оценки качества напрямую не применимы для научно-методологического обеспечения разработки и внедрения комплекса новых научно обоснованных решений в виде методов и способов, вследствие необходимости учета специфики эксплуатации БТС.

Оценка эффективности и качества БТС и систем в их составе в процессе эксплуатации может включать в себя следующие операции:

1. Сравнение показателей оцениваемой системы с показателями аналогичной системы, которая считается лучшей или, как вариант, с аналогичным БТС.

2. Сравнение улучшения или ухудшения значений выбранных показателей одной системы за разные равные периоды времени, например, сравнение показателей за 2 квартал прошлого года и за 2 квартал текущего года и т.п.

3. Сравнение достигнутых значений выбранных показателей оценки с требуемыми значениями, которые могут быть определены в нормативно-правовых актах, приказах руководства, планах работы и т.д. [24, с. 153].

Рациональное использование уже накопленной информации предоставляет широкие возможности для моделирования систем (табл. 1.3.2) и предпосылки формирования информационных резервов БТС.

Таблица 1.3.2

Результаты анализа возможности рационального применения основополагающих положений моделирования систем для оценки качества БТС в процессе эксплуатации в зависимости от сложности их математического описания

№ п/п	Определение и (или) сущность применения для оценки качества БТС в процессе эксплуатации	Математическое выражение	Содержание (переменные)
1	БТС можно описать как нечто целое для выделения из внешней среды	$\mathbf{S} = \mathbf{A}(1, 0)$	Определение выражает факт существования и целостность БТС и (или) технической системы в ее составе. Двоичное суждение $\mathbf{A}(1, 0)$ отображает наличие или отсутствие указанного свойства
2	БТС можно описать как организованное множество подсистем и (или) технических систем	$\mathbf{S} = (\text{орг}, \mathbf{M})$	орг – оператор организации; **M** – множество подсистем и (или) технических систем
3	БТС представляется в виде множества систем (элементов), свойств и отношений	$\mathbf{S} = (\{m\}, \{n\}, \{r\})$	m – технические системы (элементы), n – свойства, r – отношения
4	БТС представляется в виде множества подсистем или систем (элементов), образующих структуру БТС и обеспечивающих функционирование (эксплуатацию) и взаимодействие с внешней средой	$\mathbf{S} = (\varepsilon, ST, BE, E)$	ε – подсистемы или системы (элементы) БТС, ST – структура БТС, BE – процесс эксплуатации БТС, E – внешняя среда.
5	БТС представляется в виде множества входов, множества выходов, множества состояний, характеризуемых оператором переходов и оператором выходов	$\mathbf{S} = (X, Y, Z, H, G)$	X – входы, Y – выходы, Z – состояния, H – оператор переходов, G – оператор выходов. Выражение учитывает основные компоненты, необходимые для обеспечения эффективного управления эксплуатацией БТС (систем в ее составе)

№ п/п	Определение и (или) сущность применения для оценки качества БТС в процессе эксплуатации	Математическое выражение	Содержание (переменные)
6	При необходимости БТС и (или) подсистему (техническую систему) в ее составе целесообразно представить как управляемую систему	$\mathbf{S} = (T, X, U, \Omega, Y, \Gamma, \varphi, \eta),$	T – множество моментов времени; X – пространство состояний системы; Y – множество значений выходных величин; U – множество значений входных величин; $\Omega = \{\omega : T \to U\}$ – множество допустимых значений входных величин; $\Gamma = \{\gamma : T \to Y\}$ – множество допустимых значений выходных величин; $\varphi : T \times X \times U \to X$ – функция, определяющая состояние системы в момент времени t по значениям координат, описывающих систему в начальный момент времени ($x_0 \in X$) и входных величин $\omega \in \Omega$; $\eta : T \times X \to Y$ — функция, определяющая выходные отображения $y(t) = \eta(t, x(t))$.
7	Рациональное комбинирование вышеизложенных положений дает возможность вполне корректно представить БТС в виде организационно-технической системы, что в свою очередь обеспечивает теоретический базис моделирования систем на основе кибернетического подхода	$\mathbf{S} = (PL, RO, RJ, EX, PR, DT, SV, RD, EF)$ где PL – требования вышестоящей системы (объекта управления) в виде совокупности сформулированных целей и планов; RO – внешние ресурсы; RJ – внутренние ресурсы; EX – технические системы (элементы), т.е. исполнители; PR – процесс эксплуатации (время эксплуатации); DT – неблагоприятные воздействия внешней среды; SV – контроль, включающий в себя оценку качества в процессе эксплуатации; RD – управление на основе управленческих решений, принятых ЛПР по результатам оценки качества в процессе эксплуатации; EF – достигнутый положительный эффект за установленное время эксплуатации системы.	

Вышеназванные подходы к оценке качества в основном базируются на использовании статистических данных о результатах эксплуатации систем в различных режимах, то есть на информации о действительных значениях показателей качества систем, получаемых из различных источников.

Рациональное применение основополагающих положений моделирования систем для оценки качества (табл. 1.3.2) позволяет моделировать динамику характеристик систем в различных условиях с целью прогнозирования поведения оцениваемых систем. Что в свою очередь будет способствовать формированию и поддержанию в актуальном состоянии информационных резервов.

Особое внимание стоит обратить на то, что сегодня при реализации традиционного подхода к оценки качества технических систем, эксплуатируемых в составе БТС (рис. 1.1.2) обычно используют методы квалиметрии [4] или методы многокритериальной оптимизации (MOO, multi-objective optimization) [175, 195].

Методы квалиметрии [4, 159] являются апробированным и надёжным инструментом, но требуют существенного развития математического аппарата для каждой новой оцениваемой предметной области, а также для детализации выполняемых функций системы.

В свою очередь данное обстоятельство существенно увеличивает затраты времени и ресурсов на оценку качества новых систем или существующих систем, которые начинают эксплуатироваться в новых условиях или при изменении основных требований к результатам эксплуатации оцениваемых систем.

В этом случае негативное влияние на эффективное функционирование системы управления будет оказывать увеличение времени выполнения ИЦУ (рис. 1.1.4) за счёт разработки и внедрения новых методик оценки качества и (или) совершенствования существующих методик.

Применение «старых» методик при изменении условий оценки может привести к принятию нерациональных решений и как следствие к неоправданному увеличению расхода ресурсов и времени на достижение целей функционирования оцениваемых БТС.

В отношении применения методов многокритериальной оптимизации для комплексной оценки качества БТС в процессе эксплуатации не всё так однозначно.

И именно поэтому в настоящее время большое внимание уделяется разработке алгоритмов и методологий для решения задач методам многокритериальной оптимизации с использованием критерия Парето [175, 195].

Однако, «многие проблемы производственной инженерии, особенно проблемы принятия стратегических решений с участием различных заинтересованных сторон, обычно влекут за собой множественные и конфликтующие цели» [175].

При осуществлении управленческой деятельности многие проблемы и противоречия эксплуатации БТС (рис. 1.1.2) трудно решить одними лишь методами многокритериальной оптимизации, поскольку обычно невозможно обоснованно выбрать наиболее рациональное решение по выбору лучшей БТС (или периода времени функционирования этой системы), которое полностью удовлетворяет всем критериям [175, 195].

В особенности это проявляется при решении задач организации производства [175, 195], при решении задач логистики, возникающих при транспортировке опасных материалов [195] и при обосновании управленческих решений, когда присутствует определенная субъективность ЛПР.

И в этом случае очередной раз наиболее рациональным путём решения таких задач для ЛПР и ДЛ органов управления БТС становиться обращение к вариантам применения инновационным методов и способов оценки на основе сведений о действительных значениях показателей качества систем. Данные сведения обычно содержаться в уже накопленных за десятилетия эксплуатации БТС информационных резервах.

Соответственно, дальнейшее совершенствование и развитие современных методов оценки в исследуемой предметной области целесообразно неразрывно связывать с информационными резервами БТС, содержащими объективную и полную информацию о действительных значениях показателей качества систем в различные периоды времени и при различных режимах и условиях эксплуатации.

Б.И. Герасимов предлагает следующую классификацию резервов повышения качества:

1. Институциональные резервы – нормы, правила, стандарты, законы.

2. Бенчмаркинговые резервы – сравнение и ориентир на те организации, которые достигли наилучших результатов в работе по качеству.

3. Кайзен резервы – вовлечение каждого работника в работу по повышению качества продукции и услуг, что предусматривает немного инвестиций и большое число мелких шагов по улучшению качества. Для формирования кайзен резервов наиболее рационально использовать экспертные методы с учетом нормированных коэффициентов важности экспертов (специалистов по эксплуатации систем).

4. Информационные резервы – включают в себя возможность получать и пользоваться точной, объективной, достоверной, надежной, доступной, защищенной, релевантной, своевременной, полной, интерпретируемой информацией.

5. Интеграционные резервы – формируются на пересечении полей первых четырех резервов (синергетический эффект) [120, с.7].

Основным достоинством данных резервов повышения эффективности БТС на организационном уровне является сравнительно не большие затраты ресурсов и времени на достижение требуемого результата. Разработка и применение методов и способов позволит значительно повысить эффективность БТС. Использование информационных резервов оценки качества предоставляет широкие возможности ЛПР по проведению анализа зависимостей ухудшения или улучшения значений показателей, что помогает своевременно найти причины недостатков в процессе эксплуатации систем. То есть обеспечивает повышение эффективности проактивного управления эксплуатацией и ТО систем в составе БТС. При этом разнообразие оцениваемых систем и современное развитие технологий обосновывает необходимость комплексного использования информации из внутренних и внешних информационных ресурсов. Развитие информационных технологий делает возможным формирование информационных резервов (далее – ИР) для оценки качества БТС.

1.4. Постановка задачи диссертационного исследования на разработку и внедрение методов и способов оценки качества больших технических систем в процессе эксплуатации

Содержание первой главы диссертации обосновало и подготовило постановку задачи диссертационного исследования на разработку и внедрение методов и способов для рационального достижения цели исследования.

Разрабатываемые методы и способы должны представлять собой комплекс новых научно обоснованных технологических, технических и методологических решений по оценки эффективности и качества БТС (систем) в процессе эксплуатации, предназначенный для подготовки своевременных и обоснованных управленческих решений, направленных на обеспечение (повышение) эффективности БТС.

Ограничения на разработку и внедрение методов и способов:

- разработка и внедрение методов и способов не должны требовать существенных затрат ресурсов и изменение существующей системы управления оцениваемыми БТС, включая организацию контроля эксплуатации и ТО систем;

- методы и способы не должны нарушать режимы безопасного функционирования БТС и информационную безопасность;

- применение методик и программ для ЭВМ должно предполагать использование существующих аппаратно-программных средств (средств вычислительной техники) на оцениваемых БТС.

Допущения:

- применение методов и способов предусматривает наличие информации о действительных значениях показателей качества систем и (или) их высокоэффективных аналогов, полученных в процессе эксплуатации;

- имеется организационная и техническая возможность импорта структурированных и неструктурированных данных из разнородных источников о системах в составе БТС (или об их аналогах);

- допускается возможность технического сопряжения вновь вводимых

аппаратно-программных (программных) средств поддержки принятия решений, реализующих процедуры разработанных методов и способов оценки БТС;

- наиболее рациональное использование методов и способов предполагает возможность формирования и поддержания в актуальном состоянии информационных резервов БТС.

Методы и способы должна включать в себя теоретическую (методы) и практическую (способы) части, а также предусматривать органичное развитие и совершенствование этих составных частей. Элементы составных частей должны предусматривать возможность как их самостоятельного применения, так и комплексного использования. Методы и способы должны обладать свойством универсальности и быть применимы для оценки эффективности и качества различных систем в составе БТС, с учетом особой специфики их эксплуатации.

Методы и способы должны быть направлены на обеспечение и выполнение оценки качества систем в процессе эксплуатации при использовании больших объемов разнообразной информации из внутренних и внешних источников информации.

Основной положительный эффект от разработки и внедрения методов и способов должен заключатся в достижении цели исследования (существенном снижении негативного влияния проблемы) и состоять в существенном снижении затрат времени и ресурсов на оценку качества БТС (систем) в процессе эксплуатации. Как следствие, применение методов и способов должно привести к существенному сокращению времени принятия своевременных и обоснованных управленческих решений по обеспечению (повышению) эффективности БТС. Схема разработки и внедрения методов и способов представлена на рисунке 1.4.1, и предполагает дальнейшую детализацию постановки задачи на основе материалов введения и первых трех параграфов диссертации. Поэтому в рамках создания теоретических основ и практической части данной научной работы целесообразно предусмотреть возможность разработки и практической реализации универсальных подходов к учету специфики эксплуатации систем в составе различных БТС.

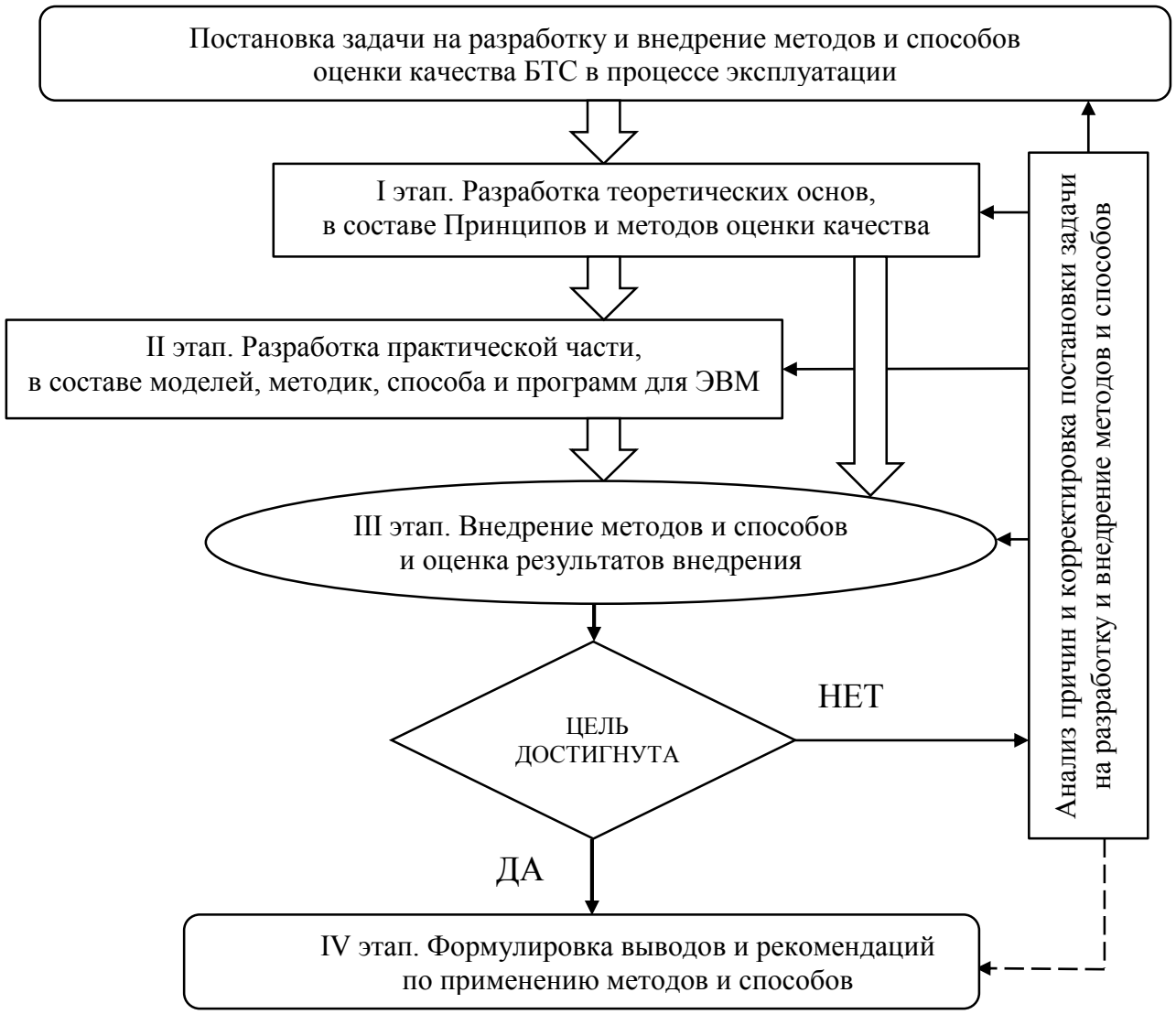


Рисунок 1.4.1. Схема разработки и внедрения методов и способов

В связи с этим и для обеспечения наиболее рационального достижения цели целесообразно осуществлять процесс разработки методов и способов в части касающейся соблюдения последовательности и взаимосвязи разрабатываемых элементов, согласно схеме, представленной на рисунке 1.4.2.

Работа должна включать в себя теоретические основы и практическую часть, представляющие собой две взаимосвязанные части организации деятельности в области методологического, математического и программного обеспечения оценки качества, представленные в виде совокупности Принципов, методов, алгоритмов, моделей, методик, Способа и программ для ЭВМ (рис. 1.4.2).

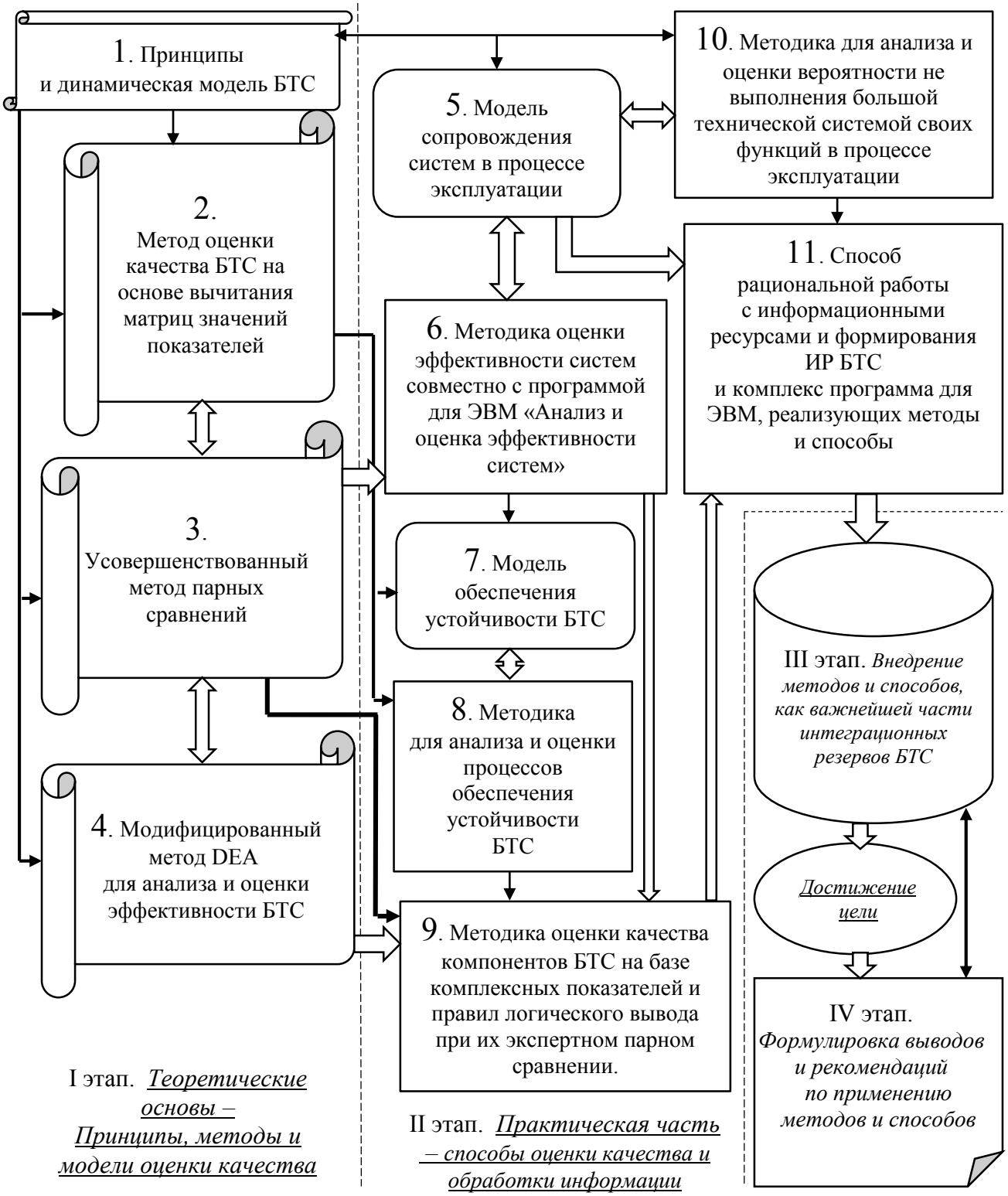


Рисунок 1.4.2. Постановка задачи исследования и схема взаимосвязи методов и способов оценки качества

Практическая часть (рис. 1.4.2) должна быть применима для оценки качества систем в процессе эксплуатации, как составных частей БТС, влияющих на эффективность функционирования БТС. Теоретические основы и практическая часть должны иметь единую цель – существенное снижение времени и ресурсов на оценку качества систем БТС (систем) в процессе эксплуатации и при условии увеличения объема информации, используемой для оценки качества.

Детальное описание постановки задачи диссертации включает 4 этапа (рис. 1.4.1). Выполнение данных этапов должно обеспечить наиболее рациональное достижение цели путем последовательной разработки взаимосвязанных методологических, технических и технологических решений – рисунок 1.4.2.

Итак, в диссертации предстоит разработать взаимосвязанные элементы теоретической и практической части (рис. 1.4.2 и рис. 1.4.3).

При описании этапов разработки и внедрения методов и способов (рис. 1.4.1) нумерация разрабатываемых элементов соответствует нумерации последовательности разработки этих элементов на рисунке 1.4.2., за исключением разработки динамической модели БТС для рациональной оценки качества в процессе эксплуатации (параграф № 2.5 диссертации).

I этап. Разработка теоретических основ (Принципы и методы)

Теоретическая часть включает в себя Принципы и методы, разработанные по результатам анализа проблемы и систематизации противоречий процесса управления БТС [3].

1. Принципы разработки, совершенствования и внедрения методов и способов. Должны быть сформулированы с целью формирования основ методологического обеспечения наиболее рациональной организации оценки качества систем с учетом специфики БТС.

В Принципах необходимо учесть требование по снижению риска БТС за счет своевременного принятия обоснованных управленческих решений. Предусмотреть обоснованную детализацию рационального применения методов и способов.

С этой целью после разработки принципов и методов оценки качества предусмотреть математическое моделирование технических систем в интересах

рациональной организации оценки качества в процессе эксплуатации.

2. Метод оценки качества больших технических систем на основе вычитания матриц значений показателей.

Метод разработать на основе результатов анализа применения методологии SADT, стандартов IDEF0 и дифференциальных методов оценки [1, 86, 92, 93, 105, 106, 122, 147] в целях формирования теоретических основ совершенствования методов и способов. Разработать правила и формулы вычитания матриц значений показателей качества. Матрицы составить на основе построения и сравнения «идеальной» (базовой) и реальной структурно-функциональных моделей (далее – СФМ) системы. Разработать программу для ЭВМ, реализующую оценку качества систем методом вычитания матриц.

Для этой цели в методе должна быть разработана структурно-функциональная модель БТС (системы), в которой описывается участие систем в выполнении функций БТС, их количество и общие показатели качества, наиболее важные для обеспечения эффективного функционирования БТС. Так как применение структурно-функциональной модели будет обеспечивать требуемый уровень детализации функций БТС и его специфику вне зависимости от его предназначения.

3. Усовершенствованный метод парных сравнений [18, 19, 20, 32].

Совершенствование метода парных сравнений необходимо для создания теоретических основ разработки методик оценки качества и эффективности и для их дальнейшей программной реализации в интересах рациональной автоматической обработки информации. Для этого требуется обоснованная формулировка правил логических выводов при осуществлении парного сравнения систем, применимых для программной реализации с учетом ограничений. В связи с этим разумно предусмотреть возможность использования проверочных значений при использовании метода парного сравнения, а также проверку вводимых экспертами (должными лицами) значений на непротиворечивость.

При комплексном применении Принципы и методы теоретической части должны позволять учитывать специфику БТС и делать более рациональным

процесс методологического и программного обеспечения оценки качества БТС.

4. Модифицированный метод DEA для анализа и оценки эффективности больших технических систем.

Оценка результативности, экономичности и эффективности систем требует разработки и (или) совершенствования новых путей, учитывающих противоречие между универсальностью разрабатываемых методов и объективной необходимостью учета специфики эксплуатации разнообразных систем в составе оцениваемого БТС (рис. 1.1.1). Кроме того, методологическое и программное обеспечение оценки качества БТС требует дальнейшего совершенствования традиционных методов оценки качества. В связи с этим наиболее предпочтительным является использование классического метода DEA [172 - 175].

Однако, эффективное применение метода DEA в исследуемой предметной области будет предусматривать его усиление в модифицированном методе DEA за счет применения комплексных показателей результативности, экономичности и эффективности систем с учетом их базовых (требуемых) значений. При этом, возможно, будет рациональным использование оценки корреляционной зависимости и введение предельных значений показателей качества.

II этап. Разработка практической части (Способы)

Практическая часть работы (рис. 1.4.3) включает в себя модели, методики, алгоритмы оценки и принятия решений, Способ формирования информационных резервов и программы для ЭВМ, разработанные на основе вышеизложенной теоретической части.

5. Модель сопровождения систем в процессе эксплуатации.

Для достижения цели диссертации и подтверждения гипотезы исследования, а также с учетом принятых ограничений для разработки методов и способов, при создании модели наиболее рационально основываться на апробированных результатах научных исследований [21, 163, 182-188, 197, 207 215], а также научных и учебно-методических работ автора [63, 65, 66, 69, 70]. Поэтому в модели разработать схему сопровождения систем, определить роль и место оценки качества систем в процессе сопровождения на этапе эксплуатации.

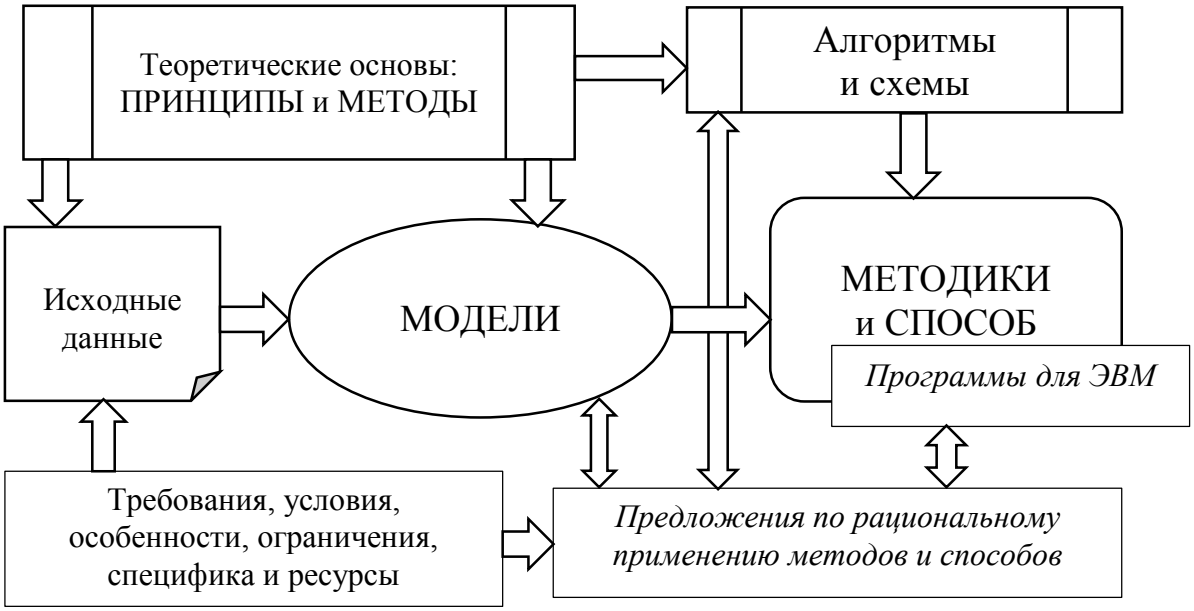


Рисунок 1.4.3. Схема разработки практической части диссертации

Описать типы возможных управленческих решений по результатам оценки качества. Модель будет предназначена для обеспечения рациональной организации работы по совершенствованию и развитию систем с помощью эффективного применения методов и способов. Для этого разработать схему организации взаимодействия в процессе оценки качества в целях снижения времени оценки качества в условиях увеличения объемов использованной информации.

Применение модели должно предусматривать постоянный контроль качества систем в процессе их эксплуатации.

Ожидаемый положительный эффект: обеспечение наиболее рационального применения методов и способов с учетом специфики БТС, а также сокращение времени информационного взаимодействия при организации контроля и сопровождении систем в процессе эксплуатации.

6. Методика оценки эффективности систем – как часть положения, выносимого на защиту совместно с модифицированным методом DEA.

Совместно с методикой разработать программу для ЭВМ «Анализ и оценка эффективности систем» для эффективного применения методики на практике.

Методику разработать на основе усовершенствованного метода парных

сравнений и модифицированного метода DEA.

Методика должна использовать количественные значения двух (X_1, X_2) и более видов ресурсов (X). Стоимость израсходованных ресурсов, единицы измерения полученного результата и общая стоимость полученного результата измерять в тыс. рублей. Методика должна позволять сравнивать системы (периоды времени) по результату и (или) показателю функционирования систем, а также по соотношению израсходованных ресурсов (X) и результата (Y). В программе для ЭВМ предусмотреть выполнение всех необходимых расчётов для построения таблиц, систематизации полученных значений корреляционной зависимости показателей функционирования систем, графиков и диаграмм.

Основные требования к методике и программе для ЭВМ:

- обеспечение требуемой детализации израсходованных ресурсов и полученного результата;

- проведение анализа корреляционной зависимости всех используемых переменных;

- составление рейтинга систем по результатам оценки эффективности.

В программе должна быть предусмотрена возможность формирования отчётов ЛПР в формате Word, а также визуализации полученных результатов в режиме реального времени. Программа должна иметь интуитивно понятный интерфейс.

Ожидаемый положительный эффект: сокращение времени и ресурсов на оценку эффективности и повышение обоснованности управленческих решений за счет возможности сравнения и требуемой детализации израсходованных ресурсов (X) при анализе и оценке эффективности системы.

7. Модель обеспечения устойчивости БТС.

В разработанной модели БТС должна быть представлена как организованная совокупность систем, функционирование которых влияет на ее устойчивость.

Для достижения этой цели определить основные показатели качества систем, влияющие на устойчивость БТС.

Разработать формулы и взаимосвязанные таблицы для описания состояния

устойчивости БТС в неблагоприятных условиях. При этом вне зависимости от вида деструктивных воздействий описать их последствия для устойчивого функционирования БТС (систем в его составе). В рамках создания модели разработать и систематизировать критерии устойчивости БТС (системы) в зависимости от состояния систем (подсистем, элементов) в его составе, наличия запасов ресурсов и возможностей БТС (системы) к восстановлению.

В итоге созданная модель должна обеспечивать проведение анализа изменений состояний устойчивости БТС в неблагоприятных условиях функционирования и влияние качества систем на его устойчивость.

Ожидаемый положительный эффект: существенная экономия ресурсов и времени за счет моделирования состояний устойчивости БТС.

8. Методика для анализа и оценки процессов обеспечения устойчивости БТС.

Совместно с методикой разработать программу для ЭВМ «Оценка устойчивости систем». Методику и программу разработать на основе модели обеспечения устойчивости и результатов научных исследований в области устойчивости систем [6, 7, 95, 96, 102, 101, 119, 132, 133, 178, 209].

В методике оценки устойчивости рассчитать коэффициент устойчивости БТС как комплексный показатель качества систем в сфере устойчивости БТС.

Основное назначение методики заключается в том, что посредством нахождения значений коэффициентов устойчивости оцениваемых систем в составе БТС при неблагоприятных условиях получить возможности сравнения этих систем и (или) оцениваемых периодов времени эксплуатации систем и осуществлять обоснованный выбор лучшей системы. А также оценить запас устойчивости БТС, включая время устойчивого функционирования в неблагоприятных условиях и исходя из расхода времени и ресурсов на восстановление функционирования требуемого количества систем в составе БТС. Кроме того, методика должна позволять ЛПР вводить ограничения для показателей оценки устойчивости систем: минимальное время устойчивого функционирования, количество элементов (изделий), количество персонала, расход ресурсов, потери и т.д.

Методику должна реализовывать программа для ЭВМ «Оценка устойчивости

систем», которая будет кроссплатформенной и функционировать как клиент-серверное приложение. В программе предусмотреть возможность формирования отчётов в виде таблицы в формате Word, а также визуализации полученных результатов в виде графиков и диаграмм.

Ожидаемый положительный эффект: существенная экономия ресурсов и времени на оценку устойчивости БТС и принятия управленческих решений по обеспечению устойчивого функционирования БТС.

9. Методика оценки качества компонентов большой технической системы на базе комплексных показателей и правил логического вывода при их экспертном парном сравнении (далее – комплексная методика).

Методику рационально разработать с учетом научных исследований в этой области [4, 89, 99, 100, 109], включая научно-методические работы автора [24, 74, 75], взяв за основу ранее усовершенствованный для этой цели метод парных сравнений. В методике для обеспечения наиболее рациональной последовательности действий и учета принятых ограничений при постановки задачи диссертации целесообразно разработать схему применения экспертной и статистической информации с учетом пополнения и использования информационных резервов БТС. В разрабатываемой схеме предусмотреть наличие обратной связи между управленческим решением, принятым ЛПР по результатам оценки качества, и положительным эффектом от этого решения и (или) посредством оценки эффективности методики по сравнению с тем состоянием дел в этой сфере, которое было до применения данной методики.

В комплексной методике предусмотреть оценку качества как с использованием, так и без использования экспертной информации, а также учет и идентификацию источников получения сведений для оценки качества, включая внешних и внутренних экспертов. При этом методика должна давать возможность программной реализации изменения действительных значений показателей качества систем в процессе эксплуатации. С учетом цели исследования, а также введенных ограничений и допущений в методике должно быть предусмотрено ведение взаимосвязанных систематизированных таблиц, дающих ЛПР и

должностным лицам достаточную информацию для оценки качества систем и составления рейтинга систем по результатам этой оценки.

Методика должна предусматривать возможность программной реализации без затрат дополнительных ресурсов и подготовки персонала. При этом по решению ЛПР или должностных лиц результаты оценки качества могут представляться в виде сводной таблицы и (или) графиков и диаграмм.

Ожидаемый положительный эффект: методика должна позволять без затрат дополнительных ресурсов существенно уменьшать время оценки качества с использованием статистической и экспертной информации, получаемой из различных источников, а также способствовать поддержанию в актуальном состоянии информационных резервов оценки качества.

10. Методика для анализа и оценки вероятности не выполнения большой технической системой своих функций в процессе эксплуатации.

Совместно с методикой разработать программу для ЭВМ «Расчет и анализ вероятностных характеристик системы».

Исходя из материалов первого параграфа диссертации и результатов анализа проблемы исследования, методику целесообразно разработать на основе научных работ в сфере контроля качества и оценки надежности систем [148, 149, 191, 203], а также научных и учебно-методических работ автора [34, 35, 36, 83].

В методике предусмотреть расчет важнейшего показателя оценки качества систем при эксплуатации, а именно вероятность одновременного отказа (неисправности) заданного количества систем, при котором нарушается функционирование БТС. В методике данный показатель рассчитывать с помощью усовершенствованной формулы, выведенной на основе закона биноминального распределения для выборки с возвратом. Методика совместно с программой для ЭВМ должна обеспечивать возможность моделирования и анализа вероятности отказов заданного числа элементов системы и кумулятивной вероятности.

В разрабатываемой методике целесообразно учесть, что любую систему можно представить в виде определенного количества (n) взаимосвязанных разнородных или однородных элементов. Если элементы разнородны, то

рекомендуется для расчетов использовать наибольшую вероятность отказа элемента в этой системе («слабое звено»), то есть основываться на пессимистическом сценарии. В системе всегда есть заданное количество элементов (x), при одновременном отказе которых система выйдет из строя или не выполнит задачу. Таким образом, вероятность одновременного отказа x-числа элементов $P(x)$ можно обоснованно принять за вероятность невыполнения задачи или выхода из строя системы. Например:

- оповещение на определенной территории БТС может быть сорвано в заданные в сроки с рассчитываемой вероятностью $P(x)$ при наличии заданного количества (x) неисправных элементов (линий связи) системы оповещения;

- восстановление функционирования БТС возможно с рассчитываемой вероятностью $(1 – P(x))$ при наличии заданного количества $(n – x)$ готовых аварийно-восстановительных формирований (комплектов ЗИП, транспортных средств) и т.д.

Программа для ЭВМ должна рассчитывать вероятности отказов (неисправностей) задаваемого числа элементов системы и кумулятивной вероятности в зависимости от общего количество отказов элементов в системе. Предусмотреть построение и сравнение графиков и таблиц, а также их сохранение и экспорт в Word и (или) в Excel. Кроме того, в интересах дополнительной оценки качества в диссертации целесообразно сформулировать рекомендации и разработать методику расчета вероятности своевременного достижения цели функционирования системы совместно с программой для ЭВМ. При этом исследовать возможности разработки и использования этой методики на основе современных научных работ по применению интегрального уравнения Вольтерра второго рода второго порядка относительно указанной вероятности [2, 3].

Ожидаемый положительный эффект: методика совместно с программой для ЭВМ должна обеспечивать экономию времени и ресурсов БТС на проведение испытаний и оценивать вероятностные характеристики выхода из строя заданного количества систем в составе БТС в процессе эксплуатации.

11. Способ рациональной работы с информационными ресурсами БТС.

Для применения Способа разработать программу для ЭВМ «Реализация способа рациональной работы с информационными ресурсами и формирования информационных резервов системы». В Способе необходимо разработать рациональный алгоритм (схему) работы с информационными резервами.

В свою очередь реализация схемы будет предусматривать разработку структуры и содержания информационных резервов. При этом в создаваемых информационных резервах следует предусмотреть учет и идентификацию источников информации.

Таким образом, Способ, алгоримы, динамическая модель БТС, модель взаимодействия элементов и модель сопровождения систем составляют шестое положение, выносимое на защиту, «Модели и алгоритмическое обеспечение систем принятия решений при сопровождении больших технических систем в процессе эксплуатации» (5 глава диссертации).

Ожидаемый положительный эффект: эффективное комплексное использование разрабатываемых методов и способов БТС, обеспечивающее уменьшение расхода времени и ресурсов на оценку эффективности, качества и обработку информации при подготовке своевременных управленческих решений в процессе эксплуатации БТС.

При постановке задачи диссертации необходимо акцентировать внимание на том, что основной положительный эффект от внедрения разрабатываемой практической части заключается в увеличении объема используемой полезной информации при снижении времени и ресурсов на оценку, что, в свою очередь, позволит сократить время принятия обоснованных управленческих решений по повышению эффективности эксплуатации БТС.

III этап. Внедрение методов и способов и оценка результатов внедрения

Внедрение должно учитывать особенности БТС. Оценка результатов проводится на основе сравнения состояния дел до внедрения методов и способов – это БТС и (или) системы (периоды времени), то есть контрольные группы (КГ), и после внедрения – это системы (периоды времени), где применялась методы и способы, то есть экспериментальные группы (ЭГ). Ожидаемый результат –

существенное снижение затрат времени и ресурсов в ЭГ по сравнению с КГ при одинаковых условиях эксплуатации.

IV этап. Формулировка выводов и рекомендаций
по применению методов и способов (рис. 1.4.1 и 1.4.2)

Основной вывод должен содержать ответы на вопросы:

1. «Достигнута ли цель работы?».

2. «Подтверждена ли гипотеза исследования?».

Выводы и рекомендации должны основываться на существенном улучшении состояния дел в исследуемой предметной области и учитывать перспективы развития оцениваемых БТС, особенности эксплуатации БТС (параграф № 1), а также развитие современных технологий.

В перспективе для дальнейших научных исследований целесообразно определить возможности применения методов и способов в интересах формирования интеграционных резервов повышения (обеспечения) эффективности функционирования БТС.

Так как в будущем формируемые интеграционные резервы будут выступать основой обеспечения проактивного управления эксплуатацией БТС в целях существенного снижения:

- рисков принятия нерациональных решений и возникновения ошибок при контроле эксплуатации и ТО БТС;

- количества проблем эксплуатации систем в составе БТС;

- информационной нагрузки на ЛПР (рис. 1.1.6);

- расхода времени и ресурсов на оперативное решение проблем, возникающих в процессе эксплуатации БТС.

Таким образом, в современных условиях разрабатываемые методы и способы как комплекс научно обоснованных технических, технологических и методологических решений, должны служить основой повышения эффективности управления и будут выступать как важнейшая часть информационных резервов БТС, то есть вносить значительный вклад в развитие страны.

Выводы по первой главе

Сегодня важнейшим путем совершенствования управления и принятия решений с целью повышения эффективности БТС является разработка и внедрение методов и способов, как комплекса научно обоснованных технических, технологических и методологических решений, которые вносят значительный вклад в развитие страны.

Объективная оценка качества БТС возможна на этапе эксплуатации.

Поэтому на этом этапе жизненного цикла особенно важно провести оценку в минимальные сроки, что позволит ЛПР принять своевременные и обоснованные управленческие решения.

Актуальность и практическая направленность методов и способов основаны на том, что в современных условиях эффективность БТС в значительной степени зависит от качества систем в их составе. В свою очередь обеспечение и повышение эффективности функционирования БТС во многом зависит от своевременных и обоснованных управленческих решений, принимаемых по результатам оценки качества систем в процессе эксплуатации.

Кроме того, методы и способы будут эффективно способствовать формированию информационных резервов повышения эффективности исследуемых БТС, подготовке квалифицированных кадров, обеспечению научно-исследовательских и опытно конструкторских работ по совершенствованию и развитию данных БТС.

В перспективе разработанные методы и способы станут еще более востребованными вследствие развития и использования современных технологий, которые обеспечивают предпосылки для повышения их универсальности при применении большого количества разнообразных технических систем в составе БТС различного назначения [160, 194-198, 202, 206].

Глава 2. Принципы, методы и модели оценки качества больших технических систем в процессе эксплуатации

2.1. Принципы оценки качества больших технических систем в процессе эксплуатации

С учетом специфики предметной области диссертации (параграф 1.1) принципы разработки, совершенствования и внедрения методов и способов (далее – Принципы) рационально сформулировать, используя результаты научных исследований в сфере менеджмента качества и подготовки управленческих решений [11, 12, 15, 106, 113, 119, 150, 177-189, 199, 207], а также научных работ автора [33, 50, 52, 70, 73]. Таким образом, Принципы – это основные положения оценки качества систем в процессе эксплуатации.

В перспективе разрабатываемые Принципы обеспечат практическое применение методов и способов, как основы робастной устойчивости БТС при наличии неопределенности в пространстве параметров (робастная теория) за счет определения области робастной устойчивости БТС, то есть определения действительных значений выбранных показателей качества, которые в процессе эксплуатации систем в составе БТС, могут отличаться от расчетных (базовых или требуемых), но гарантировано позволят БТС выполнить задачи по предназначению и (или) достичь цели функционирования. Робастная устойчивость БТС, основанная на результатах оценки качества систем позволит обеспечивать динамическую безопасность БТС в процессе эксплуатации, что будет снижать риски для БТС.

Принципы предопределяют применение методов и способов для получения дополнительной информации о поведении робастно устойчивых систем в составе БТС, особенно, это важно, в пограничных режимах и при неблагоприятных условиях эксплуатации (параграф № 3.3 диссертации).

В результате чего методы и способы будут выступать важнейшей частью проактивного управления БТС, позволяющей с минимальными временными и ресурсными затратами изменять параметры систем в составе БТС.

Первый принцип заключается в обеспечении эффективности методов и способов, а также минимизации риска принятия неправильного решения по результатам оценки [73 с. 27].

В идеале требования к эффективности разрабатываемых методов и способов математически можно выразить условиями наиболее рационального достижения цели оценки БТС в процессе эксплуатации, а именно следующими выражениями:

$$P_{н.р.} \to 0, \text{ или } R_к \to \min, \text{ или } T_к \to \min \qquad (2.1.1)$$

где $P_{н.р.}$ - вероятность принятия не своевременного и не правильного решения (ошибки первого или второго рода) по результатам оценки качества систем;

$R_к$ - затраты ресурсов на обеспечение оценки качества;

$T_к$ - затраты времени на оценку качества систем. [25, с. 428-429]

Риском системы будем считать вероятность принятия неправильного и (или) несвоевременного решения ($P_{н.р.}$).

При этом в современной науке отсутствует однозначное и обоснованное понимание риска системы, применимое к оцениваемым БТС.

Что, в частности, подтверждается следующим утверждением Н.Д. Ильенковой: «….следует отметить, что методология исследования риска и рекомендации относительно возможности ее практического использования пока еще в полной мере не сформировались. До сих пор не устоялось однозначное понимание риска» [120, с. 73].

Поэтому актуальность и практическая направленность первого принципа будет дополнительно состоять в раскрытии термина «риск системы» в отношении последствий от неправильных решений.

В этом случае риск БТС вследствие принятия не правильного и не своевременного решения по результатам оценки качества – это вероятность возникновения любого повышенного расхода ресурсов и времени по сравнению с прогнозируемым вариантом и (или) вероятность потери устойчивости функционирования БТС, а также невыполнения задач по предназначению [29, 71].

При оценке качества и, соответственно, при принятии управленческих

решений по результатам этой оценки могут быть ошибки первого и второго рода.

Ошибка первого рода – система, которая отвечает требованиям по качеству, может быть ошибочно признана не отвечающим эти требованиям или эффективная система может быть признана неэффективной.

Ошибка второго рода – система, которая не отвечает требованиям по качеству, может быть ошибочно признана отвечающим эти требованиям или неэффективная система может быть признана эффективной.

Понятие риска системы напрямую связано с вероятностью принятия неправильного решения ($P_{н.р.}$), которое влечет ошибки первого или второго рода.

С учетом того, что своевременное решение – это важнейший элемент обеспечения эффективности оцениваемых БТС, то, следовательно, уменьшение времени оценки будет выступать дополнительным важнейшим фактором снижения вероятности ошибок первого рода, а значит, повышения эффективности эксплуатации БТС. В то же время эффективность применения методов и способов будет связана с существенным изменением количественных показателей, характеризующих затраты всех видов ресурсов и затраты времени. Оценка качества обеспечивает некоторый полезный эффект, связанный, в свою очередь, с затратами. Сопоставление полезного эффекта с затратами на его получение позволяет судить об эффективности. Таким образом, в первом принципе прослеживается взаимосвязь между эффективностью методов и способов и их направленностью на снижение риска БТС (систем) в процессе эксплуатации [73 с. 28].

Второй принцип состоит в универсальности, практической направленности методов и способов, дешевизне и простоте их реализации в различных БТС без существенных затрат времени и ресурсов на использование средств связи, АСУ (средств вычислительной техники) и на подготовку персонала (рис. 2.1.1).

Универсальность достигается использованием единых подходов к оценке качества систем с учетом их специфики, в том числе посредством применения ниже сформулированного третьего принципа.

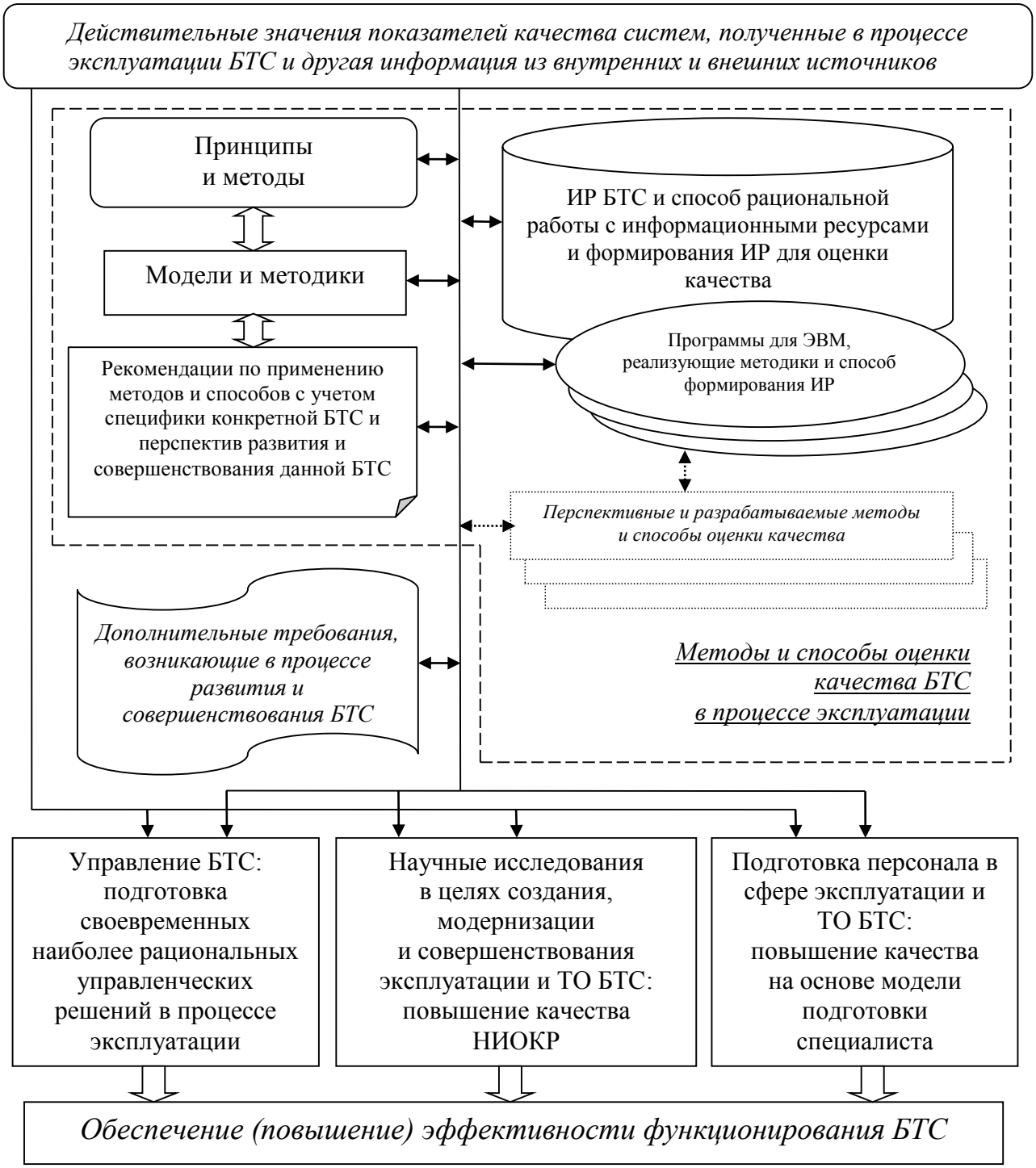


Рисунок 2.1.1. Схема рационального применения, развития и совершенствования методов и способов

В формируемых информационных резервах БТС требование по универсальности будет выполняться за счет системного применения разработанных программ для ЭВМ [43, 44, 45, 46, 47, 53, 59, 77], реализующих

создаваемые методики оценки и способ формирования информационных ресурсов. Что, в свою очередь, обеспечивает дешевизну и простоту внедрения методов и способов [25, 29, 30]. Вышеизложенное совместно с применением модели сопровождения систем будет способствовать практической направленности методов и способов по трем направлениям деятельности (рис. 2.1.1):

1) повышение эффективности управления, эксплуатации и ТО БТС;

2) повышение качества НИОКР по созданию и модернизации БТС;

3) повышение качества подготовки персонала в сфере эксплуатации и ТО.

В качестве комментария к схеме на рисунке 2.1.1 важно отметить, что мировой опыт, накопленный специалистами по управлению качеством, свидетельствует о том, что «…устранение <…> ошибки (допущенной на первом этапе жизненного цикла системы) в процессе выполнения работ на втором этапе в среднем обойдется в 10 раз дороже» [120, с. 101].

В перспективе выполнение второго принципа будет направлено на рациональное применение, развитие и совершенствование методов и способов, начиная с подготовки технических заданий на выполнения НИОКР (рис. 2.1.1).

Применение методов и способов в НИОКР будет заключаться, в первую очередь, в заблаговременном устранении возможных ошибок, ухудшающих качество систем, и за счет этого будут созданы условия для достижения требуемого уровня качества на начальных этапах жизненного цикла систем, планируемых для эксплуатации в составе оцениваемых БТС. И при этом обеспечивает практическое осуществление обратной связи на последующих этапах с целью оценки эффективности и получения исходной информации для разработки обоснованных предложений по улучшению качества систем [73, 213, 215].

В целом второй принцип закладывает теоретическую базу применения, развития и совершенствования разрабатываемых методов и способов.

Третий принцип состоит в структурно-функциональной классификации оцениваемых систем в составе БТС (рис. 2.1.2 и рис. 2.1.3) [73 с. 29].

Сущность данного принципа заключается в классификации множества оцениваемых систем (n) сначала по признаку места эксплуатации или условиям

эксплуатации в структуре БТС (пример – рис. 2.1.2).

Например, для объекта промышленности:

1. Системы эксплуатируются вне помещений БТС – внешние системы.

2. Системы эксплуатируются в помещениях БТС – внутренние системы.

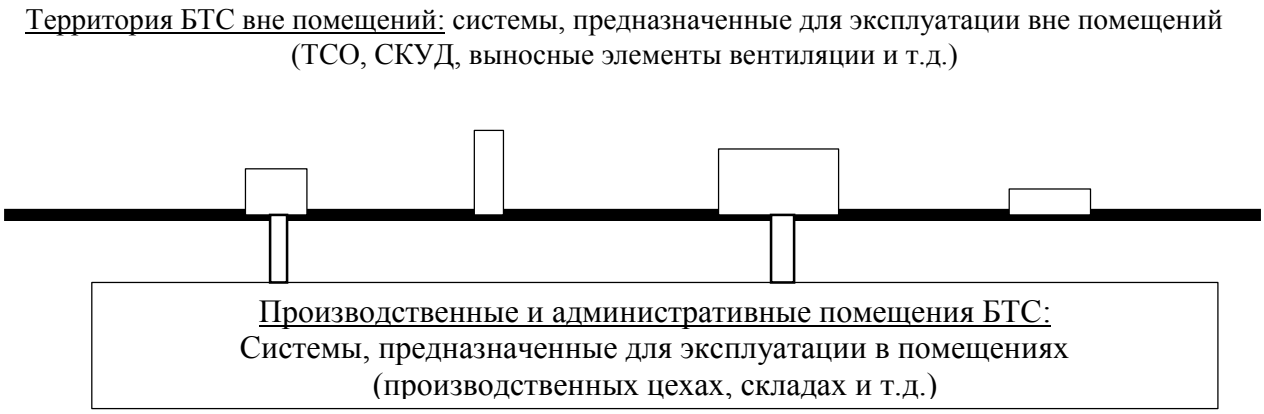


Рисунок 2.1.2. Внутренние и внешние системы в составе БТС (пример)

Далее предлагается разделение полученного множества групп систем на три группы в зависимости от их функционального предназначения:

1. Группа систем, обеспечивающих выполнение функции управления.

2. Группа систем, обеспечивающих выполнение основных функций.

3. Группа систем, обеспечивающих выполнение вспомогательных функций.

Примеры на рисунках 2.1.2 и 2.1.3.

В свою очередь, для обеспечения требуемого уровня детализации и более полного учета специфики БТС, целесообразно дальнейшее разделение полученных трех функциональных групп на множество подгрупп систем (изделий), в зависимости от выполняемой функции (задачи) в составе БТС [73]. То есть, в сущности, в зависимости от назначения системы, например, система электропитания, сигнализации, автоматического пожаротушения и т.д.

Предлагаемая в третьем принципе классификация систем позволяет систематизировать краткие характеристики и (или) начальные требования к

оцениваемым системам по структурно-функциональному предназначению в составе БТС.

Один из вариантов такого описания систем содержит:

1. Место (условия) эксплуатации системы.

2. Место в структуре БТС.

3. Выполняемые функции.

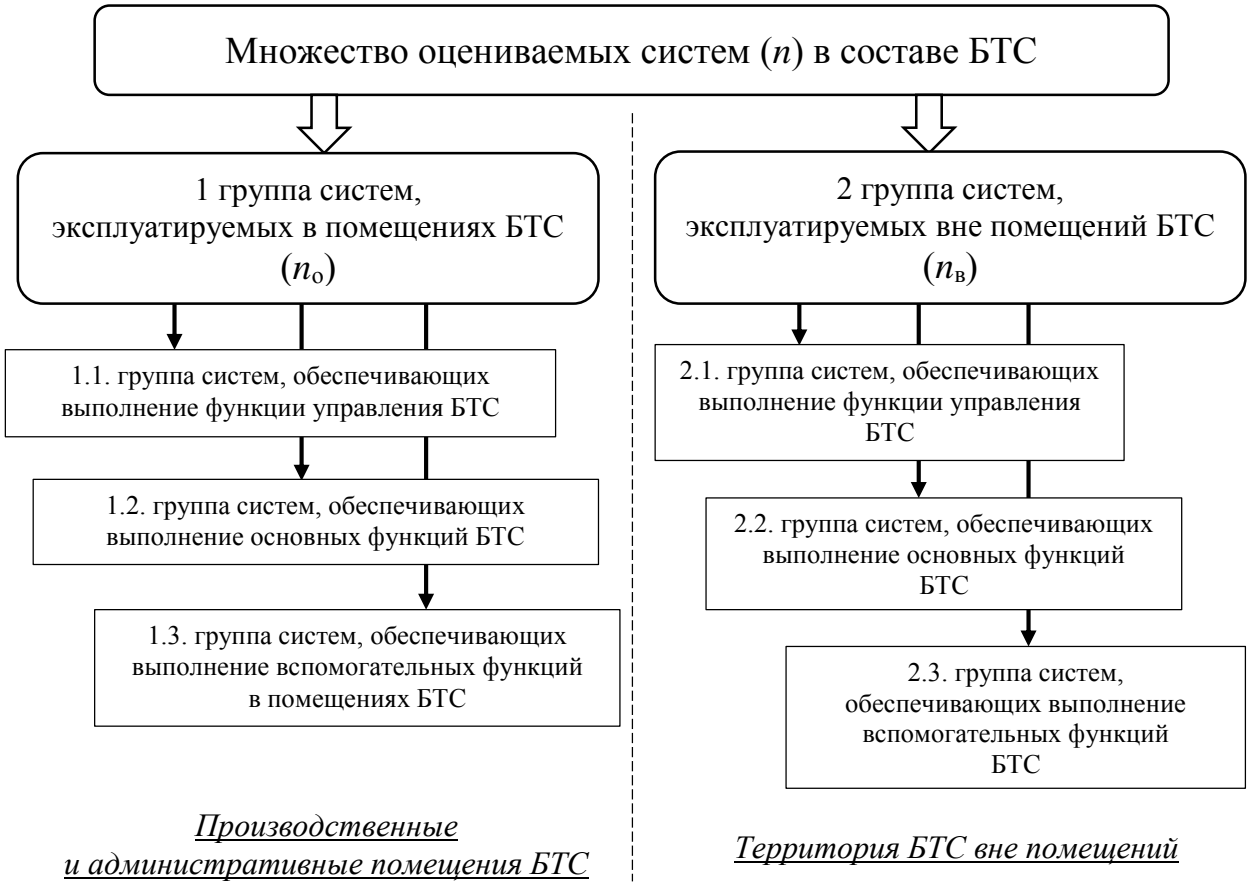


Рисунок 2.1.3. Схема классификации систем БТС для оценки качества

Например, для средств вычислительной технике в составе АРМ должностного лица подсистемы управления БТС описание в соответствии с предлагаемые классификацией будет следующим:

1. Место (условия) эксплуатации системы: в административном здании БТС.

2. Место в структуре БТС: подсистема управления – пункт управления БТС.

3. Выполняемые функции: хранение, обработка и отображение информации.

Таким образом, применение третьего принципа позволяет:

- существенно сократить время поиска и обработки информации в формируемых информационных резервах;

- учитывать специфику эксплуатации систем в составе конкретного БТС;

- обоснованно составлять рейтинг оцениваемых систем в группах и подгруппах по результатам оценки качества;

- обоснованно проводить выбор систем для оценивания, включая аналоги, эксплуатируемые в похожих условиях.

- обоснованно определить важность (приоритеты) систем в сфере обеспечения эффективного функционирования БТС.

Таким образом, принципы позволяют обеспечивать рациональную организацию процесса принятия управленческих решений (рис. 2.1.4).

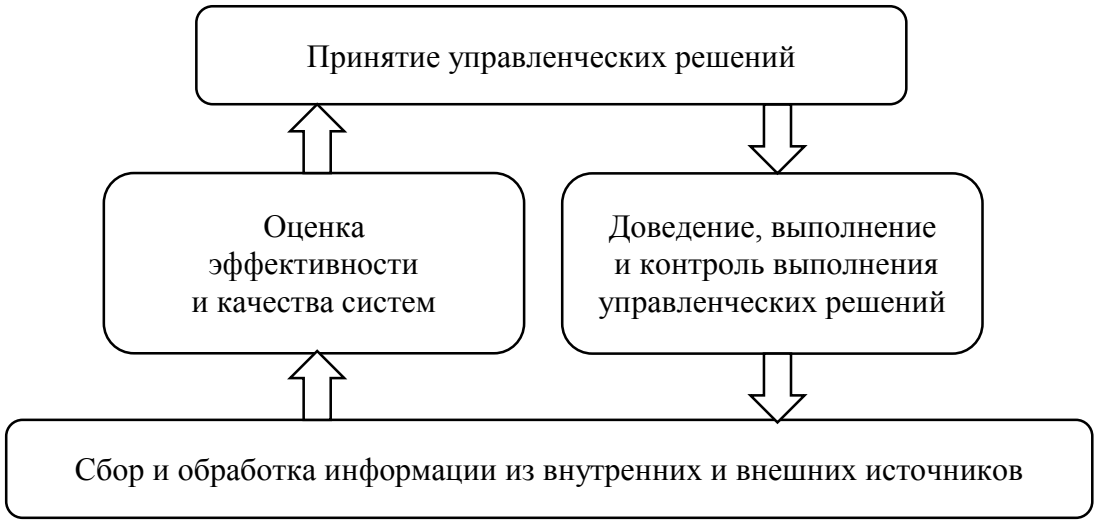


Рисунок 2.1.4. Цикл принятия управленческих решений по результатам оценки эффективности и качества БТС в процессе эксплуатации

Сформулированные принципы в значительной степени подлежат применению в следующем параграфе диссертации для разработки структурно-функциональных моделей в методе оценки качества БТС на основе структурно-функционального моделирования и вычитания матриц значений показателей качества систем, эксплуатируемых в составе оцениваемых БТС.

2.2. Метод оценки качества больших технических систем на основе вычитания матриц значений показателей

Постановка задачи диссертационного исследования предполагает создание теоретических основ работы с целью обеспечения наиболее рационального достижения цели исследования. В современном мире нахождение наиболее рациональных путей решения сложных слабоструктурированных проблем в исследуемой предметной области предопределяет необходимость совершенствования традиционных методов и методик оценки качества систем.

При этом важно отметить, что анализ результатов научных работ [117, 188] указывает на целесообразность учета и реализации возможности унификации процедур оценки качества систем и обработки информации в процессе управления, что на практике существенно расширит область применения разрабатываемых методов оценки качества. Кроме того, формализация используемых данных о качественном состоянии систем будет способствовать успешной реализации этих методов в компьютерных программах в различных прикладных областях.

Методы квалиметрии [4, 159] могут быть применимы, но требуют существенного развития методологических инструментов для каждой оцениваемой предметной области, а также для детализации выполняемых функций системы.

Ранее эта проблема частично решалась путем применения Методологии SADT (Structured Analysis and Disign Tecchnique – методология структурного анализа и проектирования), которая основывается на концепции системного моделирования [106]. Эта концепция позволяет рассматривать систему с помощью описания ее функций или объектов (данных). При этом и классический подход, и более современные научные работы [106, 194] в этой области демонстрируют узко направленный характер исследований конкретных технических систем и (или) технологических процессов. То есть присутствует явные пробелы в предлагаемых формах применения методологии SADT далеко не в полной мере отвечающим современным требованиям к унификации оценке качества систем в процессе функционирования.

Систематизация результатов анализа научных работ [5, 84, 87, 94, 193] предопределяет наиболее рациональный путь на основе комплексного использования научных знаний в области повышения эффективности управления [9, 12, 213, 216] и применения результатов совершенствования прикладной теории матриц [92, 93].

В связи с этим, представляется рациональным обратиться к такому направлению исследования, как совершенствование и применение структурно-функциональных моделей (далее – СФМ) систем, а также матриц значений показателей качества функционирования систем [92, 210, 212, 214].

Поэтому одним из перспективных и важнейших направлений формирования теоретических основ исследования и выполнения требований по оценке качества систем является разработка и внедрение метода оценки качества БТС на основе вычитания матриц значений показателей (далее – Метод).

Назначение Метода: комплексная оценка качества БТС (систем) и систематизация получаемых результатов оценки качества в интересах подготовки своевременных и обоснованных управленческих решений [67, с. 99].

Сущность Метода: состоит в комплексном сравнении значений показателей качества, полученных в виде статистической информации из внутренних и внешних информационных ресурсов с учетом требований к БТС и системам в ее составе. При этом информация систематизируется и проверяется на соответствие требованиям в формализованных табличных формах по каждому выбранному показателю качества. Предлагаемый подход предоставляет широкие возможности для системного анализа и оценки качества систем с использованием больших объемов информации, в том числе получаемой из сети Интернет [32, 36, 67, 162].

Алгоритм оценки качества систем Методом вычитания матриц значений показателей качества представлен на рисунке 2.2.1.

Область применения Метода: оценка качества БТС (систем) в процессе эксплуатации [78, с. 30].

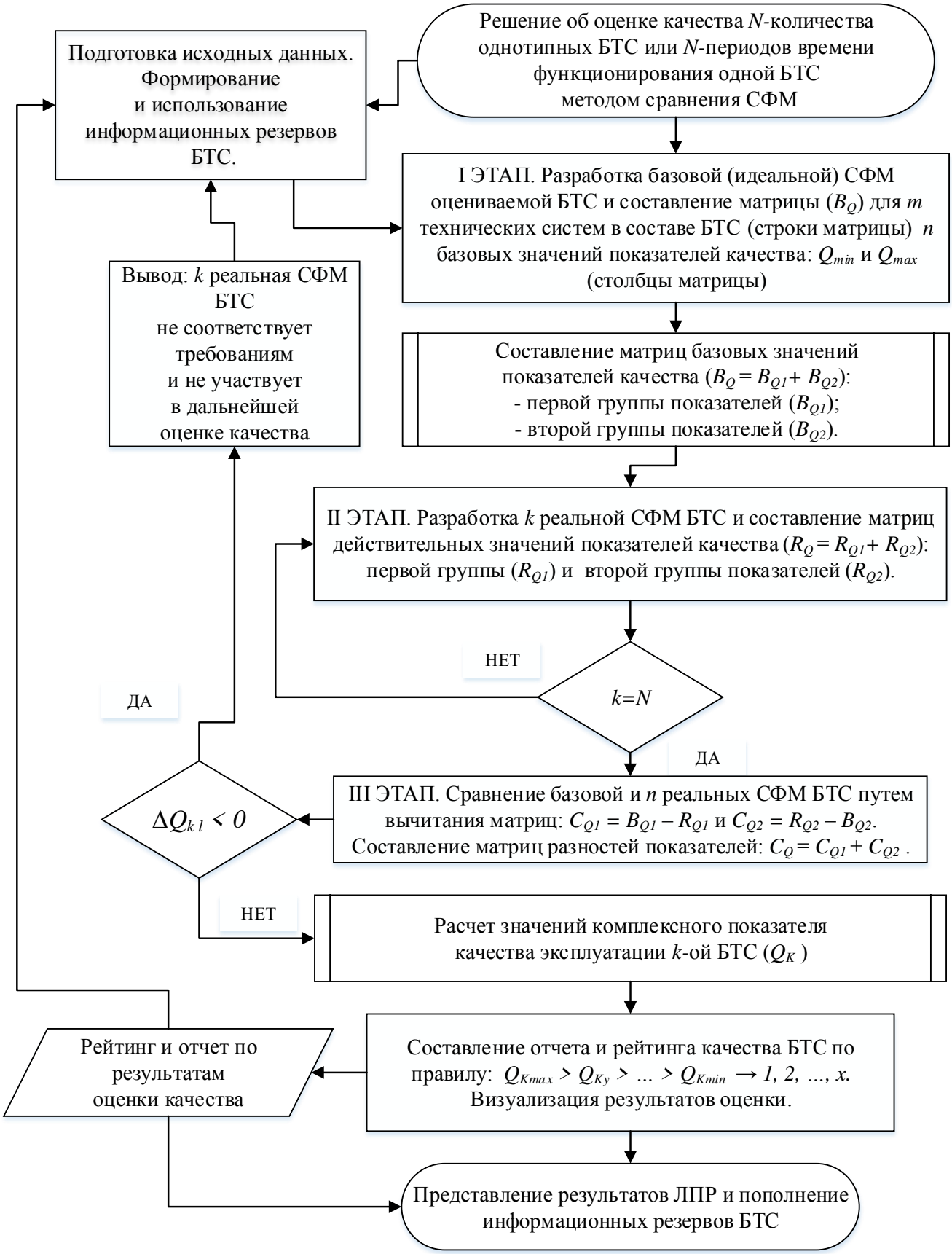


Рисунок 2.2.1. Схема алгоритма оценки качества систем методом вычитания матриц значений показателей качества

Принятые допущения: существует множество требуемых и действительных значений показателей качества оцениваемых систем, характеризующих выполнение заданных функций в процессе эксплуатации.

Ограничения: оцениваемые системы однотипны по составу технических систем (изделий, программно-аппаратных средств) и выполняют одинаковые функции в одинаковых условиях эксплуатации за оцениваемый период времени.

Актуальность применения Метода в данной предметной области обусловлена выполнением следующих основных требований в сфере обеспечения принятия обоснованных управленческих решений (далее – требований):

1. Учет назначения и специфики эксплуатации систем, а также предельных значений показателей качества.

2. Рациональное использование информации из внешних и внутренних информационных ресурсов.

3. Обработка и систематизация большого количества статистической информации в информационных резервах БТС.

4. Создание и ведение баз данных при сокращении расхода ресурсов и времени на обработку и доступ к информации.

Поэтому разработка Метода потребовала комплексного решения основных задач [78, с. 31]:

- определить содержание базовой СФМ и реальных СФМ;

- определить наиболее рациональные процедуры оценки качества путем сравнения базовой СФМ и реальных СФМ, а также обработки информации;

- разработать унифицированные типовые табличные формы для построения СФМ с целью обоснованного составления матриц значений показателей качества технических систем (ТС), эксплуатируемых в составе систем в оцениваемый период времени (далее – Матриц) [163];

- для обеспечения рационального выполнения процедур составления и вычитания Матриц определить группы значений показателей качества и сформулировать правила вычитания Матриц при сравнении СФМ;

- разработать формулу расчета нормированных весовых коэффициентов важности для каждого значения показателя качества в зависимости от приоритетов, выполняемой функции, оцениваемой ТС, эксплуатируемой в составе системы (q_l);

- разработать формулу расчета комплексного показателя качества функционирования системы (Q_K) и правило составления рейтинга качества систем в зависимости от полученного значения Q_K.

При разработке Метода были использованы методы системного анализа и синтеза [13] при составлении общей базовой формулы для структурно-функционального моделирования систем в унифицированных типовых табличных формах. Основы методологии SADT [106] были использованы при определении этапов Метода и представления табличных форм [163].

Теория матриц [92, 93] была использована для формулировки правил составления и вычитания матриц значений показателей качества (далее – Матриц) при сравнении базовой и реальных СФМ.

Для разработки формул расчета нормированных весовых коэффициентов важности для каждого значения показателя качества (q_l) и комплексного показателя качества (Q_K), а также для формулы составления рейтинга качества систем были использованы:

- основы квалиметрии;

- дифференциальный метод оценки качества;

- способ вычисления арифметической прогрессии.

Таким образом, в разрабатываемом Методе была достигнута требуемая степень интеграции научных знаний с последующей унификацией полученных результатов в интересах рационального решения практических задач оценки качества БТС различного назначения в процессе эксплуатации [78, с. 32].

С целью практической реализации данного подхода и выполнения требований Метод разработан на основе вычитания Матриц, формируемых путем построения базовой и реальных структурно-функциональных моделей БТС (системы).

Для достижения практических целей исследования при разработке Метода были использованы методы системного анализа и синтеза при составлении общей базовой формулы для структурно-функционального моделирования БТС в унифицированных типовых табличных формах [67, с. 100].

Базовая формула для структурно-функционального моделирования систем в специально разработанных унифицированных табличных формах на I этапе ($M_Б$) и II этапе (M_P) представляет собой следующее выражение:

$$M_Б = (O, F_N, ST, P, \varphi, S_B, \Delta T_B) \qquad (2.2.1)$$

в котором O=(орг., M), где орг. – оператор организации, а M – технические системы, эксплуатируемые в составе БТС;

- F_N=(Rg., f), где Rg. – оператор ранжирования, а f – функции системы;

- ST – структура БТС, структурные подразделения;

- P – множество показателей качества технических систем (ТС), эксплуатируемых в составе БТС (в таблице 2 – от P_1 *до* P_k);

- φ – множество коэффициентов вето в виде установленных ограничений для значений P: Q_{min} и Q_{max}.

Аналогично составляется и реальная СФМ, но уже на основе действительных значений показателей качества [78, с. 33].

Табличные формы СФМ используются на всех трёх этапах Метода для составления Матриц, алгоритм – рис. 2.2.1.

В Методе для структурно-функционального моделирования предусмотрено использование (по выбору исполнителя) два типа унифицированных табличных форм [163]:

1-й тип – представлен в виде двух взаимосвязанных таблиц 2.2.1 и 2.2.2.

2-й тип – представлен в виде единой табличной формы, используемой на всех трех этапах Метода (таблиц 2.2.3, 2.2.4 и 2.2.5).

Унифицированные типовые табличные формы первого типа (табл. 2.2.1 и 2.2.2) для построения структурно-функциональных моделей БТС используются в зависимости от выполнения одного из трех этапов Метода (рис. 2.2.1).

Таблица 2.2.1

Общие сведения о функциях и структуре БТС

Функции ранжирование по их приоритету (важности)	Структурные подразделения (СП), выполняющие эти функции	Технические системы (ТС) в составе СП, обеспечивающие выполнение функций	Количество (m) значений (Q) показателей качества (P) для оценки множества ТС (элементов) в составе системы – связь с таблицей 2.2.2
Функция 1	*1.1 СП*	*1.1 ТС*	1
	…	…	…
	1.j СП	*1.j ТС*	…
...	…	…	z
Функция i	…	…	…
	i.j СП	*i.j ТС*	*m*

Таблица 2.2.2

Значения показателей оценки качества системы
и их распределение в зависимости от приоритета влияния на функционирование

Номера строк/столбцов составляемых матриц	P_1 *(ед. изм.)*		...	P_k *(ед. изм.)*	
	Мин. знач.	Макс. знач.	…	Мин. знач.	Макс. знач.
	1	2		$2k-1$	$2k$
1	$Q_{1.1.1min}$	$Q_{1.1.1max}$	…	$Q_{1.1.k.\ min}$	$Q_{1.1.k.\ max}$
2, … z, … $m-1$,	…	…	…	…	…
m	$Q_{i.j.1min}$	$Q_{i.j.1max}$	…	$Q_{i.j.kmin}$	$Q_{i.j.kmax}$

В таблице 2.2.2. и далее: k – это количество выбранных для оценки показателей качества (P).

Соответственно, в Матрицах количество строк равняется числу m (первый столбец таблицы 2), а количество столбцов (n) равно произведению: $n=2k$.

Представление СФМ в унифицированных табличных формах обеспечивает заданную степень детализации описания функционирования оцениваемой системы, составление матриц показателей качества и оценку качества с помощью вычитания этих матриц на третьем этапе Метода [78, с. 34].

Итак, Метод включает в себя последовательное выполнение трех этапов:

I этап. Разработка базовой структурно-функциональной модели БТС (таблица 2.2.3«Б») посредством систематизации функций, требований и ограничений к системе в форме специально разработанной таблицы 2.2.3«Б».

Где буква «Б» означает «базовая модель БТС».

Базовая структурно-функциональная модель БТС строится на основе формулы (2.2.1) с учетом планируемого общего расхода ресурсов и (или) денежных средств $S_Б$ на получение «идеальной» БТС и требуемого периода времени $\Delta T_Б$, на протяжении которого БТС должна соответствовать базовым требованиям, систематизированным в таблице 2.2.3 «Б».

Таблица 2.2.3«Б»

Базовая структурно-функциональная модель БТС _____

Цель функционирования БТС: _____			Дата и время создания СФМ:_____					
Функции ранжирование по их приоритету (важности)	Подсистемы, структурные подразделения БТС	Технич. системы (количество)	Требования к предельным значениям показателей оценки качества систем (приоритет влияния на функционирование)					
			1 Показатель (ед. изм.) - φ		*… (ед. изм.)*		*k-Показатель (ед. изм.)*	
			Миним. значение	Максим. значение			Мин. знач.	Макс. знач.
Функция 1	*1.1 СПО*	*1.1 ТС*	$Q_{1.1Бmin}$	$Q_{1.1Бmax}$			$Q_{k.1Бmin}$	$Q_{k.1Бmax}$
	…	…	…	…	…	…	…	…
	1.j СПО	*1.j ТС*	$Q_{1.jБmin}$	$Q_{1.jБmax}$			$Q_{k.jБmin}$	$Q_{k.jБmax}$
…	…	…	…		…		…	…
Функция i	…	…	…		…		…	…
	…	…	…		…		…	…
	i.j СПО	*i.j ТС*	$Q_{1.jБmin}$	$Q_{1.jБmax}$			$Q_{k.jБmin}$	$Q_{k.jБmax}$
Общий расход ресурсов (денежных средств.): не более $S_Б$			Требуемый период эксплуатации БТС не менее: $\Delta T_Б$					

Для критически важных значений показателей в базовой модели предусмотрено введение коэффициента вето, так как в любой технической системе обычно есть требования к установленным параметрам снижение которых категорически недопустимо. В Методе коэффициент вето – это функция, которая при выходе любого из важнейших единичных показателей за допустимые пределы становится равным нулю, формула (2.2.2) [78, с. 34].

Во всех остальных случаях коэффициент вето $\varphi(Q_i)$ остается равным единице, формула (2.2.2).

$$\varphi(Q_i) = \begin{cases} 1, \text{если } Q_{i_{min}} < Q_i < Q_{i_{max}} \\ 0, \text{если } Q_{i_{min}} \geq Q_i \geq Q_{i_{max}} \end{cases} \quad (2.2.2)$$

Для базовой СФМ это будет выражаться в применении базовых требований к значениям Q_{min} и Q_{max}.

В структурно-функциональной модели БТС ранжирование функций, а также структурных подразделений и технических систем, которые обеспечивают выполнение этих функций, проводится в зависимости от их важности для достижения цели функционирования БТС [163].

При построении структурно-функциональной модели рекомендуется критически важные показатели ранжировать в зависимости от их значимости для достижения цели функционирования БТС от 1 до *k.* Где, соответственно, на первом месте будет самый важный показатель (1-й показатель в таблице 2.2.3«Б», а на последнем месте *k* будет наименее важный показатель (*k* -й показатель в таблице 2.2.1«Б») и т.д.

Если в базовой СФМ для показателя вводится коэффициент вето (формула 2.2.1), то этот показатель в таблице 2.2.3«Б» отмечается буквой φ.

На основе базовой структурно-функциональная модели БТС (правая часть таблицы 2.2.3«Б») для дальнейших расчетов целесообразно составить матрицу базовых значений показателей качества (B_{mn} или B_Q) – формула (2.2.3) [78, с. 34]:

$$B_Q = \begin{pmatrix} Q_{1.1.1min} & Q_{1.1.1max} & \cdots & Q_{1.1.k.min} & Q_{1.1.kmax} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Q_{1.j.1min} & Q_{1.j.1max} & \cdots & Q_{1.j.kmin} & Q_{1.j.kmax} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Q_{i.j.1min} & Q_{i.j.1max} & \cdots & Q_{i.j.kmin} & Q_{i.j.kmax} \end{pmatrix} \quad (2.2.3)$$

В зависимости от групп показателей качества матрицу (2.2.3) рационально преобразовать в соответствии с алгоритмом (рис. 2.2.2) и нижеизложенными правилами в две матрицы, то есть $B_Q = B_{1mn} + B_{2mn}$ или $B_Q = B_{Q1} + B_{Q2}$.

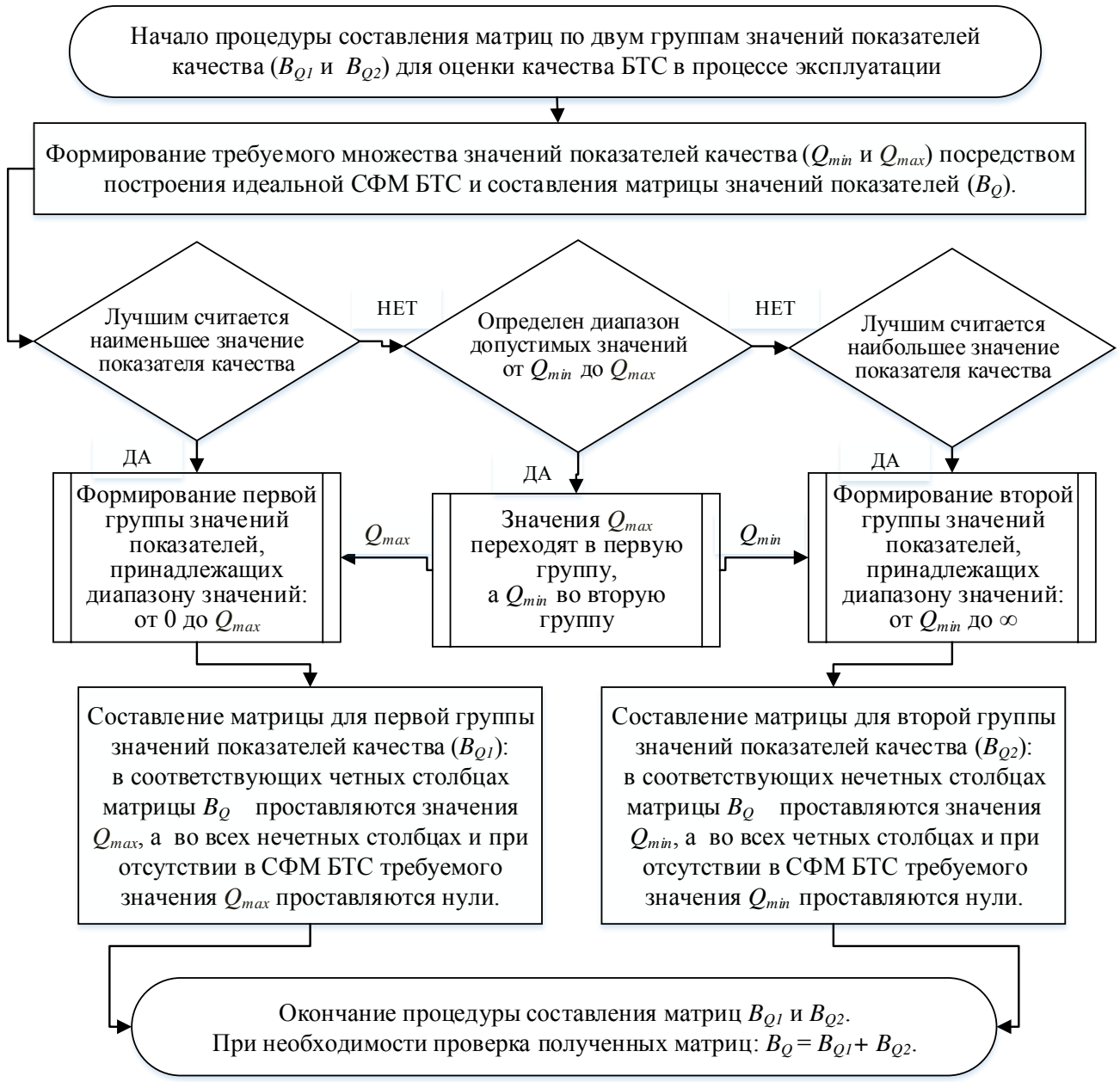


Рисунок 2.2.2. Схема алгоритма процедуры составления матриц по двум группам значений показателей качества

Первое правило: составление матриц первой группы значений показателей качества – B_{1mn}. [78, с. 35].

В этой матрице лучшим считается наименьшее значение показателя оценки качества (Q_{min}). В матрице B_{1mn} вместо всех минимальных значений показателей качества (Q_{min}) ставиться ноль (2.2.4):

$$B_{1mn} = \begin{pmatrix} 0 & Q_{1.1.1max} & \dots & 0 & Q_{1.1.kmax} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & Q_{1.j.1max} & \dots & 0 & Q_{1.j.kmax} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & Q_{i.j.1max} & \dots & 0 & Q_{i.j.kmax} \end{pmatrix} \quad (2.2.4)$$

Как видно из выражения (2.2.4) в матрице B_{1mn} заполняются только четные столбцы этой матрицы (на основе данных из таблицы базовой СФМ).

Второе правило: составление матриц второй группы значений показателей качества – B_{2mn}. Здесь лучшим считается наибольшее значение показателя оценки качества (Q_{max}). Поэтому в матрице B_{2mn} вместо всех максимальных значений показателей качества (Q_{max}) ставиться ноль. В матрице второй группы B_{2mn} заполняются только нечетные столбцы – формула (2.2.5):

$$B_{2mn} = \begin{pmatrix} Q_{1.1.1min} & 0 & \dots & Q_{k.1.1min} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{1.j.1min} & 0 & \dots & Q_{1.j.kmin} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{i.j.1min} & 0 & \dots & Q_{i.j.kmin} & 0 \end{pmatrix} \quad (2.2.5)$$

Третье правило: если для какого-то показателя задан диапазон базовых значений от Q_{min} до Q_{max}, то в этом случае эти значения учитываются по вышеизложенным правилам и в первой и во второй группе. То есть значения Q_{min} будут присутствовать в матрице B_{2mn}, формула (2.2.5), а значения Q_{max} войдут в состав матрицы B_{1mn} – формула (2.2.4).

II этап. Составление матриц действительных значений показателей качества путем построения требуемого количества реальных структурно-функциональных моделей БТС в виде таблицы 2.2.4«Р» за оцениваемый период времени ΔT_p, с учетом затраченных ресурсов (денежных средств) Sp на эксплуатацию БТС за время ΔT_p. Где «Р» – это, соответственно, реальная модель БТС [78, с. 36].

Количество реальных СФМ будет равняться количеству оцениваемых систем и (или) количеству оцениваемых периодов времени эксплуатации одной системы.

Реальные СФМ отражают выполнение системами своих функций и реальную действующую структуру системы, что выражается в действительных значениях показателей качества функционирования системы.

Таблица 2.2.4«Р»

Реальная структурно-функциональная модель БТС _____

Цель функционирования БТС: _____ Результат эксплуатации: Цель достигнута или не достигнута			Оцениваемый период: с _____по_____ $\underline{\Delta T_p}$					
<u>Функции</u> ранжирование по их приоритету (важности)	Подсистемы, структурные подразделения БТС	Технич. системы (количество)	Действительные значения показателей оценки качества систем, полученные за период эксплуатации $\underline{\Delta T_p}$ (приоритет влияния на эксплуатацию)					
			1 Показатель (ед. изм.)		*… (ед. изм.)*		*k-Показатель (ед. изм.)*	
			Миним. значение	Максим. значение			Мин. знач.	Макс. знач.
Функция 1 *выполнена или не выполнена*	*1.1 СПО в наличии или не в наличии*	*1.1 ТС в наличии или не в наличии*	$Q_{1.1pmin}$	$Q_{1.1pmax}$			$Q_{k.1pmin}$	$Q_{k.1pmax}$
	…	…	…	…	…	…	…	…
	1.j СПО в наличии или не в наличии	*1.j ТС в наличии или не в наличии*	$Q_{1.jpmin}$	$Q_{1.jpmax}$			$Q_{k.jpmin}$	$Q_{k.jpmax}$
…	…	…	…		…		…	
Функция *i* *выполнена или не выполнена*	…	…	…	…	…	…	…	…
	…	…	…	…	…	…	…	…
	i.j СПО в наличии или не в наличии	*i.j ТС в наличии или не в наличии*	$Q_{1.jpmin}$	$Q_{1.jpmax}$			$Q_{k.jpmin}$	$Q_{k.jpmax}$
Общий реальный расход ресурсов (денежных средств.): $\underline{S_p}$			Период времени эксплуатации БТС: $\underline{\Delta T_p}$					

Далее на втором этапе Метода согласно правилам составления матриц и выражениям (2.2.4) и (2.2.5) составляются матрицы действительных значений показателей качества: для первой группы – R_{1mn} и для второй группы – R_{2mn}.

III этап. Сравнение базовой и реальных СФМ с помощью вычитания Матриц.

В сущности, вычитание Матриц имеют целью оценку качества БТС путем сравнения базовой и реальной структурно-функциональных моделей БТС с систематизацией результатов в таблицах 2.2.5«С» и 2.2.6 [163].

Где «С» – это результаты сравнения данных моделей с учетом введенных коэффициентов вето, формула (2.2.2).

Результаты сравнения заносятся в соответствующую ячейку таблицы 2.2.5«С» по принципу «соответствует» или «не соответствует» [163].

Таблица 2.2.5«С».

Результаты оценки качества БТС_____
путем сравнения базовой и реальной структурно-функциональных моделей

Цель функционирования БТС: _____			Оцениваемый период: с_____по_____ ΔT_p					
Функции ранжирование по их приоритету (важности)	Подсистемы, структурные подразд-ния БТС	Технич. системы (количество)	Действительные значения показателей оценки качества систем, полученные за период эксплуатации ΔT_p (приоритет влияния на эксплуатацию)					
			1 Показатель (ед. изм.) - φ		*… (ед. изм.)*		*k-Показатель (ед. изм.)*	
			Миним. значение	Макс. значение			Мин. знач.	Макс. знач.
Функция 1 *если выполнена, то соответствует, если не выполнена, то не соответствует*	*1.1 СПО если в наличии, то соответствует если не в наличии, то не соответствует*	*1.1 ТС если в наличии, то соответствует если не в наличии, то не соответствует*	$\Delta Q_{1.1\,min}$	$\Delta Q_{1.1\,max}$			$\Delta Q_{k.1\,min}$	$\Delta Q_{k.1\,max}$
…	…	…	…	…	…	…	…	…
Функция *i* *если выполнена, то соответствует, если не выполнена, то не соответствует*	…	…	…	…	…	…	…	…
	…	…	…	…	…	…	…	…
	i.j СПО если в наличии, то соответствует если не в наличии, то не соответствует	*i.j ТС если в наличии, то соответствует если не в наличии, то не соответствует*	$\Delta Q_{1.j\,min}$	$\Delta Q_{1.j\,max}$			$\Delta Q_{k.j\,min}$	$\Delta Q_{k.j\,max}$
Результаты оценки расхода ресурсов (денежных средств.): $S_T = S_Б - S_p$ *если $S_T \geq 0$, то объект соответствует требованиям по расходу ресурсов, а если $S_T < 0$, то не соответствует*			Результаты оценки БТС по периоду времени эксплуатации: $T = T_Б - T_p$ *если $T \leq 0$, то объект соответствует требованиям по затратам времени, а если $T > 0$, то не соответствует*					

Непосредственно оценка качества систем производится с помощью вычитания Матриц. Первое правило вычитания Матриц: для матриц первой группы разности значений показателей качества систем (C_{1mn}) рассчитываются по формуле (2.2.6):

$$C_{1mn} = B_{1mn} - R_{1mn} \qquad (2.2.6)$$

Второе правило вычитания Матриц: для матриц второй группы разности значений показателей качества систем (C_{2mn}) по формуле (2.2.7):

$$C_{2mn} = R_{2mn} - B_{2mn} \qquad (2.2.7)$$

Далее при сложении полученных результатов получаем общую матрицу разностей значений показателей (C_{mn}) – формула (2.2.8):

$$C_{mn} = C_{1mn} + C_{2mn} \qquad (2.2.8)$$

В итоге матрица C_{mn} приобретает следующий вид:

$$C_{mn} = \begin{pmatrix} \Delta Q_1 & \Delta Q_2 & \dots & \Delta Q_{2k-1} & \Delta Q_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta Q_{2k(z-1)} & \Delta Q_{2k(z-1)+1} & \dots & \Delta Q_{2kz-1} & \Delta Q_{2zk} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta Q_{2k(m-1)} & \Delta Q_{2k(m-1)+1} & \dots & \Delta Q_{2mk-1} & \Delta Q_{2mk} \end{pmatrix}$$

С помощью выражения (2.5), то есть матрицы C_{mn}, можно обоснованно заполнить табличные формы (табл. 2.2.5«С» и табл. 2.2.6) разностей значений показателей оценки качества системы (ΔQ_l) и распределить их в зависимости от установленных в таблице базовой СФМ приоритетов влияния на функционирование системы [67, с. 101].

Выражения (2.2.6), (2.2.7) и (2.2.8) позволяют сформулировать основное правило сравнения базовой и реальных СФМ: если матрицы C_{1mn} или C_{2mn} содержат в своем составе отрицательное число ($\Delta Q_{ij}<0$), то делается вывод, что реальная СФМ не соответствует установленным требованиям и в дальнейшей оценке качества эта СФМ (система) не участвует – алгоритм на рис. 2.2.1.

С учетом вышеизложенного для оценки качества систем представляется наиболее рациональным использовать комплексный показатель качества функционирования систем (Q_K). Кроме того, составление рейтинга качества систем и (или) периодов времени функционирования одной системы, также целесообразно выполнить используя значения Q_K. Для расчета значений Q_K важно учитывать, что в унифицированной табличной форме СФМ и в матрице C_{mn} наиболее важное значение показателя качества имеет наименьший порядковый номер: $l=N_{min}=1$.

И наоборот наименее важное значение показателя качества имеет наибольший порядковый номер (l) матрицы C_{mn} равный произведению: $N_{max}=mn$.

Поэтому для усиления практической значимости Метода целесообразно составить таблицу разностей показателей качества (табл. 2.2.6) на основе матрицы разностей значений показателей (C_{mn}), формула (2.2.8), и правой части таблицы 2.2.5«С» [163].

Таблица 2.2.6

Значения разностей показателей качества (ΔQ_l), полученных при сравнении базовой и реальной СФМ БТС с учетом нормированных весовых коэффициентов важности для каждого значения показателя (q_l)

Номера строк/ столбцов	Произведение значения разностей показателей качества (ΔQ_l) и q_l					
	1	2	…	k	…	n
1	$q_1\Delta Q_1$	$q_2\Delta Q_2$	…	$q_k\Delta Q_k$	…	$q_n\Delta Q_n$
2	$q_{n+1}\Delta Q_{n+1}$	$q_{n+2}\Delta Q_{n+2}$	…	$q_{n+k}\Delta Q_{n+k}$	…	$q_{2n}\Delta Q_{2n}$
…	…	…	…	…	…	…
z	$q_{(z-1)n+1}\Delta Q_{(z-1)n+1}$	$q_{(z-1)n+2}\Delta Q_{(z-1)n+2}$	…	$q_{(z-1)n+k}\Delta Q_{(z-1)n+k}$	…	$q_{zn}\Delta Q_{zn}$
…	…	…	…	…	…	…
m	$q_{(m-1)n+1}\Delta Q_{(mz-1)n+1}$	$q_{(m-1)n+2}\Delta Q_{(mz-1)n+2}$	…	$q_{(m-1)n+k}\Delta Q_{(mz-1)n+k}$	…	$q_{mn}\Delta Q_{mn}$

В таблице 2.2.6 (и в матрице C_{mn}) нормированные весовые коэффициенты важности для каждого значения показателя качества в зависимости от приоритетов выполняемой функции технической системой или элемента в составе БТС (q_l), рассчитываются по формуле (2.2.9):

$$q_l = \frac{2((mn - l) + 1)}{mn + (mn)^2} \qquad (2.2.9)$$

где l – это порядковый номер разности значений показателя в матрице C_{mn}.

Тогда используя формулу (2.2.9) и систематизированные в таблице 2.2.6 и в матрице C_{mn} разности значений показателей оценки качества системы ($\Delta Q_l = \Delta Q_N$) возможно рассчитать комплексный показатель качества функционирования оцениваемой системы (Q_K) по формуле (2.2.10):

$$Q_K = \sum_{l=1}^{l=mn} \Delta Q_l \frac{2((mn - l) + 1)}{mn + (mn)^2} \qquad (2.2.10)$$

На третьем этапе Метода формула (2.2.10) позволяет оценить множество

реальных систем или их СФМ или множество одинаковых периодов времени функционирования одной системы с построением рейтинга качества систем по принципу: чем больше значения Q_K (то есть больше значения ΔQ_N в матрице C_{mn}), тем выше качество системы. Поэтому правило составления рейтинга качества систем или оцениваемых периодов времени функционирования одной БТС можно представить в виде следующего выражения (2.2.11) [163]:

$$Q_{K\,max} > Q_{Kl} > \ldots > Q_{K\,min} \Rightarrow 1,2,\ldots, x \qquad (2.2.11)$$

где x – это минимально возможное место в рейтинге.

Таким образом, применение Метода будет способствовать разрешению противоречия между необходимостью снижения времени принятия управленческих решений по выбору лучших систем и объективной потребностью в обработке значительных объемов данных.

Пример программной реализации Метода представлен в разделе А.1 Приложения А диссертации.

При это важно на следующем примере отметить еще одну положительную особенность Метода для его практического применения.

Пусть в реальной СФМ БТС присутствует некое заданное ЛПР множество показателей качества: P_1, P_2, P_3, … P_i.

И пусть из этого множества: P_4 – это количество отказов за оцениваемый период эксплуатации (ед. изм. – отказ).

Комментарий: в процессе составления базовой СФМ БТС при определении требований к количеству отказов берем максимально допустимое значение, т.к. на практике минимально возможное значение количества отказов – это всегда «ноль».

Очевидно, что в идеале $P_4 \rightarrow 0$.

То есть в используемом методе P_4 относится к первой группе значений показателей качества (B_{1mn}), где лучшим считается наименьшее значение показателя оценки качества (Q_{min}).

Для Матриц первой группы значений показателей: $C_{1mn} = B_{1mn} - R_{1mn}$.

То есть для P_4: $\Delta Q_4 = Q_{4\ базовое} - Q_{4\ реальное}$

На основе этого выражения рассмотрим с помощью расчётных примеров три возможных варианта для первой группе значений показателей качества (B_{1mn}).

1 вариант, $Q_{4\ базовое} < Q_{4\ реальное}$. $\Delta Q_4 < 0$.

И тогда согласно основному правилу вычитания Матриц: если Матрицы C_{1mn} и C_{2mn} содержат в своем составе отрицательное число ($\Delta Q_l < 0$), то делается вывод, что реальная СФМ БТС не соответствует требованиям и данная БТС не участвует в дальнейшей оценке качества, как не соответствующая базовым требованиям.

2 вариант, $Q_{4\ базовое} = Q_{4\ реальное}$.

Имеем: $\Delta Q_4 = 0$. Это значит, что по значению P_4 оцениваемая СФМ БТС находится на базовом уровне, соответствует требованиям и продолжает участвовать в оценке качества.

3 вариант, $Q_{4\ базовое} > Q_{4\ реальное}$. $\Delta Q_4 > 0$.

Вывод по третьему случаю: чем меньше значение $Q_{4\ реальное}$ (то есть меньше количество отказов) тем больше значение ΔQ_4, но не более $Q_{4\ базовое}$. Иначе говоря, в идеале в оцениваемой БТС: $Q_{4\ реальное} = 0$ и тогда $\Delta Q_4 = Q_{4\ базовое.}$

Таким образом, можно вывести выражения необходимого правила участия БТС в оценке качества при применении Метода для значений показателей качества первой группы (Q_{1l}): $0 \leq \Delta Q_{1l} \leq Q_{1lбазовое.}$

Аналогичный физический смысл сохраняется и для значений показателей второй группы.

Отсюда получаем выражение необходимого правила участия БТС в оценке качества при применении Метода для значений показателей качества второй группы (Q_{2l}): $Q_{2l} \geq Q_{2lбазовое}$.

Для усиления положительного эффекта применения Метода целесообразно систематизировать показатели качества, применяемые в Матрицах.

Сегодня по результатам анализа развития и интеграции инфокоммуникационных технологий в БТС, а также нормативно-технических документов по эксплуатации технических систем рационально определить перечень основных показателей качества.

1. Показатели качества БТС первой группы ($Q_{min} \rightarrow 0$).

1.1. Количество отказов систем в оцениваемый период времени эксплуатации.

1.2. Расход ресурсов на создание, эксплуатацию, техническое обслуживание, ремонт, модернизацию и утилизацию систем (минимальный расход на всех этапах жизненного цикла).

1.3. Время передачи сообщения в ИКУ и (или) время ИЦУ.

1.4. Время технического обслуживания и ремонта (восстановления) системы.

1.5. Количество обслуживаемого персонала.

1.6. Количество элементов внешней инфраструктуры, необходимых для устойчивой эксплуатации БТС (систем в её составе).

1.7. Время необходимое для ввода в эксплуатацию и обучения персонала.

1.8. Расход ресурсов на содержание и обучение персонала.

1.9. Вероятность потери (искажения, перехвата, ввода ложных сведений в ИКУ) информации.

1.10. Вероятность неисправности (уничтожения) заданного количество элементов в составе БТС и (или) БТС в целом.

2. Показатели качества БТС второй группы ($Q_{max} \rightarrow \infty$).

2.1. Объем передаваемой (обрабатываемой) информации в ИКУ.

2.2. Скорость передачи (доступа, обработки) информации.

2.3. Объем хранимой информации.

2.4. Время устойчивой эксплуатации БТС в неблагоприятных условиях внешней среды.

2.5. Время эксплуатации системы до планового технического обслуживания (капитального ремонта, модернизации).

3. Показатели качества БТС, которые при составлении Матриц могут входить и в первую и во вторую группу, то есть это тот случай когда задается диапазон значений параметров:

$$Q_i \in [Q_{min}, Q_{max}].$$

3.1. Количество элементов БТС, находящихся в эксплуатации (готовности)

3.2. Количество обслуживающего персонала БТС.

3.3. Количество и вид требуемых услуг связи и обработки информации.

Данные показатели выражают требования технических регламентов, ограничение в ресурсах и требования (нормативы) по обеспечению процессов управления эксплуатацией БТС.

Программная реализация Метода (раздел А.1 Приложения А диссертации) позволяет осуществлять множество вариантов визуализации (примеры на рис. 2.2.3 – 2.2.8) результатов оценки в формах, удобных для восприятия информации ЛПР и ДЛ органов управления [53]. Данное обстоятельство будет дополнительно способствовать совершенствованию управления БТС [67, с. 101].

Применение в Методе Матриц, составленных на основе табличных форм базовой и реальных СФМ, предоставляет широкие возможности визуализации и моделирования динамики значений показателей в процессе эксплуатации БТС.

Рассмотрим примеры наиболее распространенных форм визуализации в виде графиков и диаграмм, построенных с использованием различных компьютерных программ, реализующих Метод [53, 163].

Основной формой визуализации является построение рейтинга качества БТС или периодов времени эксплуатации одной ТКС (далее – рейтинг).

На рисунке 2.2.3 представлена табличная форма с возможностью учета времени и даты составления рейтинга. Другой вариант рейтинга – на рис. 2.2.4.

Основная рекомендация ЛПР для наиболее рационального использования рейтинга состоит в том, что базовая модель не всегда «идеал», это лишь базовый уровень для оценки, так как оценка – это всегда сравнение с чем-то в нашем случае с заданным базовым уровнем.

Понятие «идеальная модель» справедливо лишь с точки зрения составителя ЛПР (человека) и (или) технических регламентов (которые тоже составляют люди), а как известно люди могут ошибаться или со временем требования к оцениваемой БТС могут кардинально поменяться.

Рейтинг ТКС */время/дата/*

Место	№ ТКС	Q_i
1	5	5,14
2	8	4,37
3	4	4,30
4	7	4,20
5	3	3,71
6	6	3,68
7	2	3,39
8	1	2,51

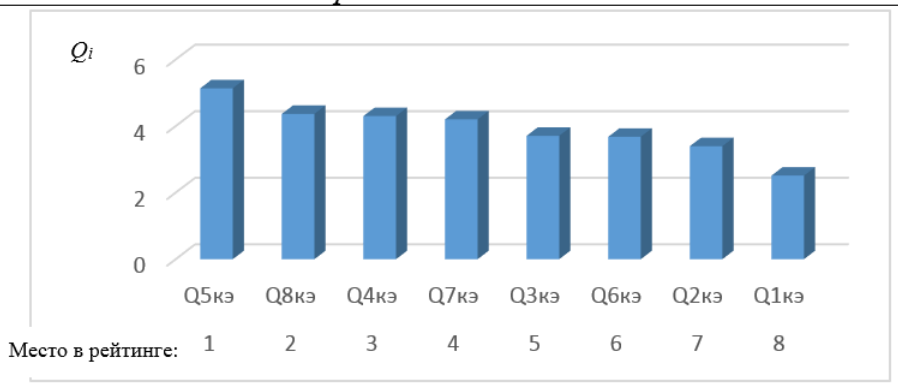


Рисунок 2.2.3. Пример варианта визуализации рейтинга качества систем

Для обоснования различных вариантов управленческих решений по изменению состава БТС и (или) модернизации оборудования возможно применение диаграммы вклада значений действительных показателей качества ТС, входящих в БТС, в величину комплексного показателя качества данной оцениваемой БТС. В этом вопросе пример на рисунке 2.2.5 иллюстрирует состояние дел при оценке качества базовой станции сети сотовой связи стандарта GSM (на рис. 2.2.5 – это ТКС-3) [67, с. 103].

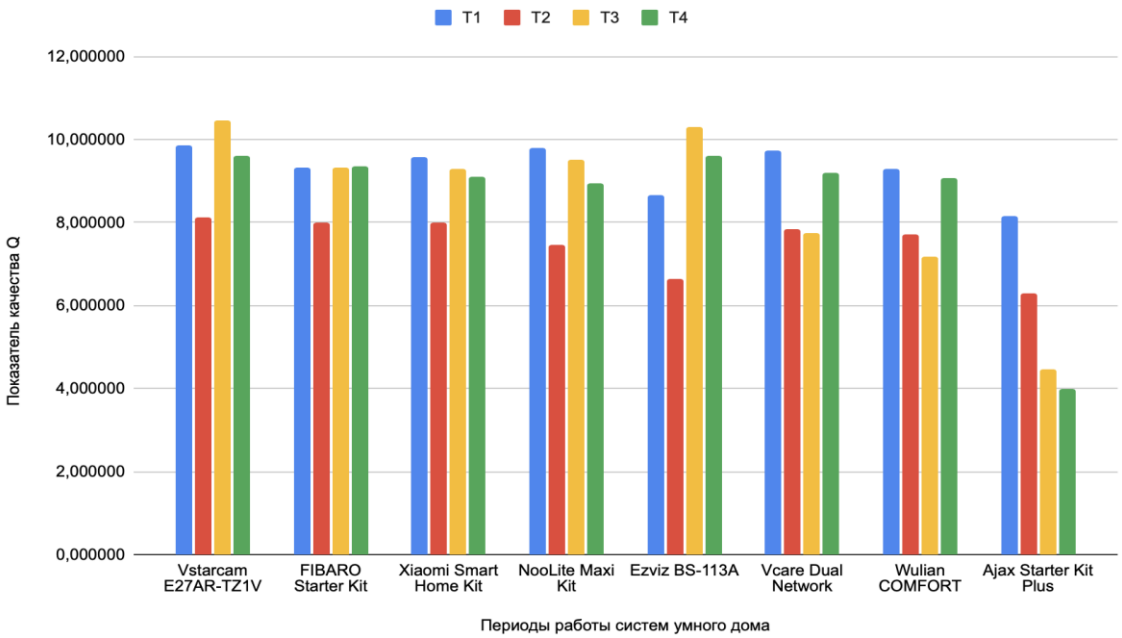


Рисунок 2.2.4. Результаты сравнений значений комплексных показателей качества (Q) систем «Умный дом» за четыре оцениваемых периода времени (T1, T2, T3 и T4)

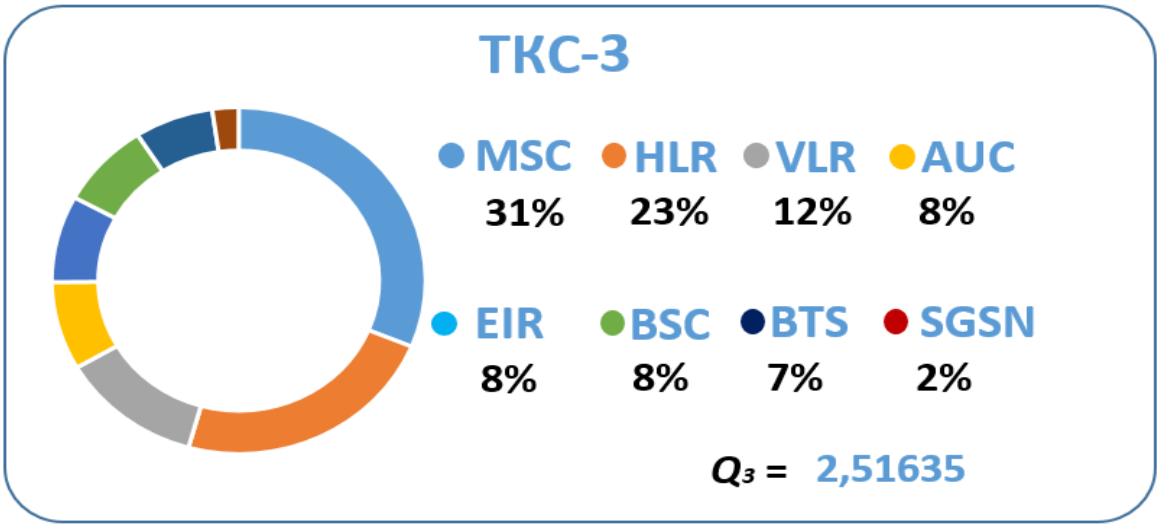


Рисунок 2.2.5 Влияние различных значений действительных показателей качества на величину комплексного показателя качества ТКС-3 (Q_3)

Для аналогичных целей, а также для обоснования решений при разработке требований к БТС рационально использовать сведения о зависимости значений комплексного показателя качества оцениваемой системы от изменений минимальных и максимальных значений показателей качества элементов в составе данной системы (примеры – рис. 2.2.6, 2.2.7 и 2.2.8) [67, с. 103].

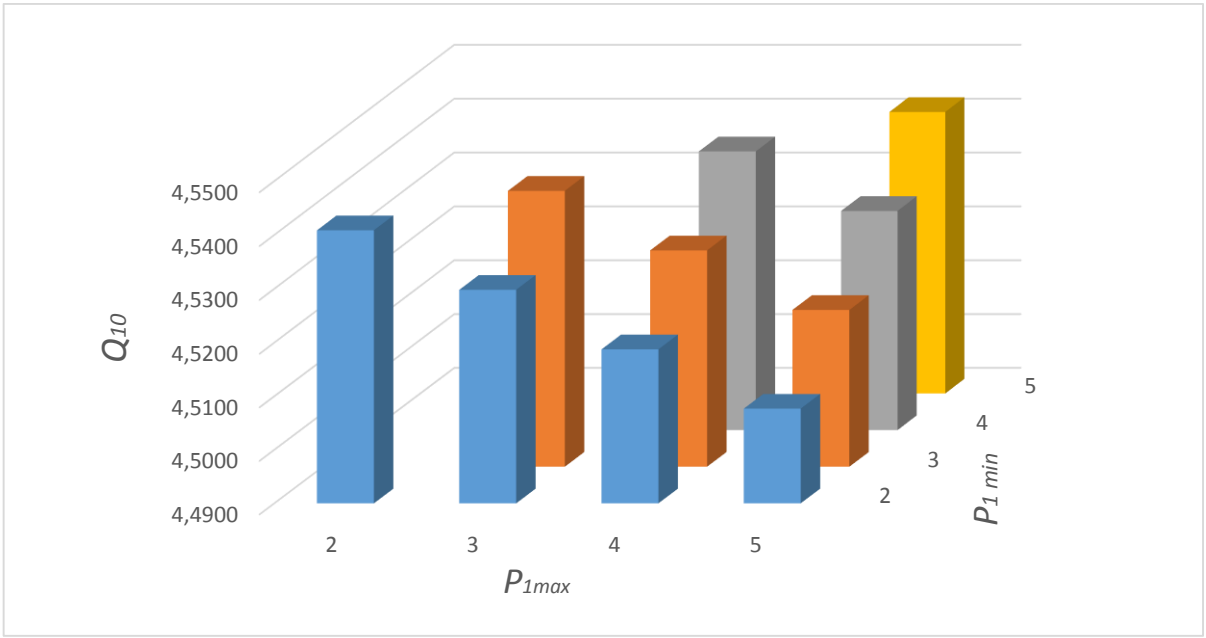


Рисунок 2.2.6. Зависимость значений комплексного показателя качества Q_{10} от изменений минимальных и максимальных значений показателя качества P_1 для БТС-10

При этом формы визуализация результатов оценки зависимости значений комплексного показателя от средних значений разности значений действительных показателей качества БТС, то есть полученных в результате эксплуатации систем (пример – рис. 2.2.7) [67, с. 104], позволяют обобщить динамику множества слабоструктурированных данных о техническом состоянии БТС (рис. 2.2.7 и 2.2.8).

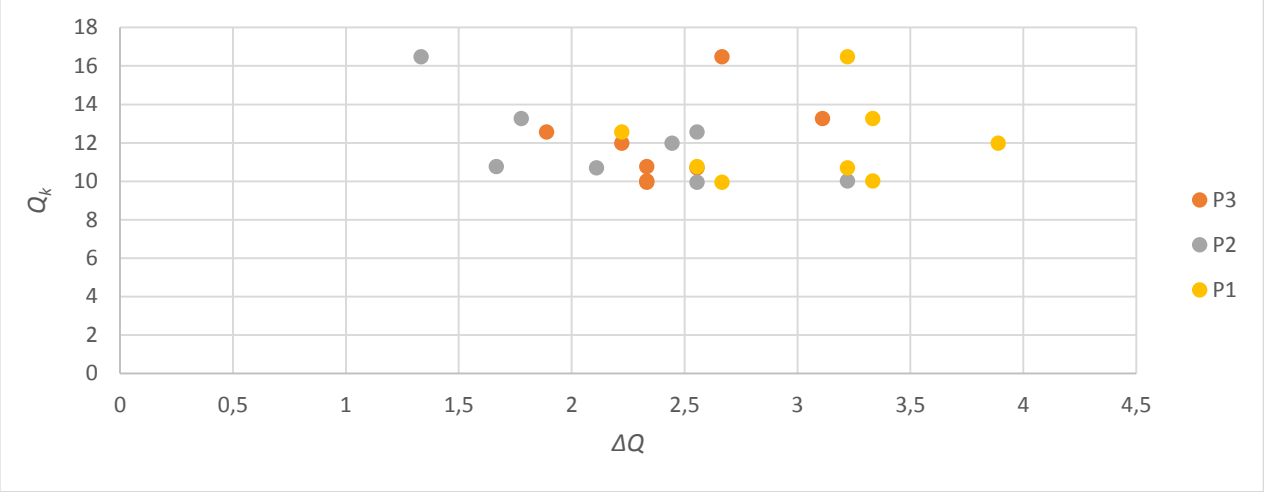


Рисунок 2.2.6. Зависимость значения Q_k от средних значений ΔQ_1, ΔQ_2 и ΔQ_3 для восьми БТС

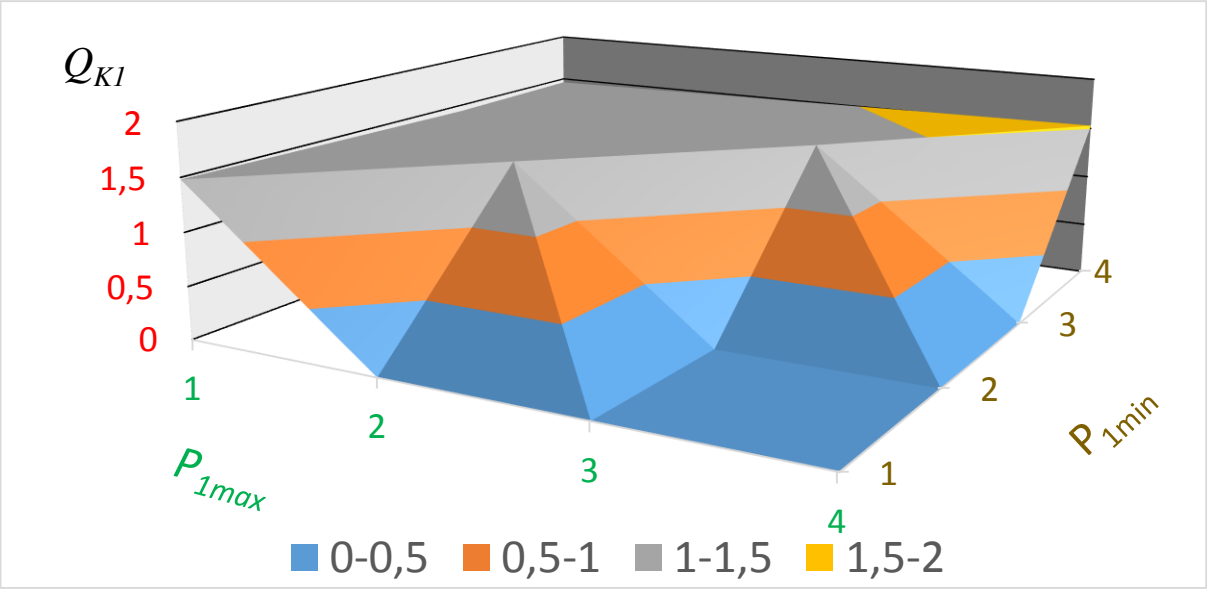


Рисунок 2.2.8. Пример визуализации зависимости изменения значений комплексного показателя качества БТС (Q_{K1}) от динамики минимальных и максимальных значений показателя качества технической системы (P_1), эксплуатируемой в её составе

Представленные формы визуализации не отражают всего возможного спектра рационального применения Метода с использованием Матриц.

Поэтому важно отметить, что широкие возможности применения Метода на практике выгодно отличают его от классического бенчмаркинга [51, 163].

Так как если бенчмаркинг позволяет определить наиболее эффективные подсистемы (элементы, изделия) в составе оцениваемой системы [72 с. 98].

В результате применения Метода возможен анализ зависимостей ухудшения или улучшения показателей в различных оцениваемых системах (периодах времени), что поможет выявить проблемы в процессе эксплуатации БТС и принять обоснованные рациональные решения по их исправлению.

Критический анализ полученных результатов и их сравнение с результатами других исследователей позволяет сформулировать основной недостаток Метода: корректная и допустимая область применения ограничивается оценкой качества однотипных БТС и их подсистем, эксплуатируемых в одинаковых условиях.

Но не все так однозначно.

Так как применение методов квалиметрии (к примеру, дифференциального метода оценки качества) потребует разработки методик оценки, учитывающих специфику эксплуатации конкретных оцениваемых систем [28, 32, 74].

При этом определение весовых коэффициентов важности показателей потребует использование экспертных методов и привлечение значительного числа экспертов. Данное обстоятельство объективно увеличит расход времени и ресурсов на оценку качества.

Экспертные оценки в определенной мере субъективны и поэтому на практике не всегда удается достичь требуемой согласованности мнений экспертов [168].

В свою очередь интерпретация результатов практического применения методологии SADT и стандарта IDEF0 позволяет сделать вывод об описании бизнес-процессов при фактическом использовании двух типов моделей: модели, ориентированные на описание функций системы, и модели данных.

Поэтому в рассматриваемой предметной области применение разработанного Метода имеет ряд преимуществ, в том числе перед методами

многокритериальной оптимизации с использованием критерия Парето [175, 195] при решении задачи обоснованного выбора лучшей БТС.

А именно, представленные типовые табличные формы, матрицы значений показателей качества и формулы вычитания матриц способствуют обеспечению требуемой степени детализации при моделировании сложных систем.

В связи с этим важно уточнить, что выбранная терминология в названии СФМ: «базовая СФМ» и «реальная СФМ» отражают сущность Метода применительно к возможности его применения как для оценки реально функционирующих систем, так и для оценки результатов моделирования функционирования систем в различных режимах.

В том числе и с учетом изменений значений выбранных показателей качества под воздействием внешней среды, что обеспечивает реализацию итерационного подхода при управлении функционированием сложных систем.

Недостатки Метода рационально компенсировать за счет его комплексного применения с разработанными автором модифицированном методом DEA и усовершенствованным методом парных сравнений – алгоритм принятия решения на основе результатов оценки качества систем в процессе эксплуатации (рис. 5.1.3) из состава модели сопровождения технических систем в процессе эксплуатации (параграф 5.1 диссертации).

В диссертационном исследовании представленный Метод, является новым научно обоснованным методологическим решением в сфере совершенствования управления эксплуатацией БТС.

Использование предлагаемого Метода в компьютерных программах направлено на снижение затрат ресурсов и времени на принятие рациональных управленческих решений по результатам оценки качества БТС (пример представлен в разделе А.1 Приложения А диссертации) [53].

Практическая значимость заключается в том, что в рамках ранее заданных ограничений Метод применим для оценки качества различных БТС (их производственных и вспомогательных подсистем) в процессе эксплуатации.

Дополнительно практическая значимость Метода усиливается посредством комплексного применения матриц действительных значений показателей качества и рейтинга качества БТС в интересах обеспечения принятия своевременных и обоснованных управленческих решений по повышению эффективности функционирования систем.

ЛПР с помощью составленного рейтинга сделает обоснованный выбор лучшей БТС (системы), а также с учетом опыта функционирования этих лучших систем примет обоснованное управленческое решение в сфере эффективного управления эксплуатацией и ТО других и (или) аналогичных систем [30, 55].

Системное применение Метода при обоснованном выборе лучшей системы позволит существенно уменьшить субъективность оценки ЛПР и при документировании формирования СФМ будет выступать препятствием для принятия ошибочного управленческого решения при выборе лучшей системы и (или) лучшего периода времени эксплуатации одной оцениваемой системы.

В Методе предложены две табличные формы для формирования СФМ, что на практике позволяет применять Метод в различных условиях и в зависимости от целей управления и специфики оцениваемых систем.

Далее в диссертации разработанные в Методе СФМ применяются в качестве теоретической основы в практической части работы при создании и внедрении моделей и методик.

Кроме того, Метод совместно с третьим принципом нашел свое отражении при формировании структуры информационных резервов, в части касающихся систематизации информации (результатов оценки качества) в базах данных и архивах, как составных частей информационных ресурсов БТС.

Таким образом, Метод представляет собой новое научно обоснованное методологическое решение для комплексной оценки качества БТС в процессе эксплуатации.

2.3. Усовершенствованный метод парных сравнений

Вопросам совершенствования и применения метода парных сравнений, посвящено достаточно много научных исследований [18, 19, 99, 154, 157, 159 и др.]. Однако, постановка задачи диссертации, необходимость выполнения Принципов и особенности предметной области оценки качества БТС обосновывают необходимость дальнейшего совершенствования метода парных сравнений – создание усовершенствованного метода парных сравнений для оценки БТС (систем) в процессе эксплуатации (далее в этом параграфе – Метод) [80, 161].

Так как анализ современных научных исследований в этой предметной области позволил выявить основные тенденции, наиболее ярко выраженные в следующих научных работах.

В статье [139] рассматривается методика, заключающаяся в определении проблемной ситуации, выявлении факторов, влияющих на принятие рациональных решений, выборе приемов и методов, обеспечивающих успешное выполнение поставленной задачи. Представленный тренд обосновывается сравнительным анализом применения многокритериальных методов [139].

Аналогичная проблематика исследуется в научной работе [148] при оценки инновационных проектов. Для этого решается задача выбора метода формирования весов критериев, предназначенных для оценки в процессе экспертизы. Авторами предложено использование разработанной модификации метода анализа иерархий Т. Саати [141], учитывающей особенности его применения в области управления инновационными проектами. В основу модификации метода положено изменение шкалы оценки критериев [148].

В дополнение к обзору статьи [148] целесообразно привести другое направление научного исследования [111]: модификация метода парных сравнений Саати [141], основанная на использовании альтернативной шкалы оценки превосходства. В работе [111] выявлены и продемонстрированы преимущества альтернативной шкалы перед классической шкалой в контексте задачи назначения весов нечетких когнитивных карт.

Однако, уже в 2020 году в научной работе [155] приведены результаты исследований математического обоснования шкалы суждений на основе взаимосвязанных наблюдений, парных сравнений факторов, критериев и альтернатив, расчета приоритетов и их синтеза в итоговые оценки. Особенно важно, заметить, что в работе [155] показано, при каких ограничениях в процедурах метода анализа иерархий, имея матрицу парного оценивания и не зная вид функции ранжирования, появляется возможность вычислять приоритеты и выбирать нужный вариант решения [155].

И наконец, в научном исследовании [118] рассматривается задача оценки рейтингов альтернатив по данным парных сравнений альтернатив в соответствии с несколькими критериями, а также парных сравнений критериев. Для решения задачи предлагается процедура принятия решений на основе чебышевской аппроксимации в логарифмической шкале матриц парных сравнений обратно симметрическими матрицами единичного ранга (согласованными матрицами), с помощью которых определяют элементы векторов весов критериев и рейтингов альтернатив [118].

Таким образом, при всей важности данных исследований [108, 111, 118, 139, 141, 148, 155] в настоящее время остается актуальным [154, 157] необходимость дальнейшего совершенствования программной реализации метода парных сравнений в интересах повышения эффективности управления. При этом выполнение требований по проверке поступающей экспертной информации на непротиворечивость дополнительно обосновывает разработку Метода.

В сущности, предлагаемый Метод может иметь более широкое применение в области оценки качества объектов и процессов различной природы.

Назначение Метода: обеспечение существенного снижения времени при обработке информации, понятности и простоты программной реализации [77] оценки качества систем методом парных сравнений [80].

Сущность Метода: формулировка рациональных правил логических выводов при парном сравнении систем и систематизация этих правил в виде таблицы 2.3.2 для обеспечения автоматического программного заполнения опросных таблиц

экспертов (табл. 2.3.1) на основе минимально необходимых исходных данных, введенных экспертами. При этом в Методе с целью проверки результатов оценки на непротиворечивость введены понятия количества баллов, набранных одной системой z (B_z), и коэффициентов качества систем (K_z), а также разработана проверочная таблица 2.3.3 и выведены формулы расчетов B_z и K_z. [161].

Область применения: обработка информации, оценка качества систем в процессе эксплуатации и проверка результатов оценки на непротиворечивость.

Содержание Метода:

1. Правила логических выводов при парном сравнении систем для автоматического программного заполнения таблицы сравнения систем (табл. 2.3.1) при использовании исходной информации, введенной экспертом (должностным лицом).

Таблица 2.3.1.

Таблица обработки и систематизации экспертной информации, вводимой _____ экспертом при оценке качества *n* систем с помощью усовершенствованного метода парных сравнений

№ эксперта _____	Системы (количество баллов, полученных системами по результатам парного сравнения)				K	Кол-во баллов, B_n	Проверка
Системы	1	2,…z,…	*n-1*	*n*			
1	2	….	n	n+1	n+2	n+3	n+4
1	1	$\underline{R_{1z}}$	$\underline{R_{1(n-1)}}$	$\underline{R_{1n}}$	K_1	B_1	
2	$2–R_{12}$	Т 2.3.2	Т 2.3.2	Т 2.3.2	K_2	B_2	
3	$2–R_{13}$	Т 2.3.2	Т 2.3.2	Т 2.3.2	K_3	B_3	
2,…z,…	$2–R_{1z}$	1	Т 2.3.2	Т 2.3.2	K_z	B_z	
n-1	$2–R_{1(n-1)}$	$R_{(n-1)z} = 2 – R_{z(n-1)}$	1	Т 2.3.2	$K_{(n-1)}$	$B_{(n-1)}$	
n	$2-R_{1n}$	$R_{nz} = 2 – R_{zn}$	$2–R_{(n-1)n}$	1	K_n	B_n	
Сумма:							
Результаты проверки данных на непротиворечивость:							
Примечание: «Т 2.3.2» - означает, что данная ячейка заполняется программой автоматически при помощи правил, систематизированных в таблице 2.3.2							

Правило № 1. Если выпадает сравнение системы самой с собой (R_{nn}), то результат сравнения всегда равен 1 (одному) баллу, $R_{nn}=1$, то есть по диагонали таблицы сравнения (табл. 2.3.1) программа автоматически проставляет в

соответствующих ячейках «1». Правило № 1 выполняется программой без участия эксперта [161].

Правило № 2. Если система *(n-1)* равна системе *n*, то обе системы получают по 1 (одному) баллу и в соответствующей ячейке эксперт ставит «1» и, соответственно, программа автоматически заполняет ячейку таблицы 2.3.1, где необходимо записать результат сравнения системы *n* с системой *(n-1)*, ставя в данную ячейку тоже значение «1», $R_{(n-1)n} = R_{n\,(n-1)} = 1$.

Правило № 3. Если по выбранному показателю оценки качества система *(n-1)* лучше системы *n*, то система *(n-1)* получает 2 (два) балла, и в соответствующей ячейке эксперт ставит «2», $R_{(n-1)n}=2$.

Далее система *n* при сравнении с системой *(n-1)* должна получить 0 (ноль) баллов, по формуле (2.3.1):

$$R_{n(n-1)} = 2 - R_{(n-1)n} \qquad (2.3.1)$$

Соответственно, программа, используя формулу (2.3.1), автоматически заполняет ячейку таблицы 2.3.1, где необходимо записать результат сравнения системы *n* с системой *(n-1)*, ставя в данную ячейку значение «0», $R_{n(n-1)}=0$.

Правило № 4. Если по выбранному показателю оценки качества система *(n-1)* хуже системы *n*, то система *(n-1)* получает 0 (ноль) баллов, и в соответствующей ячейки эксперт ставит «0», $R_{(n-1)n}=0$.

Отсюда, как и в правиле № 3, следует логический вывод, что система *n* при сравнении с системой *(n-1)* должна получить 2 (два) балла, по формуле (2.3.1), то есть $R_{n\,(n-1)}=2$.

Примечание: для дальнейшей программной реализации выполнения функций сравнения систем сделать возможные логические выводы по таблице 2.3.2 [77], на основе исходных данных, полученных при заполнении экспертом первой строчки таблицы 2.3.1 по правилам №№ 1-4 и используя правила №№ 5-10 (далее – правила) [80].

Правила систематизированы в таблице 2.3.2, являющейся основой Метода.

Таблица 2.3.2

Возможные логические выводы в виде количества баллов, выставляемых экспертами, по результатам парного сравнения системы *n* с системой (*n+1)* ($R_{n\,(n+1)}$) в зависимости от результатов сравнения системы (*n-1)* с системой *n* ($R_{(n-1)\,n}$) и системы (*n-1)* с системой (*n+1)* ($R_{(n-1)\,(n+1)}$)

Результаты сравнения системы (*n-1)* с системой (*n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$)	Результаты сравнения системы (*n-1)* с системой *n* ($R_{(n-1)n}$)		
	$R_{(n-1)n}$=2, система *(n-1)* лучше системы *n*	$R_{(n-1)n}$=1, системы *(n-1)* и *n* равны	$R_{(n-1)n}$=0, система *(n-1)* хуже системы *n*
$R_{(n-1)(n+1)}$=2, система *(n-1)* лучше системы *(n+1)*	?*	$R_{n\,(n+1)}$=*2*	$R_{n\,(n+1)}$=*2*
$R_{(n-1)(n+1)}$=1, системы *(n-1)* и *(n+1)* равны	$R_{n\,(n+1)}$=*0*	$R_{n\,(n+1)}$=*1*	$R_{n\,(n+1)}$=*2*
$R_{(n-1)(n+1)}$=0 система *(n-1)* хуже системы *(n+1)*	$R_{n\,(n+1)}$=*0*	$R_{n\,(n+1)}$=*0*	?*
*Примечание: «?» - логический вывод сделать невозможно, эксперту необходимо самостоятельно определить значение $R_{n(n+1)}$.			

Правило № 5. Если система (*n-1)* лучше системы *n* ($R_{(n-1)n}$=2), и при этом системы (*n-1)* и (*n+1)* равны ($R_{(n-1)(n+1)}$=1), то система *n* хуже системы (*n+1)*, $R_{n(n+1)}$=0.

Если $R_{(n-1)n}$=2 и $R_{(n-1)(n+1)}$=1, то $R_{n(n+1)}$=0 (2.3.2)

Правило № 6. Если система (*n-1)* лучше системы *n* ($R_{(n-1)n}$ =2), и при этом система (*n-1)* хуже системы (*n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$=0), то система *n* хуже системы (*n+1)*, $R_{n(n+1)}$=0.

Если $R_{(n-1)n}$=2 и $R_{(n-1)(n+1)}$=0, то $R_{n(n+1)}$=0 (2.3.3)

Правило № 7. Если системы (*n-1)* и *n* равны ($R_{(n-1)n}$ =1), и при этом система (*n-1)* лучше системы (*n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$=2), то система *n* лучше системы (*n+1)*, $R_{n(n+1)}$=2.

Если $R_{(n-1)n}$ =1 и $R_{(n-1)(n+1)}$=2, то $R_{n(n+1)}$=0 (2.3.4)

Правило № 8. Если системы (*n-1)* и *n* равны ($R_{(n-1)n}$ =1), и при этом системы (*n-1)* и (*n+1)* тоже равны ($R_{(n-1)(n+1)}$=1), то и системы *n* и (*n+1)* будут равны, $R_{n(n+1)}$=2.

Если $R_{(n-1)n}$ =1 и $R_{(n-1)(n+1)}$=1, то $R_{n(n+1)}$=1 (2.3.5)

Правило № 9. Если системы (*n-1)* и *n* равны ($R_{(n-1)n}$ =1), и при этом система

(*n-1)* хуже системы (*n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$=0), то система *n* хуже системы (*n+1)*, $R_{n(n+1)}$=0.

Если $R_{(n-1)n}$ =1 и $R_{(n-1)(n+1)}$=0, то $R_{n(n+1)}$=0 (2.3.6)

Правило № 10. Если система (*n-1)* хуже системы *n* ($R_{(n-1)n}$=0), и при этом система (*n-1)* лучше системы (*n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$=2), то система *n* лучше системы (*n+1)*, $R_{n(n+1)}$=2.

Если $R_{(n-1)n}$ =0 и $R_{(n-1)(n+1)}$=2, то $R_{n(n+1)}$=2 (2.3.7)

Правило № 11. Если система (*n-1)* хуже системы *n* ($R_{(n-1)n}$=0), и при этом системы (*n-1)* и (*n+1)* равны ($R_{(n-1)(n+1)}$=1), то система *n* лучше системы (*n+1)*, $R_{n(n+1)}$=2.

Если $R_{(n-1)n}$=0 и $R_{(n-1)(n+1)}$=1, то $R_{n(n+1)}$=2 (2.3.8)

Правило № 12. Сделать логический вывод без участия эксперта при сравнении системы *n* с системой (*n+1)* ($R_{n(n+1)}$) невозможно в двух случаях, при условии наличия одного из следующих вариантов исходных данных:

- если система (*n-1)* лучше системы *n* ($R_{(n-1)n}$ =2), и при этом система (*n-1)* лучше системы (*n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$=2), то есть когда $R_{(n-1)n}$ =2 и $R_{(n-1)(n+1)}$=2;

- если система (*n-1)* хуже системы *n* ($R_{(n-1)n}$ =0), и при этом система (*n-1)* хуже системы (*n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$=0), то есть когда $R_{(n-1)n}$ =0 и $R_{(n-1)(n+1)}$=0.

В этих случаях в соответствующей ячейке таблицы 2.3.2 (таблицы 2.3.1) ставится знак «?», и эксперту необходимо самостоятельно сравнить систему *n* с системой (*n+1)* и записать полученный результат $R_{n(n+1)}$ в данную ячейку.

Правила дают возможность программной реализации в режиме реального времени автоматического осуществления логических выводов при дальнейшем сравнении системы *n* с системой (*n+1)*, то есть обоснованно получить значение $R_{n(n+1)}$, при условии наличия достоверных исходных данных по результатам двух парных сравнений систем:

- системы (*n-1)* с системой *n*, $R_{(n-1)n}$;

- системы (*n-1)* с системой (*n+1)*, $R_{(n-1)(n+1)}$.

При этом анализ таблицы 2.3.2 показывает, что всего существует 7 (семь) возможных вариантов результатов логических выводов сравнения системы *n* с системой (*n+1)* ($R_{n(n+1)}$) при использовании первоначально полученных исходных

данных результатов сравнения системы (*n-1)* с системой *n* ($R_{(n-1)n}$) и системы (*n-1)* с системой (*n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$). То есть при этих 7 (семи) вариантах участие эксперта в сравнении системы *n* с системой (*n+1)* ($R_{n(n+1)}$) не требуется.

Таким образом, системное применение правил и таблицы 2.3.2 при использовании метода парного сравнения (табл. 2.3.1) существенно сокращает затраты ресурсов и времени на обработку информации, а также обеспечивает непротиворечивость получаемых результатов при оценке качества [161].

2. Проверка результатов парного сравнения систем (табл. 2.3.1) на непротиворечивость для целей рациональной программной реализации Метода и (или) методики оценки качества на основе данного Метода (глава 4, диссертации).

В Методе проверка проводится путем расчетов количества баллов, набранных одной системой *z* (B_z), и коэффициентов качества систем (K_z).

Данные расчеты предлагается провести по формулам [74, С. 105]:

$$B_z = \sum_{i=1}^{n} R_{zn} \qquad (2.3.9)$$

где n – количество выбранных для сравнения систем,

z – это номер одной из сравниваемых систем, принадлежащей диапазону целых чисел от 1 до n.

$$K_z = \frac{B_z}{z^2} \qquad (2.3.10)$$

В дальнейшем проверка экспертной информации на непротиворечивость и контроль ввода ложной экспертной информации (ошибок оператора) в таблице 2.3.1. выполняется с путем применения формул 2.3.9 – 2.3.14 и таблицы 2.3.3.

Проверку на непротиворечивость осуществить при парном сравнении систем путем соблюдения правил и выполнения расчетов по формулам 2.3.1 – 2.3.8 в столбцах 2 – (n+1) таблицы 2.3.1.

Количественное значение коэффициента качества систем (K_z) в столбце (n+2) таблицы 2.3.1 проверить на непротиворечивость путем соблюдения правила

нормировки: сумма значений K_z должна равняться единице, если нет, то программа должна вывести сообщение об ошибке.

Сообщения выводятся внизу столбца (n+2) таблицы 2.3.1.

Количественное значение коэффициента качества систем (K_z), в столбце (n+2) таблицы 2.3.1 проверить на непротиворечивость построчно путем одновременного выполнения двух условий [161]:

- первое условие, сравнения K_z для каждой системы с минимально возможным значением K_{zmin}, определяемым по формуле:

$$K_{z\,min} = \frac{1}{z^2} \qquad (2.3.11)$$

если $K_z < K_{z\,min}$, то программа выводит сообщение об ошибке, во всех других случаях значения соответствуют норме;

- второе условие, максимально возможное $K_{z\,max}$ рассчитывается по формуле:

$$K_{z\,max} = \frac{2z-1}{z^2} \qquad (2.3.12)$$

Отсюда, если $K_z > K_{z\max}$, то есть $K_z > \frac{2z-1}{z^2}$, то программа выводит сообщение об ошибке, во всех других случаях значения соответствуют норме.

Сообщения выводятся в соответствующей строке системы столбца (n+4) таблицы 2.3.1.

Для примера значения K_{zmin} и K_{zmax} приведены в таблице 2.3.3.

Количественное значение суммы баллов для одной системы (B_z) проверить на непротиворечивость построчно путем одновременного выполнения двух условий:

Первое условие, путем сравнения B_z с минимально возможным значением суммы баллов для одной системы z, B_{zmin}=1, то есть при сравнении систем установлено, что система z по выбранному показателю оценки хуже всех выбранных систем.

Отсюда если $B_z < 1$ или $B_z < B_{zmin}$, то программа выводит сообщение об ошибке, во всех других случаях значения B_z соответствуют норме.

Второе условие, путем сравнения B_z с максимально возможным значением суммы баллов для одной системы z:

$$B_{z\,max} = 1+2(z-1) \qquad (2.3.13)$$

Отсюда, если $B_z > B_{zmax}$, то есть $B_z > 1+2(z-1)$, то программа выводит сообщение об ошибке, во всех других случаях значения соответствуют норме.

Сообщения о результате проверки выводятся в соответствующей строке системы столбца (n+4) таблицы 2.3.1.

Для примера значения B_{zmax} приведены в таблице 2.3.3.

Количественное значение суммы баллов B_z (значение расположено в ячейке ($n+1$;n +3) таблицы 2.3.1) для всех сравниваемых систем в количестве n, проверить на непротиворечивость путем выполнения одного условия: сумма баллов по результатам сравнения должно быть равным контрольному числу, рассчитываемому по формуле:

$$\boldsymbol{B}_z = z^2 \qquad (2.3.14)$$

Если $B_z = z^2$, то значение B_z соответствуют норме, во всех других случаях программа должна выводить сообщение об ошибке [161].

Сообщения о результате проверки выводятся в ячейке ($n+1$;n +3) табл. 2.3.1. Для примера проверочные расчетные значения B_z приведены в таблице 2.3.3.

По результатам расчетов с применением формул 2.3.9 – 2.3.14 в таблице 2.3.3 систематизированы максимальные количественные проверочные значения коэффициентов качества систем (K_{zmax}), суммы баллов для одной системы (B_{zmax}) и максимальные значения суммы баллов всех сравниваемых систем (B_{zmax}) в зависимости от выбранного количества систем (n) от 2 до 20, при использовании метода парного сравнения [80].

Таблица 2.3.3.

Проверочные значения
при использовании усовершенствованного метода парных сравнений
от 2 до *n* систем

Кол-во систем *n*	Максимально возможные количественные значения:		Минимально возможные количественные значения:		Контрольное число суммы баллов для всех сравниваемых систем в количестве *z*, $B_z = z^2$
	суммы баллов для одной системы, z B_{zmax}= 1+2(*z*-1)	коэффициента качества системы $K_{z\,max} = \frac{2z-1}{z^2}$	суммы баллов для одной системы, z B_{zmin}=1	коэффициента качества системы $K_{z\,min} = \frac{1}{z^2}$	
2	3	0,75	1	0,25	4
3	5	0,55555	1	0,111111	9
4	7	0,4375	1	0,0625	16
5	9	0,36	1	0,04	25
6	11	0,305555	1	0,027778	36
7	13	0,265306	1	0,020408	49
8	15	0,234375	1	0,015625	64
9	17	0,209877	1	0,012346	81
10	19	0,19	1	0,01	100
11	21	0,173554	1	0,008264	121
12	23	0,159722	1	0,006944	144
13	25	0,147929	1	0,005917	169
14	27	0,137755	1	0,005102	196
15	29	0,128889	1	0,004444	225
16	31	0,121094	1	0,003906	256
17	33	0,114187	1	0,00346	289
18	35	0,108025	1	0,003086	324
19	37	0,102493	1	0,00277	361
20	39	0,0975	1	0,0025	400
…	…	…	1	…	…
n	B_{zmax}=1+2(*n*-1)	$K_{z\max} = \frac{2n-1}{n^2}$	1	$K_{z\min} = \frac{1}{n^2}$	$B_n = n^2$

Рекомендации: специально разработанную таблицу 2.3.3, содержащую систематизированные данные о проверочных значениях при использовании метода парного сравнения от 2 до *n* систем, целесообразно использовать для создания программ сбора, обработки информации, а также оценки качества систем [161].

Кроме того, Метод целесообразно использовать при составлении технических заданий на создание программ для ЭВМ, предназначенных для выполнения задачи в области оценки качества систем, сравнения и обработки информации.

В диссертации Метод применяется при разработке методики оценки эффективности БТС (систем) совместно с программой для ЭВМ «Анализ и оценка эффективности систем» (параграф № 3.2, диссертации) и комплексной методики оценки качества технических систем в процессе эксплуатации (глава 4, диссертации) [74].

Схема алгоритма рационального применения Метода представлена в параграфе № 4.1 (глава 4 диссертации).

На практике Метод применяется в программе для ЭВМ «Экспертная оценка систем усовершенствованным методом парных сравнений», как техническое решение для рациональной оценки качества систем усовершенствованным методом парных сравнений [77].

Пример программной реализации Метода приведён в разделе А.2 Приложения А диссертации.

Представленный Метод обладает определенной универсальностью и может быть вполне успешно использован при оценке не только технических систем в процессе эксплуатации, но и для оценки качества других различных объектов и процессов.

Метод позволяет в кратчайшие сроки учитывать и детализировать мнения различных экспертов в заданной предметной области, что на практике способствует принятию обоснованных управленческих решений с учётом мнений большого количества квалифицированных специалистов, включая внешних экспертов: учёных, преподавателей и работников других предприятий.

Таким образом, Метод представляет собой новое научно обоснованное решение в сфере развития и совершенствования методологического обеспечения оценки качества БТС в процессе эксплуатации.

2.4. Модифицированный метод DEA для анализа и оценки эффективности больших технических систем

На основании первой главы диссертации можно вполне обоснованно утверждать, что в современных условиях эффективность управления БТС и системами в их составе (далее – системами) в значительной степени зависит от своевременного принятия управленческих решений, основанных на оценке их эффективности и с учетом специфики оцениваемых систем.

Постановка задачи диссертационного исследования предусматривает, что объективная оценка эффективности систем требует подробной детализации и наиболее полного учета множества факторов и условий, которые сопровождают функционирование систем, а также их сравнение с аналогичными системами и (или) с различными периодами функционирования оцениваемых систем.

Поэтому в теоретической части работы одним из перспективных направлений обеспечения достижения цели исследования является создание и использование модифицированного метода DEA [33, 37].

Для оценки качества системы любой природы важнейшей характеристикой является эффективность её функционирования. Однако очевидно, что никакой отдельный частный показатель не может быть использован для универсального применения при оценке эффективности различных систем. Поэтому А.Чарнесом, В.Купером и Е.Родесом (A.Charnes, W.Cooper, E.Rhodes) был разработан метод «Data Envelopment Analysis» (DEA), изложенный во многих научных работах [161, 164-167, 169, 179-181, 201].

В то же время применение метода DEA не дает объяснений причинам состояния системы и, соответственно, не дает дополнительной обоснованной информации для принятия наиболее рационального управленческого решения.

В предлагаемом модифицированном методе DEA устранены эти недостатки с помощью апробированных математических методов. Кроме того, предлагаемый метод в большей мере пригоден для программной реализации в силу использования систематизированных расчетных табличных форм.

Модифицированный метод DEA представляет собой симбиоз метода DEA [172-175, 179] и расчета корреляции зависимости [21, 23, 31].

На основании научных работ М.Дж. Фаррелла (M.J. Farrell) [180, 181] в сфере развития методов непараметрического граничного анализа [181, с.271] можно сформулировать следующие направления применения модифицированного метода DEA:

1. Результативность (effectiveness) – определение степени достижения цели оцениваемой системой в заданный период времени.

2. Экономичность (efficiency) – это соотношение затрат ресурсов и результата, достигнутого оцениваемой системой в заданный период времени.

Таким образом, в самом общем виде назначение модифицированного метода DEA в области оценки эффективности системы сводится к определению результативности и экономичности осуществляемого системой преобразования потребляемых ресурсов в получаемые результаты.

При современном многообразии различных оцениваемых систем в составе БТС, выполняющих одинаковые функции, наиболее перспективным направлением применения модифицированного метода DEA и разработанной на его основе методики оценки эффективности будет являться первое направление, то есть оценка (сравнение) достигнутого результата с требуемым (базовым) значением этого результата за заданный период времени при условии одинаковых затрат ресурсов оцениваемыми системами [21, 23, 33, 37].

Для этой цели в модифицированном методе DEA применяется парное сравнений количественных значений всех затраченных ресурсов (X_1, X_2, ... X_i) и количественных значений достигнутого результата (Y). Или сравнение достигнутого результата (Y) с его установленными базовыми (требуемыми) значениями ($Y_б$). Проводятся сравнения всех оцениваемых систем и (или) оцениваемых периодов времени функционирования одной системы.

Ключевым моментом в модифицированном методе DEA является рекомендация по установлению базовых количественных значений для результата ($Y_б$) и затраченных ресурсов ($X_{iб}$).

В разработанном методе сравнение рекомендуется проводить с помощью построения соответствующих расчетных таблиц 2.4.1 и 2.4.2:

- таблица 2.4.1 – для сравнения количественных значений достигнутого результата (*Y*);

- таблица 2.4.2 – для сравнения количественных значений всех затраченных ресурсов ((*X1, X2, … Xi*) с их базовыми значениями.

В таблицах *i* – это количество видов затраченных ресурсов, а *n* – это количество оцениваемых систем (периодов времени для одной системы).

Таблица 2.4.1 «Оценка результативности систем» реализует первое направление применения модифицированного метода DEA: «Результативность (effectiveness)», то есть определяет степень достижения цели оцениваемой системой в заданный период времени по сравнению с установленным базовым (требуемым) количественным значением результата ($Y_б$), которое должны быть обязательно достигнутого системами за время своего функционирования.

Таблица 2.4.1

Оценка результативности систем по _____
(название результата)

Система	*Название результата* (единица измерения)		Место в рейтинге	Выводы о результативности систем (периодов времени)		
				Система достигла требуемого результата		Система не достигла требуемого результата
	достигнутый системой	требуемый ($Y_б$)		превысила требуемый результат	находится на границе своей результативности	
1	Y_1	$R_{1б}$				
2	Y_2	$R_{2б}$				
…	…	…				
n	Y_n	$R_{nб}$				

Очевидно, что для объективной оценки значения требуемых результатов для всех оцениваемых систем должны быть равны: $R_{1б} = R_{2б} = \ldots = R_{nб}$.

Однако, в методе предусмотрены расчеты и разные значения требуемых

результатов в зависимости от установленного расхода ресурсов (например, ГСМ на зимний и летний периоды эксплуатации) и условий функционирования систем (например, в подземной или наземной части метрополитенов и шахт).

Во втором столбце таблицы 2.4.1 предусмотрено сравнение результатов с их базовым значением, на основе которых делаются выводы о результативности системы путем вычисления коэффициента результативности *j*-системы – $R_{jб}$.

В таблице 2.4.1 оценка результативности систем по выпуску продукции производиться по трём критериями:

1. Если $R_{jб} = \frac{Y_j}{Y_б} > 1$, то *j*-система достигла требуемого результата и превысила требуемый результат в $R_{jб}$ раза или на 100 $R_{jб}$ процента(ов).

2. Если $R_{jб} = \frac{Y_j}{Y_б} = 1$, то *j*-система достигла требуемого результата и находится на границе своей результативности.

3. Если $R_{jб} = \frac{Y_j}{Y_б} < 1$, то *j*-система не достигла требуемого результата и достигнутый результат меньше требуемого на (100 – 100 $R_{jб}$) процента(ов).

В таблице 2.4.1 место в рейтинге систем определяется по правилу:

$$R_{jб\max} > R_{(j-z)б} > \ldots > R_{jб\min} \Rightarrow 1, 2, \ldots, N$$

где *N* – это количество мест в рейтинге систем, при этом может быть ситуация, когда одно место в рейтинге при равных значениях $R_{jб}$ будут занимать две и более системы. То есть *N* не всегда может быть равно числу оцениваемых систем *n*. Из вышеприведенного правила понятно, что на первом месте рейтинга будет система с наибольшим значением $R_{jб}$ и, соответственно, на последнем месте будет система с наименьшим значением количественным значением сравнения достигнутого результата с требуемым.

При необходимости в методе по результатам заполнения таблицы 2.4.1 предусмотрено построение диаграммы распределения результатов, пример – рисунок 2.4.1.

На рисунке 2.4.1, системы, которые не достигли требуемого (базового) результата (системы 2 и 5) находятся ниже контрольной линии базового уровня ($R_{jб} = 1$), а системы, которые превысили требуемый результат (системы 4, 7 и 3), соответственно, находятся выше. Системы, достигнувшие результаты равные базовому, расположены на базовом уровне (системы 6 и 1).

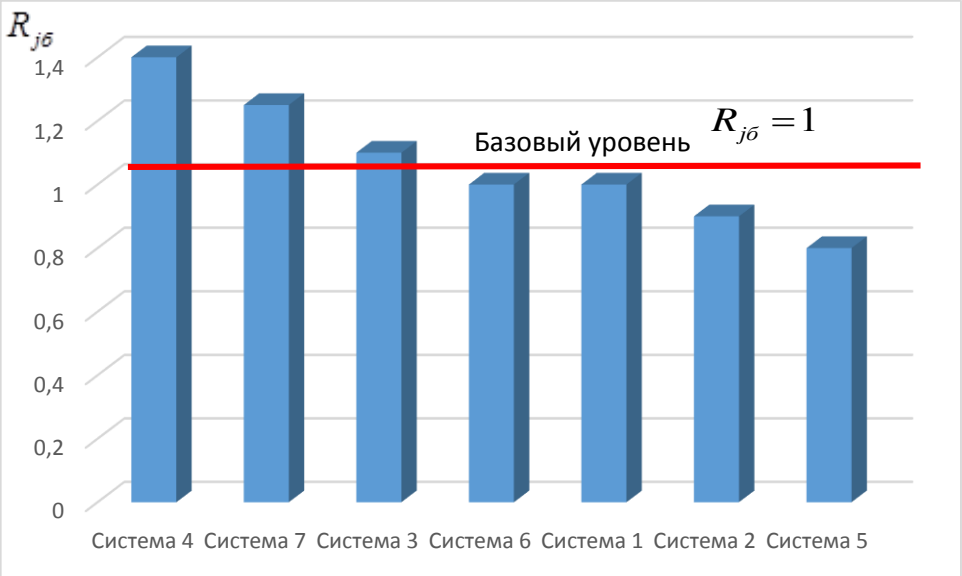


Рисунок 2.4.1. Рейтинг систем и распределение результатов

В качестве комментария необходимо заметить, что учитывая специфические требования к системам, важной частью разработанного метода является коэффициент вето $\varphi(Q_i)$. Так как в системе могут быть установлены параметры, снижение которых категорически недопустимо. Например, количество и емкость исправных АКБ в системе резервного электропитания, количество ГСМ и т.д.

Применительно к оценке результативности систем по таблице 2.4.1 целесообразно введение коэффициента вето для систем, имеющих коэффициент результативности ниже единицы, то есть при $R_{jб} < 1$.

В этом случае для примера на рисунке 2.4.1 ЛПР предлагается не учитывать при дальнейшей оценке системы 2 и 5, как не достигнувшие требуемого результата.

В принципе, согласно теории, в комплексных показателях качества низкие значения одних единичных показателей могут компенсироваться высокими

значениями других. Но для некоторых оцениваемых систем такая компенсация будет противоречить реальным требованиям к их эффективному функционированию, так как в отдельных случаях недопустимо компенсировать значения одних показателей высокими значениями других.

Для исключения такой возможности, а также учитывая принцип универсальности и различные специфические требования к разным системам БТС, важной частью разработанного метода является коэффициент вето.

В методе коэффициент вето может заключаться в установлении ЛПР нижнего и (или) верхнего порога значений показателей качества систем, которые определяются исходя из специфики системы, например при $R_{i\text{б}} < 1$ для таблицы 2.4.1. (системы 2 и 5 на рис. 2.4.1).

В этом случае для таблицы 2.4.1 целесообразно использовать формулу:

$$\varphi(Q_i) = \begin{cases} 1, \text{если } \mathrm{R}_{\text{jб}} \geq 1 \\ 0, \text{если } \mathrm{R}_{\text{jб}} < 1 \end{cases} \qquad (2.4.1)$$

В таблице 2.4.2 «Оценка экономичности систем по расходу ресурса X_i для достижения результата Y_j» расчеты и оценка проводятся по тем же правилам, что и для таблицы 2.4.1.

За исключением правила составления рейтинга систем по расходу ресурсов, так как на первом месте рейтинга должна быть система с наименьшим расходом, а на последнем – с наибольшим.

Отсюда правило составления рейтинга экономичности приобретает вид:

$$S_{xi\min} < S_{x(i-z)} < \ldots < S_{xi\max} \Rightarrow 1, 2, \ldots, N$$

S_{xi} – это коэффициент экономичности расхода ресурса X_i для достижения результата Y_j, $S_{xi} = \dfrac{X_i}{X_{i\text{б}}}$.

Таблица 2.4.2

Оценка экономичности систем по расходу ресурса X_i
для достижения результата Y_j

Система	Расход ресурса X_i (ед. измер.)		Место в рейтинге	Выводы об экономичности систем (одной системы в разные периоды времени)		
				Система экономична		Система не экономична, $C_{xi} > 1$
	реальный	требуемый не более $X_{iб}$		расход менее $X_{iб}$, $C_{xi} < 1$	расход равен $X_{iб}$, $C_{xi} = 1$	
1	X_1	$X_{1б}$				
2	X_2	$X_{2б}$				
	…	…				
n	X_n	$X_{nб}$				

При определенных условиях может выполняться равенство $X_{1б} = X_{2б} = \ldots = X_{nб}$. Таблица 2.4.2 составляется для каждого оцениваемого ресурса.

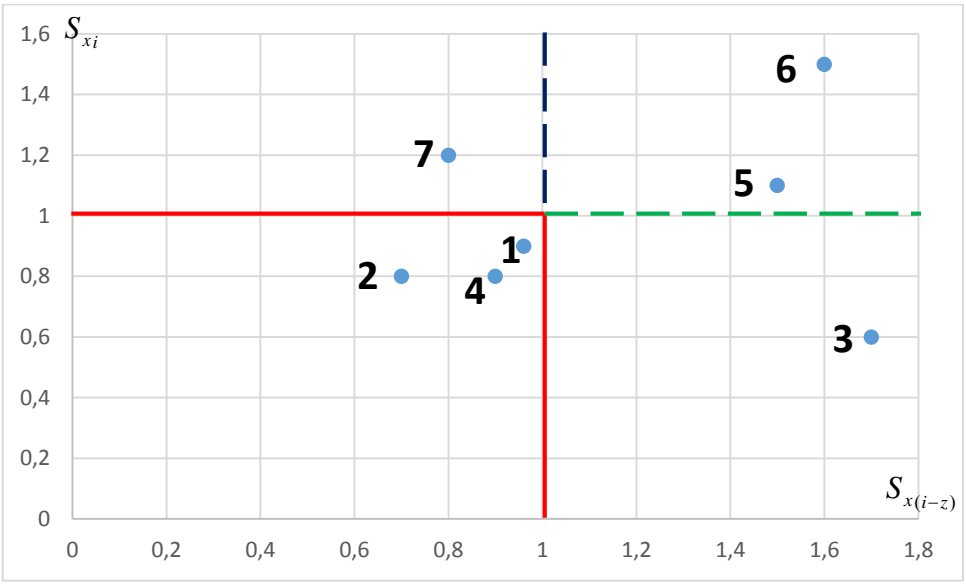


Рисунок 2.4.2. График распределения коэффициентов экономичности расхода ресурса X_i и $X_{i\text{-}z}$ семи систем на достижение результата Y_j.

Анализ распределения значений S_{x_i} и $S_{x(i-z)}$ на рисунке 2.4.2 позволяет ЛПР

сделать следующие выводы по аналогии с тремя критериями таблицы 2.4.1:

1. Системы, расположенные внутри квадрата со сторонами S_{xi} =1 и $S_{x(i-z)}$=1, экономичны по расходу ресурсов X_i и X_{i-z} на достижение результата Y_j , в примере на рисунке 2.4.2 это системы 1, 2 и 4.

2. Системы, расположенные справа от данного квадрата, то есть $S_{x(i-z)}$ >1, но ниже линии S_{xi} =1, экономичны по расходу ресурсов X_i , но не экономичны по расходу ресурса X_{i-z}, в примере на рисунке 2.4.2 это система 3.

3. Системы, расположенные сверху данного квадрата, то есть S_{xi} >1, но $S_{x(i-z)}$ >1, но слева от линии $S_{x(i-z)}$ =1 ($S_{x(i-z)}$ <1), экономичны по расходу ресурсов X_{i-z}, но не экономичны по расходу ресурса X_i, на рисунке 2.4.2 это система 7.

4. Системы, расположенные по диагонали сверху от данного квадрата, то есть S_{xi} >1 и $S_{x(i-z)}$ >1, не экономичны по расходу ресурсов X_{i-z}, и X_i, в примере на рисунке 2.4.2 это системы 5 и 6.

При необходимости можно рассчитать нормированные коэффициенты важности для каждого расходуемого ресурса – c_k. Где k – это номер вида ресурса, представляющий собой целое число в диапазоне от 1 до i с шагом равным единице.

Расчет значений (c_k) можно провести следующими способами:

- с помощью построения базовой структурно-функциональной модели;

- на основе субъективного мнения ЛПР или экспертов, например, с помощью ранжирования ресурсов;

- на основе расчета стоимости ресурсов в зависимости от общего бюджета эксплуатации систем.

При расчете значения c_k должно соблюдаться правило: чем важнее k-ресурс, тем меньше должен быть его нормированный коэффициент важности (c_k).

Для соблюдения указанного правила наиболее рационально рассчитать значение (c_k) для каждого вида ресурсов на основе субъективного мнения ЛПР, выраженного с помощью ранжирования i-количества ресурсов по принципу чем важнее вид ресурс, тем меньший номер места в рейтинге он получает, то есть на первом месте будет наиболее важный ресурс, а на последнем i-ом месте наименее важный вид ресурс.

Отсюда, в соответствии, с правилом формула расчета значения c_k приобретает вид:

$$c_k = \frac{N_k}{\sum_{k=1}^{k=i} N_k},$$

где N_k – это номер места в рейтинге k вида ресурса.

В модифицированном методе DEA на основе данных таблиц, составленных для каждого вида расходуемых ресурсов и нормированных коэффициентов важности расходуемых видов ресурсов (c_k) рекомендуется рассчитать комплексный показатель экономичности расходования ресурсов (X_1, X_2, ... X_i) системой m на достижение результата (C_m) [68, с. 112]:

$$C_m = \sum_{k=1}^{k=i} c_k S_{x\,k\,m}, \qquad (2.4.2)$$

где m – это номер оцениваемой системы, представляющий собой целое число от 1 до j с шагом равным единице, а $S_{x\,k\,m}$ – это коэффициент экономичности расхода ресурса X_k для достижения результата системой m.

По результатам оценки результативности и экономичности систем (таблицы 2.4.1 и 2.4.2) целесообразно составить рейтинг эффективности оцениваемых систем, применяя для этой цели таблицу 2.4.3.

Таблица 2.4.3

Рейтинг эффективности систем

Система	Коэффициент результативности, $R_{mб}$	Комплексный показатель экономичности, C_m	Коэффициент эффективности системы, E_m	Место в рейтинге
1				
…				
n				

В таблице 2.4.3 рейтинг определяется по наибольшему значению коэффициента эффективности системы (E_m), то есть по наибольшему значению суммы баллов оцениваемой системы m.

Количественное значение коэффициента эффективности системы (E_m) рассчитывается по формуле (2.4.3):

$$E_m = e_R R_{m\text{б}} + e_C (1 - \frac{C_m}{\sum_{m=1}^{n} C_m}) \qquad (2.4.3)$$

где e_R – это нормированный весовой коэффициент важности коэффициента результативности, равный для всех коэффициентов результативности *j*-количества оцениваемых систем ($R_{1\text{б}}$, $R_{2\text{б}}$, … $R_{j\text{б}}$);

e_C – это нормированный весовой коэффициент важности комплексного показателя экономичности, также равный для всех комплексных показателей экономичности (C_1, C_2, … C_j) в таблице 2.4.3 [68, с. 115].

В методе использование значений e_R и e_C не являются обязательным.

Значения e_R и e_C применяются при необходимости учета при составлении рейтинга специфических требований к системам и их рекомендуется рассчитывать на основе мнений экспертов.

Для этого каждому эксперту рекомендуется предложить оценить важность $R_{j\text{б}}$ и C_j для составления рейтинга эффективности систем путем распределения заранее определенного числа баллов B между двумя этими показателями, таким образом, чтобы сумма распределенных баллов равнялась этому определенному числу баллов (B), то есть $B = B_R + B_C$.

Где B_R – это число баллов, полученное коэффициентом результативности ($R_{j\text{б}}$), а B_C – это число баллов, полученное комплексным показателем экономичности (C_j).

Отсюда формулы расчетов нормированных значений e_R и e_C приобретают следующий вид:

$$e_R = \frac{B_R}{B} \text{ и } e_C = \frac{B_C}{B}, \text{ то есть } e_R + e_C = \frac{B_R}{B} + \frac{B_C}{B} = 1.$$

В данном методе учитывается, что при комплексном подходе к анализу эффективности функционирования систем ЛПР получает достаточно большое количество информации, которую необходимо обработать и представить в виде, удобном для принятия рационального решения по повышению эффективности.

Для этой цели применяются расчеты корреляционных зависимостей (r_{xy}) по формуле расчёта коэффициента корреляции Пирсона [33, 37, 109], предназначенной в разработанном методе для выявления существования зависимости и связи между парами переменных, используемых в расчётах (табл. 2.4.4). В формуле коэффициента корреляции Пирсона учитываются парные данные выбранных действительных значений показателей качества эксплуатации системы $\{(x_1,y_1), \ldots, (x_n,y_n)\}$, состоящие из n пар, r_{xy} :

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}},$$

где, соответственно, выборочное среднее переменных рассчитывается по формулам:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \quad \text{и} \quad \bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i \ .$$

После выполнения расчетов коэффициента корреляции для каждой пары сравниваемых значений рекомендуется внести полученные данные в специально разработанную таблицу 2.4.4. На основе общепринятых соотношений тесноты связи между переменными целесообразно преобразование данных из таблицы 2.4.4 в таблицу 2.4.5 [37, с. 615].

Таблица 2.4.4

Результаты расчетов коэффициентов корреляционной зависимости

Количественные значения показателей					
	x_i	y_i	z_i	…	j_i
x_i	-	$r_{x_i y_i}$	$r_{z_i x_i}$	…	$r_{j_i x_i}$
y_i	$r_{x_i y_i}$	-	$r_{y_i z_i}$	…	$r_{y_i j_i}$
z_i	$r_{x_i z_i}$	$r_{y_i z_i}$	-	…	$r_{j_i z_i}$
...	…	…	…	-	…
j_i	$r_{x_i j_i}$	$r_{y_i j_i}$	$r_{z_i j_i}$	…	-

Таблица 2.4.5

Степень корреляционной зависимости
между парами значений показателей качества

Очень слабая корреляция $0 < \|r\| < 0,5$	Слабая корреляция $0,5 < \|r\| < 0,7$	Средняя корреляция $0,7 < \|r\| < 0,8$	Высокая корреляция $0,8 < \|r\| < 0,9$	Очень высокая корреляция $0,9 < \|r\| < 1$
$x_i\ y_i$, …, $z_i\ j_i$	$x_i\ j_i$,…	$x_i\ z_i$, …	$y_i\ z_i$, …	$z_i\ j_i$, …

Особенности данного метода заключаются в простоте его применения для должностных лиц и практической направленности на повышение эффективности управления.

Количественные значения в таблицах 2.4.4 и 2.4.5 подразумевают составление диаграмм разброса по необходимости.

Систематизированная информация, полученная в результате расчетов, позволит ЛПР более детально провести анализ зависимостей ухудшения или улучшения значений корреляционной зависимости. Применение метода на практике может быть использовано для совершенствования управляющих воздействий, направленных на достижение цели функционирования системы.

По сути, разработанный модифицированный метод DEA – это инструмент бенчмаркинга. Бенчмаркинг позволяет определить наиболее эффективные подсистемы (элементы, изделия) в составе оцениваемой системы [100, 131, 197].

В идеале, при применении модифицированного метода DEA анализ зависимостей ухудшения или улучшения согласованности по различным оцениваемым событиям (вариантам решений), поможет выявить проблемы в процессе управления и принять обоснованные рациональные решения по их исправлению [31, с.50].

Накопленная информация (информационные резервы системы) позволит не только оценить эффективность, но также выявить и сформулировать недостатки конкретных процессов функционирования систем. С помощью этой информации наиболее рационально сформулировать обоснованные управленческие решения по исправлению этих недостатков, что в конечном счете повысит эффективность

оцениваемых систем [162, 167, 179, 190, 205].

Кроме того, использование информационных резервов позволит заинтересованным ЛПР прогнозировать неблагоприятные события в системе и принимать заблаговременные управленческие решения по их устранению. Что, в свою очередь, создаст объективные условия для существенного повышения эффективности функционирования БТС.

В диссертации модифицированный метод DEA, как новое научно обоснованное методологическое решение, является теоретической основой для разработки методики оценки эффективности технических систем и программы для ЭВМ «Анализ и оценка эффективности систем» [33, 37, 46].

Методика оценки эффективности технических систем

Развитие современного методического аппарата в области оценки эффективности [113, 114, 115, 143, 150, 151] и возможности применения результатов оценки эффективности при управлении сложными системами [123, 139, 140, 145, 149, 170, 178] позволяют в полной мере использовать модифицированный метод DEA для разработки предлагаемой методики оценки эффективности систем (БТС) совместно с программой для ЭВМ «Анализ и оценка эффективности систем» [33, 37, 46, 59] (далее в этом параграфе – методика и программы).

Методика и программы [46, 59, 162] предназначены для анализа и оценки эффективности систем и (или) одной системы в различные периоды времени её функционирования.

Методика, реализованная программой, выполняет все необходимые расчёты для создания таблиц, систематизации полученных значений корреляционной зависимости показателей функционирования систем, построения графиков и диаграмм. Позволяет сравнивать системы (периоды времени) по результату и (или) показателю функционирования систем, а также по соотношению израсходованных ресурсов *(X)* и результата *(Y)* и составлять рейтинги систем (рис. 2.4.3 и 2.4.4).

Используются количественные значения двух (X_1, X_2) и более видов ресурсов *(X)*. В программе стоимость израсходованных ресурсов, единицы измерения

полученного результата и общая стоимость полученного результата измеряются в тысячах рублей. Последовательность действий при выполнении методики (алгоритм программы для ЭВМ [46]) включает в себя [33, 37]:

1. Определение (с помощью структурно-функциональной модели) оцениваемых систем в составе БТС (или в составе других БТС), выполняющих аналогичные функции, или периодов времени функционирования одной системы (комплекса из нескольких систем).

Например, до и после модернизации или до и после совершенствования ТО или до и после повышения квалификации персонала и т.д.

При необходимости установление требуемых (базовых) значений результата ($Y_Б$) и затраченных ресурсов ($X_{Б1}$, $X_{Б2}$, …, $X_{Бi}$).

2. Определение достигнутого результата и его количественного значения *(Y)* для каждой системы (периода времени).

Примечание: обычно в оцениваемых БТС количественное значение требуемого результата строго регламентировано. Поэтому в примере (рис. 2.4.3) *Y* – это количество времени эксплуатации системы требуемом режиме (в сутках), одинаковое для всех систем.

Итак, пусть в примере *Y*=10 суток (рис. 2.4.3).

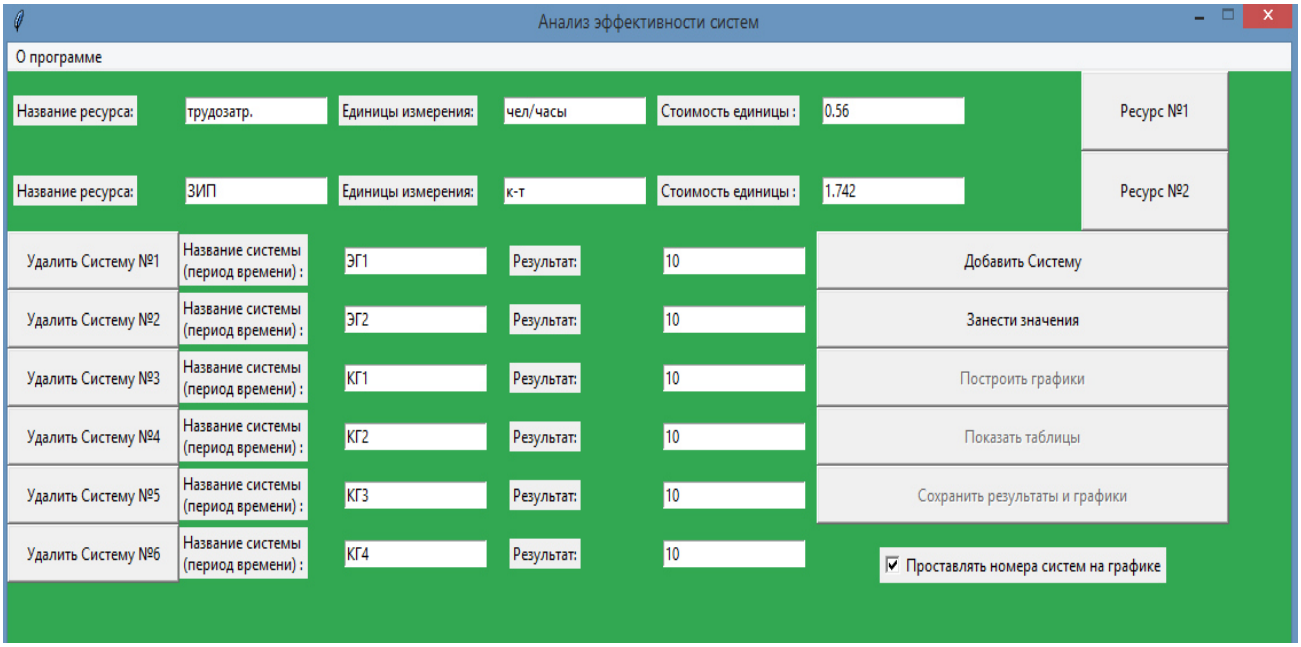


Рисунок 2.4.3. Начало работы с программой: ввод и систематизация данных

3. Составление списка затраченных ресурсов на достижение результата (показателей) и определение их количественных значений *(X_1, X_2, ..., X_i)*. Составление пар сравниваемых значений показателей – рис. 2.4.3.

3. Проведение парных сравнение количественных значений *($X_1, X_2, ..., X_i$)*.

4. Сравнение затрат ресурсов *($X_1, X_2, ..., X_i$)* и результата *(Y)*, пример – 2.4.4.

5. Составление рейтинга систем (периодов времени) – рис. 2.4.5.

Примечание: в примере представлена оценка относительной технической эффективности системы путем количественного соотношения фактически затраченных ресурсов и результата (рис. 2.4.4), что особенно востребовано с учетом специфики большинства промышленных предприятий (рис. 2.4.4).

Программная реализация такой оценки, в свою очередь подчеркивает уникальность и практическую применимость модифицированного метода DEA (рис. 2.4.5) для достижения цели исследования.

Система	Количество израсходованных ресурсов		Стоимость единицы измерения израсходованного ресурса в тыс. рублей		Стоимость затрат ресурсов на достижение результата	Количественное выражение полученного результата (y)	Стоимость единицы измерения полученного результата	Соотношение затрат ресурсов и результата	
	1 (чел/часы	x2 (к-т)	p1	p2				x1/y	x2/y
ЭГ1	92.1	11.0	0.56	1.742	70.738	10	7.0738	9.21	1.1
ЭГ2	91.0	12.0	0.56	1.742	71.864	10	7.1864	9.1	1.2
КГ1	103.0	15.0	0.56	1.742	83.81	10	8.381	10.3	1.5
КГ2	98.3	15.0	0.56	1.742	81.178	10	8.1178	9.83	1.5
КГ3	98.0	17.0	0.56	1.742	84.494	10	8.4494	9.8	1.7
КГ4	104.4	14.0	0.56	1.742	82.852	10	8.2852	10.44	1.4

Рисунок 2.4.4. Результаты расчетов (пример)

Система	Количество набранных баллов по результату	Количество набранных баллов по стоимости общ	Количество набранных баллов по расходу x1	Количество набранных баллов по расходу x2	Количество набранных баллов по общ. ст. ед. изм. результата	Общее количество баллов
ЭГ1	5	6	5	6	6	28
ЭГ2	6	5	6	5	5	27
КГ1	1	2	2	3	2	10
КГ2	2	4	3	2	4	15
КГ3	3	1	4	1	1	10
КГ4	4	3	1	4	3	15

Рейтинг систем по наибольшему значению набранных баллов, при условии равных коэффициентов важности показателей оценки эффективности: :
1. ЭГ1 - 28
2. ЭГ2 - 27
3. КГ4 - 15

Рисунок 2.4.5. Пример составления рейтинга систем

6. Расчет корреляционной зависимости и систематизация результатов.

Корреляционная зависимость рассчитывается по формуле Пирсона, для систематизации результатов используется таблица 2.4.5, пример – рис. 2.4.6.

Степень корреляционной зависимости между парами значений показателей

Очень слабая корреляция 0 < |r| <0,5	Слабая корреляция 0,5 < |r| < 0,7	Средняя корреляция 0,7 < |r| < 0,8	Высокая корреляция 0,8 < |r| < 0,9	Очень высокая корреляция 0,9 < |r| < 1
X1 И Y r = nan	X1/Y И X2/Y r = 0.6174492650289735			
X2 И Y r = nan	X1 И X2 r = 0.6174492650289733			
Собщ. и У r = nan				

Рисунок 2.4.6. Пример расчета и анализа корреляционной зависимости

7. Построение графиков и диаграмм с результатами всех сравнений затрат ресурсов *(X_1, X_2, …, X_i)*, результата *(Y),* стоимости ресурсов и результата, пример – рисунки 2.4.7 и 2.4.8.

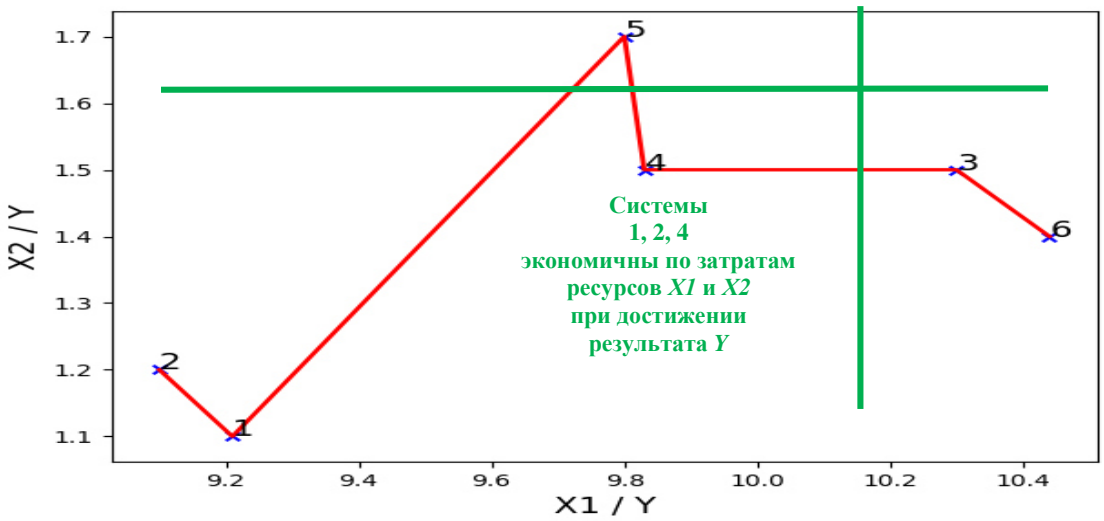


Рисунок 2.4.7. Пример построения графика

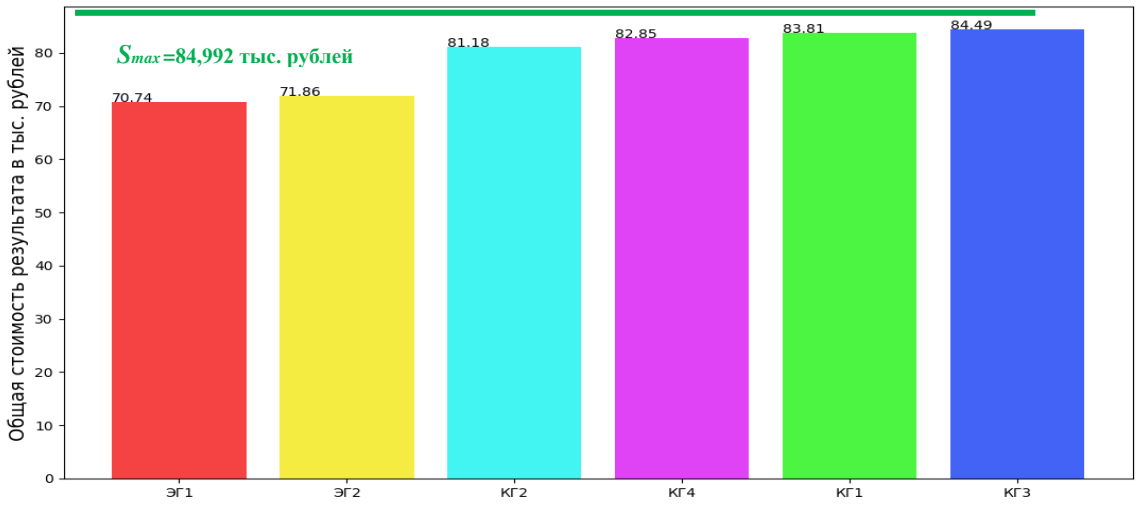


Рисунок 2.4.8. Пример построения диаграммы

8. Представление отчета ЛПР: в программе предусмотрена возможность формирования отчётов в формате Word, а также визуализации полученных результатов в режиме реального времени.

В отчете могут содержаться краткие выводы.

Например, если в п.1 методики в представленном примере введены базовые значения:

- $X_{Б1}$=102 чел/часа;

- $X_{Б2}$=16 комплектов ЗИП;

- $Y_Б$=10 суток;

- бюджет эксплуатации $S_Б$ =84,992 тысячи рублей.

То применение методики, реализуемой программой, позволяет сделать следующие выводы:

- технически эффективные системы 1, 2 и 4 (рис. 2.4.7);

- все системы уложились в установленный бюджет эксплуатации (рис. 2.4.8).

В методике предусмотрена возможность агрегирования (обобщения сведений о затраченных ресурсах на входе системы).

Агрегирование происходит путем суммирования стоимости всех фактически затраченных ресурсов $(X_1, X_2, \ldots, X_i)$ по каждому объекту или системе в его составе.

В результате каждой системе будет соответствовать один вход – финансовые затраты (бюджет) на достижение требуемого результата и, соответственно, один выход – результат эксплуатации или, как вариант, стоимость единицы измерения результата, например, стоимость одних суток автономного режима работы БТС.

Программа имеет простой и интуитивно понятный интерфейс (рис. 2.4.3). Язык программирования: Python.

Объем программы: 307 кб. [46].

На практике также применяется другая программа для ЭВМ, основанная на этой методике: «Оценка эффективности оператора связи на основе модифицированного метода DEA» [59].

Более подробные примеры приведены в приложении А «Примеры расчетов и применения программ для ЭВМ» диссертации.

Основной положительный эффект, достигнутый от внедрения методики и программ: понятность и наглядность результатов, а также сокращение времени и ресурсов на оценку эффективности и повышение обоснованности управленческих решений за счет возможности сравнения и требуемой детализации израсходованных ресурсов (X) при анализе и оценке эффективности систем.

Таким образом, разработанные на основе модифицированного метода DEA методика оценки эффективности систем совместно с программой для ЭВМ «Анализ и оценка эффективности систем», соответственно, представляют собой новые научно обоснованные методологическое решение и техническое решение, которые на практике способствуют повышению эффективности управления БТС за счет своевременной и детальной оценки эффективности этих систем.

В заключении параграфа № 2.4 важно отметить, что представленные методика и программы для ЭВМ эффективно применяются для оценки эффективности при реализации обратной связи в ИКУ и при контроле эксплуатации и ТО БТС – приложение Б диссертации.

В том числе для оценки эффективности управленческих решений, принимаемых по результатам оценки качества систем. В диссертация обратная связь на основе разработанной методики реализована в комплексной методике оценки качества технических систем (глава 4 диссертации) и в модели сопровождения технических систем в процессе эксплуатации (параграф № 5.1 – схема алгоритма на рис. 5.1.3).

Кроме того, модифицированный метод DEA и методика могут использоваться для повышения эффективности импортозамещения за счёт существенного снижения затрат времени и ресурсов для принятия обоснованных управленческих решений по выбору лучшей и (или) своевременной замене изделия (продукции, услуги) на высокоэффективные аналоги в соответствии с их функциональным предназначением.

Таким образом, в соответствии с постановкой задачи исследования модифицированный метод DEA, методика и программы для ЭВМ выступают дополнительным фактором усиления положительного эффекта от внедрения методов и способов, включая обеспечение проактивного управления эксплуатацией и ТО БТС.

2.5. Математическое моделирование технических систем в интересах рациональной организации оценки качества в процессе эксплуатации

Результаты диссертации, изложенные в первой главе, предопределяют необходимость развития традиционных подходов к математическому моделированию технических систем (параграфы № 1.3 и 1.4, диссертации) в интересах оценки их качества в процессе эксплуатации в составе БТС (табл. 1.3.2).

Характерной особенностью БТС, как сложных систем, является наличие в составе системы совокупности подсистем с функциональной избыточностью. Обычно техническое изделие в случае отказа элемента прекращает выполнение своей функции, если нет резерва и (или) дублирования выполнения этой функции. Однако, БТС не всегда прекращают своё функционирование при неисправности определённого числа элементов и в некоторых случаях целых подсистем в своём составе. Данное свойство БТС проявляется при условии функциональной избыточности. При этом условии функции БТС перераспределяются на другие подсистемы в её составе [1, 9, 83, 89]. Основной показатель сложности БТС – это трудности объяснения и предсказания траекторий движущейся системы (её динамического поведения). Структурная сложность БТС оказывает влияние на её поведение, а, следовательно, и на её динамическую сложность. При этом обратное утверждение не верно. Система (например, склад предприятия) может быть структурно простой, но её динамическое поведение может быть сложным.

Сложное поведение может быть вызвано не наличием нелинейностей, стохастических эффектов, а вызывается структурными особенностями БТС – связями элементов в её составе [20, с.119]. Понятие динамической сложности может определяться наличием в поведении БТС «жестких составляющих движений, связанных с разномасштабностью (разнотемповостью) процессов» в БТС, представленной далее в динамической модели [35, 83, 89, 93].

Динамическую модель БТС рационально разработать на основе предположения, то БТС может состоять из конечного множества автономных

линейных систем. При этом каждая такая автономная линейная система состоит из двух независимых взаимодействующих подсистем, например, система управления БТС и техническая система или техническая система и подсистема обеспечения и т.д. Тогда поведение автономной линейной системы можно описать следующими выражениями [83, с.14]:

$$\begin{aligned} \frac{dv_1}{dt} + a_1 v_1 = 0, \\ \frac{dv_2}{dt} + a_2 v_2 = 0 \end{aligned} \qquad (2.5.1)$$

с начальными условиями $v_1(0), v_2(0)$, где $a_1 > 0, a_2 > 0$ – параметры системы.

Система (2.5.1) характеризуется свободными движениями [83, 89]:

$$v_1(t) = v_1(0)\, \mathrm{e}^{-a_1 t}, \quad v_2(t) = v_2(0)\, \mathrm{e}^{-a_2 t},$$

монотонно убывающими с ростом t .

Предположим, что значение параметра a_2 значительно превышает значение a_1 $(a_2 >> a_1)$. Тогда компонента $v_2(t)$ затухает гораздо быстрее, чем $v_1(t)$, и, начиная с некоторого момента времени t, поведение системы, характеризуемое вектором $v(t) = (v_1(t), v_2(t))^m$, почти полностью определяется компонентой $v_1(t)$.

Однако при нахождении движения системы (2.5.1) разностным методом шаг интегрирования h определяется компонентой $v_2(t)$, несущественной с точки зрения поведения системы. Для этого рационально применить явный метод Эйлера:

$$\frac{x_{1\,n+1} - x_{1\,n}}{h} + a_1 x_{1\,n} = 0, \quad \frac{x_{2\,n+1} - x_{2\,n}}{h} + a_2 x_{2\,n} = 0, \qquad (2.5.2)$$

где $x_{i\,n} = x_i(t_n),\ i = 1, 2$, будет устойчив, если шаг h удовлетворяет одновременно двум неравенствам: $a_1 h \le 2$, $a_2 h \le 2$.

Поскольку $a_2 >> a_1 > 0$, условие устойчивости приводит к ограничению $h \le 2/a_2$.

Представленная динамическая модель системы, позволяет сделать вывод, что каждое из уравнений системы (2.5.2) следует решать независимо друг от друга со своим шагом интегрирования $h_j,\ j=1,2;\ \ h_j \le 2/a_j$. Однако аналогичные трудности возникают и при исследовании поведения линейной модели системы управления любой сложности, представленной в форме Коши

$$\frac{dv}{dt} = Av, \qquad (2.5.3)$$

если матрица коэффициентов А этой системы имеет большой разброс собственных чисел.

Поэтому при оценке вычислительной сложности рассматриваемой задачи моделирования существенны два фактора:

1) строение поля направлений траекторий в окрестности изучаемой временной траектории;

2) свойства матрицы А, а в более общем, нелинейном случае – свойства матрицы Якоби (J(v)) [83, с.16].

Одновременно с вышеизложенным при моделировании важно учитывать, что постановка задачи исследования (параграф № 1.4, диссертации) предполагает наличие трех важных свойств разрабатываемых математических моделей систем:

1. Направленность на рациональную организацию оценки качества систем в процессе эксплуатации.

2. Обеспечение достаточной универсальности моделей для их применения при оценке качества систем различного назначения с учетом специфики и условий их эксплуатации в составе БТС (K).

3. Учет воздействий внешней среды ($\Delta t,\ \Delta Y_j,\ \Delta X_i,\ \Delta P_z$) и динамики пространства метрик ($t_T,\ Y_{T1},\ Y_{T2},\ \ldots\ Y_{Tj};\ t_p,\ Y_{p1},\ Y_{p2},\ Y_{p3},\ \ldots\ Y_{pj};\ X_1,\ X_2,\ \ldots\ X_i;\ P_1,\ P_2,\ \ldots\ P_z$) для оценки качества и эффективности систем $Q=f\,(t_p, Y_{pj}, P_z, K)$.

Вышеизложенные свойства математических моделей возможно достичь при использовании кибернетического подхода в описании динамики функционирования оцениваемых систем [20, с.120].

Применительно к предметной области диссертационного исследования математическая динамическая модель БТС (рис. 2.5.1.), разработанная на основе кибернетического подхода (табл. 1.3.2), БТС описывается как взаимодействие следующих элементов [20, с.120]:

- системы управления (СУ) БТС, как субъекта управления;

- объекта управления в виде технической системы, эксплуатируемой в оцениваемый период времени в составе БТС;

- реальных результатов функционирования БТС (оцениваемых систем);

- управленческих решений, принимаемых на основе результатов оценки качества и эффективности систем;

Рисунок 2.5.1. Динамическая модель БТС для рациональной оценки качества в процессе эксплуатации

- обратной связи СУ БТС с технической системой и результатами функционирования систем;

- всей совокупности воздействий внешней среды на все выше перечисленные элементы модели (рис. 2.5.1).

Под всей совокупностью воздействий внешней среды в данной модели будем понимать следующие составляющие, в зависимости от их влияние на достижение цели, как совокупности требуемых результатов функционирования системы (t_T, Y_{T1}, Y_{T2}, ... Y_{Tj}) [20, с.120]:

1. Благоприятные воздействия – своевременные и в полном объеме поставки качественных ресурсов (X), рациональные правовые основы функционирования БТС, развитая внешняя инфраструктура, обеспечивающая функционирование системы и т.п.

Благоприятные воздействия внешней среды улучшают значения реальных результатов функционирования систем (t_p, Y_{p1}, Y_{p2}, Y_{p3}, ... Y_{pj}), действительных значений показателей качества систем (P_1, P_2 , ... P_z) и (или) снижают требуемые затраты времени (t_T) и ресурсов (X_1, X_2, ... X_i) на достижение требуемых результатов (Y_{T1}, Y_{T2}, ... Y_{Tj}).

2. Неблагоприятные воздействия – стихийные бедствия, действия злоумышленников, аварии и т.п., то есть все внешние воздействия, которые ухудшают результаты функционирования системы, повышают расходы ресурсов и времени, а также выводят из строя системы (элементы) в составе БТС.

3. Нейтральные воздействия внешней среды. При этом если воздействие внешней среды нейтральное (воздействия нет), то выполняется условие: $\Delta t=0$, $\Delta Y_j=0$, $\Delta X_i=0$, $\Delta P_z=0$.

В общем виде целевую функцию в динамической модели БТС (*objective function – OF*) можно описать выражением:

$$OF=\Phi(E,K,G,P,Y) \qquad (2.5.4)$$

где Φ – функциональный оператор, отображающий функциональные пространства:

- всех входных переменных E (воздействия СУ на техническую систему в

составе БТС), то есть ресурсы $X_1, X_2, \ldots X_i$ и требования $t_T, Y_{T1}, Y_{T2}, \ldots Y_{Tj}$;

- пространства заданных переменных, выражающих специфику и условия эксплуатации систем в составе БТС (K), то есть ограничения значений показателей качества систем $P_{zmin}<P_z< P_{zmax}$, введение коэффициентов вето, ограничения затрат времени (t_p) и расхода по видам ресурсов (X);

- совокупности воздействий внешней среды G, то есть $\Delta t, \Delta Y_j, \Delta X_i, \Delta P_z$;

- переменных состояний оцениваемой системы P, то есть $P_1, P_2, \ldots P_z$;

- достигнутых результатов функционирования Y, то есть $t_p, Y_{p1}, Y_{p2}, Y_{p3}, \ldots Y_{pj}$.

Рисунок 2.5.1 характеризует воздействие на систему с точки зрения процессного подхода (параграф № 1.1). Логично сделать следующие выводы по результатам анализа модели, представленной на рисунке 2.5.1:

1) воздействию внешней среды подвержены все составляющие процесса функционирования системы;

2) запас времени, поставки ресурсов, сроки и их объем будут являться определяющим фактором для рассматриваемой системы;

3) в современных условиях для принятия рационального решения необходимо большое количество достоверной информации о рассматриваемой предметной области и о качественном состоянии систем в процессе эксплуатации.

Наличие информации и правильность ее использования в значительной степени предопределяют рациональность выбранного решения [20, с.120].

В.С. Анфилатов делает следующие выводы: «Из аксиом управления следует, что управление заключается в ограничении разнообразия состояний управляемого объекта. Это означает, что энтропия объекта управления должна быть равна нулю $H(Y)=0$. Иными словами, неопределенность относительно состояний объекта управления в управляющей системе должна полностью отсутствовать и объект управления должен находиться в строго определенном состоянии с вероятностью, равной единице» [13, с.205].

Таким образом степень уменьшения энтропии объекта управления в процессе взаимодействия может служить количественной характеристикой при описании

внешних и внутренних информационных процессов и алгоритмов сбора и обработки информации.

Если управляемый объект характеризуется одним показателем качества y_i^l и может находиться в n состояниях y_i^l , y_2^l , … , y_i^l с вероятностью $p(y_i^l)$, $p(y_2^l)$, … , $p(y_i^l)$, то сообщение Y о том, в каком из состояний находится объект в системе с полной информацией, будет содержать количество информации, равное его энтропии:

$$H(Y) = -\sum_{i=1}^{n} p(y_i^l) \log_2 p(y_i^l) \qquad (2.5.5)$$

Для оценки состояний объекта, характеризуемого m показателями качества y^j, требуется провести суммирование и по j, j= 1,2,..., m [13, с.205].

Из теории информации также известно, что количество информации обладает двумя важными свойствами: положительностью и симметричностью.

Первое свойство свидетельствует о том, что количество информации всегда больше или равно нулю $(I \geq 0)$.

Согласно второму свойству количество взаимной информации $I(A,B)$, которое содержит принятое сообщение о посланном, равно количеству взаимной информации $I(B,A)$, которое содержит посланное сообщение о принятом:

$$I(A,B) = I(B,A).$$

Указанные характеристики информации позволяют провести анализ управляющих воздействий относительно их соответствия состояниям управляемого объекта [13, с.206].

В модели системы (рис. 2.5.1) субъект управления (СУ БТС) не может изменить состояние внешней среды, но может воздействовать на объект управления (техническую систему) – E по известным ему воздействиям среды G и состояния объекта P. Состояние объекта P влияет на состояние потребностей субъекта $A = (\alpha_1,...,\alpha_k)$, где α_i – состояние i -й потребности субъекта.

При моделировании на основе результатов анализа предметной области (параграф № 1.1 диссертации) и для учета специфики эксплуатации БТС введем

ограничение, что СУ БТС, строит свое поведение исходя из минимизации потребностей в ресурсах (*X*) при эксплуатации БТС:

$$\alpha_t(E,G) \rightarrow \min_{r \in X}(i = \overline{1,k}). \qquad (2.5.6)$$

Пусть E_x^* – решение задачи (2.5.6). Способ решения задачи (2.5.6), называется алгоритмом управления [83, 89].

$$E_x^* = \varphi(A_t, G) \qquad (2.5.7)$$

где φ – алгоритм управления в зависимости от воздействия внешней среды *G* и потребностей субъекта A_t.

Потребности субъекта A_t являются функцией времени, отражая смену приоритетов, в процессе эксплуатации БТС и зависят от изменения состояния объекта и среды (рис. 2.5.1).

Алгоритм управления φ, может быть записан в рекуррентной форме:

$$E_{N+1} = (E_N, A_t, G)$$

на каждом шаге улучшая управление

$$A_{t+1}(G, E_{N+1}) < A_t(G, E_N).$$

Синтез алгоритма управления φ, может быть разбит на две части:

$$A_t \rightarrow Z^* \rightarrow E^*.$$

На первом этапе формируются цели управления Z^*, на втором этапе по целям управления синтезируется управляющие воздействие E^*:

$$Z^* = \varphi_1(G, A_t)$$

$$E^* = \varphi_2(Z^*, G)$$

Разделение алгоритмов управления на две части φ_1 и φ_2 отражают разделение задач управления на задачи решаемые АСУ БТС и решения принимаемые ЛПР по результатам оценки качества.

Задачи управления (включая оценку качества), решаемые АСУ БТС, могут быть формализованы и выполняться программно-аппаратными средствами, в частности разработанными автором программами для ЭВМ [43, 44, 45, 46, 47].

Модель взаимодействия элементов при эксплуатации БТС представлена на рисунке 2.5.2.

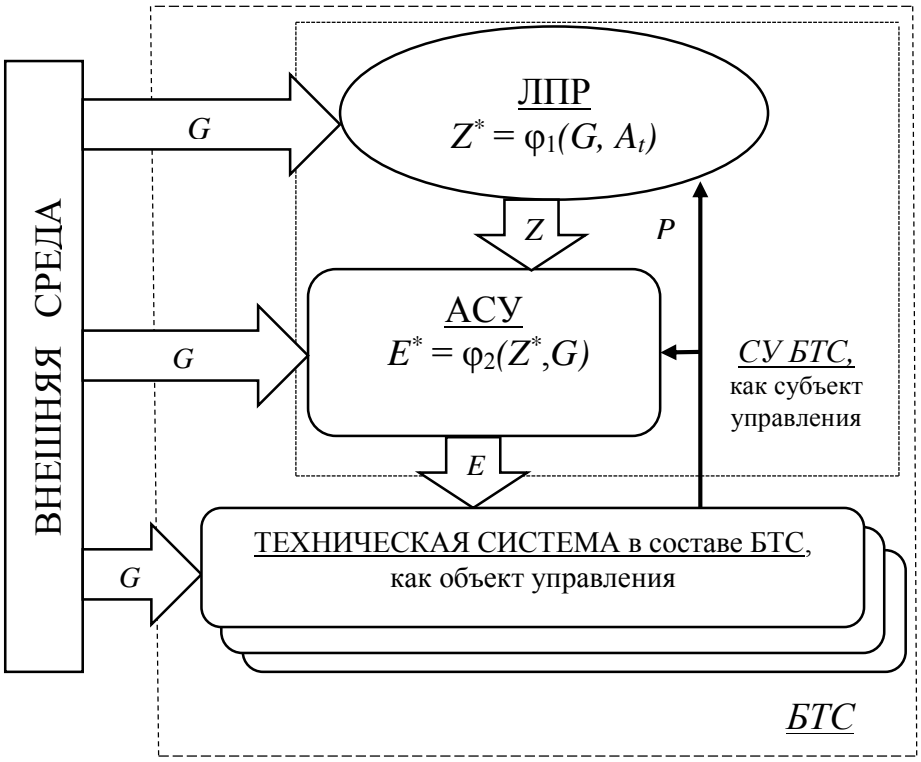


Рисунок 2.5.2. Модель взаимодействия элементов при эксплуатации БТС

В качестве комментария к рисунку 2.5.2 важно отметить, что СУ представляют собой особый класс динамических систем, отличающихся наличием самостоятельных функций и целей управления и необходимым для реализации этих функций и целей высоким уровнем специальной системной организации.

В рамках моделирования (рис. 2.5.1 и 2.5.2) для достижения цели диссертационного исследования в части разработки методик и моделей оценки качества (практическая часть исследования) рационально будет выделить восемь этапов управления [83, с.32]:

1. Формирование целей управления системами в составе БТС.

Цели управления могут определяться как по отношению к внешним

воздействиям *G*, так и к потребностям субъекта A_t.

В настоящем диссертационном исследовании рационально определить три вида целей [68, с.107]:

1.1. Стабилизация – поддержание параметров системы в заданных значениях $Z_i^* = k_i$.

1.2. Ограничения – нахождение целевых переменных в установленных интервалах $k_i^{\text{нижн.}} \le Z_i^* \le k_i^{\text{верх.}}$.

1.3. Экстремальная цель – достижение целевыми переменными максимальных значений $Z_i^* = \max(Z_i)$.

2. Определение объекта управления – оцениваемой технической системы в составе БТС.

3. Структурный синтез модели.

3.1. Определение внешней структуры модели.

3.2. Декомпозиция модели.

3.3. Определение внутренней структуры элементов модели.

4. Идентификация параметров модели объекта. Этот этап связан с определением числовых значений параметров звеньев модели.

5. Планирование эксперимента. Цель эксперимента – определить искомые параметры модели объекта управления, проверить гипотезы о структуре и параметров модели.

6. Синтез управления. Выбирается вид и параметры управляющих воздействий *E*, направленных на достижение заданных целей управления Z^*.

7. Реализация управления.

По синтезированному управлению *E* строится реальное управляющее воздействие E^*. В случае если при реализации управления с использованием E^* не достигается поставленная цель, то необходимо вернуться к предыдущему блоку для переопределения целей управления, отвечающий изменению состояния системы *P* и среды *G*.

8. Коррекция. Специфика сложных систем состоит в том, что информация, полученная на предыдущих этапах, приближенно отражает состояние системы. Изменения значений P и G может приводить к тому, что полученная на предыдущих стадиях цели управления, модель системы нуждаются в коррекции.

В этом случае осуществляется переход к выполнению соответствующие вышеперечисленных семи этапов управления БТС.

Представленная в данном параграфе динамическая модель БТС предназначена для рациональной оценки качества в процессе эксплуатации и обеспечивает описание процесса управления, как информационного процесса.

При этом в представленной модели данный информационный процесс заключается в циклическом выполнении следующих действий:

- в сборе и обработке информации о качественном состоянии систем, воздействии внешней среды, затратах ресурсах и времени, достигнутых результатах;

- принятии управленческого решения по результатам оценки эффективности и качества систем, эксплуатируемых в составе БТС;

- выработке соответствующего управляющего воздействия и доведения его до оцениваемых систем.

Таким образом, в динамической модели БТС, разработанной для рациональной оценки качества систем, отражена зависимость изменения параметров времени и расхода ресурсов на эксплуатацию от воздействий внешней среды и принимаемых управленческих решений.

В дальнейшем представленная динамическая модель БТС послужит одной из основ для разработки модели сопровождения технических систем в процессе эксплуатации (параграф 5.1), как основы составной части «ОЦЕНКА КАЧЕСТВА» этой модели (рис. 5.1.1) и модели обеспечения устойчивости БТС (параграф 3.3 диссертации).

Выводы по второй главе

В соответствии с задачей диссертации для формирования теоретического базиса достижения цели исследования сформулированы Принципы как определяющие правила в области оценки качества систем, на основе которых разработаны методы и модели, представленные в данной главе. Принципы позволяют в полной мере учитывать установленные требования, ограничения и допущения при разработке и внедрении методов и способов. Разработан метод оценки качества систем на основе построения и сравнения базовой и реальной структурно-функциональных моделей системы. Построение моделей систем и их сравнение происходит по установленным критериям, включая введение коэффициента вето. Предлагаемая единая форма разработки моделей предусматривает как учет требований к универсальности методов, так и необходимость требуемой детализации при оценке качества для наиболее полного учета специфики эксплуатации систем в составе БТС.

Метод усовершенствованных парных сравнений отличается от всех остальных вариантов методов парных сравнений систематизацией правил логических выводов для программной реализации сравнения систем с целью существенного сокращения ресурсов и времени. В данном методе предусмотрено использование специально разработанных формул и таблиц проверочных значений для проверки результатов оценки на непротиворечивость и для контроля ввода ложной информации (предупреждения ошибок).

Модифицированный метод DEA позволяет оценивать результативность и экономичность систем при снижении влияния недостатков классических методов. Принципы и методы являются новым научно обоснованным методологическим решением в сфере совершенствования управления и принятия управленческих решений, выступающим как теоретическая основа создания моделей, методик, алгоритмов, Способа, программ для ЭВМ и информационных резервов БТС.

Кроме того, возможно использование теоретической части диссертации для подготовки технических заданий на выполнение НИОКР в целях развития и совершенствования оцениваемых БТС и систем в их составе.

Глава 3. Модель и методики оценки процессов обеспечения устойчивости и вероятностных характеристик больших технических систем

3.1. Методика для анализа и оценки вероятности не выполнения большой технической системой своих функций в процессе эксплуатации

Разработка данной методики совместно с программой для ЭВМ «Расчет и анализ вероятностных характеристик системы» (далее в этом параграфе – Методика и программа) [34, 35, 44] является развитием и совершенствованием научных исследований в сфере применения биноминального закона распределения в выборках с возвратом [8, 13, 14, 159]. Теоретической основой Методики выступают работы автора [34, 35, 41, 70, 81] по развитию и совершенствованию научных исследований профессора Шишкина И.Ф. [158, 159] в области стандартизации и управления качеством.

Теоретический базис Методики.

В процессе эксплуатации современных БТС происходит постоянный контроль (рис. 2.1.4) качественного состояния технических систем (элементов, изделий в их составе. В процессе контроля происходят многократные измерения выбранного контролируемого параметра Q по шкале отношений.

В результате образуется массив экспериментальных данных путем измерения этого параметра у каждой оцениваемой системы, эксплуатируемой в составе БТС.

В другом варианте многократное измерение выполняется по шкале порядка. Это может быть, например, измерение путем сравнения с шаблоном или образом, а также измерение качества экспертным методом.

Поэтому основная теоретическая база Методики основана на выборке без возврата. Так как в процессе эксплуатации технических систем (элементов) в составе БТС каждое из них в сущности проверяется на работоспособность (исправность), так и оставаясь в составе БТС.

Таким образом, вероятность появления исправного или неисправного изделия в процессе эксплуатации будет оставаться прежней. В этом случае налицо

серия независимых измерений (проверок) по шкале порядка [41, 70].

Если обозначить через *P* вероятность появления в составе БТС неисправной технической системы (или вероятность отказа системы при эксплуатации), то вероятность появления исправной системы будет, очевидно, равна *1 – P*.

Вероятность появления *x* неисправных систем (элементов) в БТС с общим количеством технических систем – *n*, рационально рассчитать по формуле [158, 159]:

$$P_n(x) = C_n^x P^x (1-P)^{n-x} = \frac{n!}{x!(n-x)!} P^x (1-P)^{n-x} \qquad (3.1.1)$$

где C_x^n - число сочетаний из *n* элементов по *x*.

Принимающая дискретные значения при разных $x = 0, 1, \ldots, n$ функция $P_n(x)$ называется в диссертации биноминальным распределением вероятности появления в процессе эксплуатации БТС, состоящей из *n* технических систем (элементов), количества неисправных (одновременных отказов) систем (элементов) – *x*.

В этом случае результат оценки вероятности появления *x* количества неисправных элементов в системе подчиняется биноминальному закону распределения вероятности с числовыми характеристиками:

$$M(x) = nP \quad \text{и} \quad D(x) = nP(1-P)$$

Математическое ожидание доли неисправных систем в составе БТС:

$$M\left(\frac{x}{n}\right) = \frac{M(x)}{n} = P \qquad (3.1.2)$$

На практике под вероятностью *P* будем считать долю неисправных систем в составе БТС, состоящей из *N* систем. При этом $P = \frac{N_{неиспр}}{N}$.

Поэтому можно установить следующее правило принятия решения о возможности БТС выполнить задачи по предназначению и (или) достичь цели функционирования:

- при $M\left(\frac{x}{n}\right) \geq P_н$ оцениваемая БТС способна выполнить задачи по

предназначению и (или) достичь цели своего функционирования;

- при $M(\frac{x}{n}) < P_н$ оцениваемая БТС не способна выполнить задачи по предназначению и (или) достичь цели своего функционирования.

Однако, реально на практике определить величину $M(\frac{x}{n})$ невозможно [158].

Можно установить лишь в процессе эксплуатации долю неисправных систем в конкретной БТС, в составе которой есть известное количество систем – *n* [81].

Из теории известно, что эта величина отличается от $M(\frac{x}{n})$ на полуширину доверительного интервала $\varepsilon = t\sigma_{x/n}$ с некоторой доверительной вероятностью, при этом зависимость *t* (где *t* – коэффициент Стьюдента) от доверительной вероятности отличается от такой же зависимости при нормальном законе распределения.

Поэтому, будет рационально если выше сформулированное правило принятия решения будет изменено на практически реализуемое правило:

- если $\frac{x}{n} \geq P_н$, то оцениваемая БТС не способна выполнить задачи по предназначению и (или) достичь цели своего функционирования;

- если $\frac{x}{n} < P_н$, то оцениваемая БТС способна выполнить задачи по предназначению и (или) достичь цели своего функционирования.

Правило будет справедливо с вероятностью соответствующей [158, 159]:

$$t = \frac{\varepsilon}{\sigma_{x/n}} \qquad (3.1.3)$$

Если эта вероятность задана и установлена точность, с которой допускается замена $M(\frac{x}{n})$ на $\frac{x}{n}$, то есть полуширина доверительного интервала ε, то из последнего выражения можно найти необходимое количество систем *n*.

В данном случае величину *n* можно считать необходимым объемом выборки.

Тогда дисперсию доли неисправных систем в этой выборке можно рассчитать по формуле:

$$D(\frac{x}{n}) = \frac{1}{n^2} D(x) = \frac{P}{n}(1 - P) \quad (3.1.4)$$

С учетом этого, формула (5.1.2) дает следующее число систем в выборке:

$$n = \frac{P}{\varepsilon^2}(1 - P)t^2 \quad (3.1.5)$$

Входящая в формулу (3.1.5) доля неисправных или неработоспособных систем (элементов, изделий) в БТС не может быть известна заранее.

Это предполагает необходимость использования некоторой априорной информации. Данную информацию можно получить в следующих вариантах [81]:

1. Рационально исходить из того, какой эта доля была в аналогичных условиях или в наибольшей степени похожих на существующие условия эксплуатации БТС.

2. Вместо рассчитываемой величины $P(1 – P)$ в некоторых случаях целесообразно использовать наибольшее значение этого произведения, которое принимают равным 0,25 [159, с. 28].

Установленный в формуле (3.1.5) объем выборки представляет собой неслучайное число. Поэтому ранее сформулированное правило принятия решения об оценки способности БТС выполнить задачи по предназначению и (или) достичь цели своего функционирования может быть заменено более простым и усовершенствованным правилом:

- при $x \geq A_c$ устанавливаем условие, что БТС не способна выполнить задачи по предназначению и (или) достичь цели своего функционирования;

- соответственно при $x < A_c$ устанавливаем условие, что БТС способна выполнить задачи по предназначению и (или) достичь цели своего функционирования.

В данном правиле в качестве порога принято контрольное число $A_c = nP_n$. Результат измерения или наблюдения за состояние БТС – число x.

Это число x подчиняется биноминальному закону распределения

вероятности – формула (3.1.1) и выражает число неисправных систем (элементов) или число их отказов при эксплуатации составе БТС.

Если у ЛПР или ДЛ ОУ БТС возникает необходимость вычисления вероятности того, что число неисправных систем (элементов) не превышает *x*.

Такая вероятность называется накопленной, или кумулятивной, и определяется по формуле (3.1.6):

$$F_n(x) = \sum_{k=0}^{x} P_n(k) \tag{3.1.6}$$

Кумулятивная вероятность зависит от *x*, *n* и *P*.

Для организации рациональной оценки качества БТС в процессе эксплуатации целесообразно создать условия для использования небольшого объема выборки *n*. Так как в этом случае можно будет использовать простое соотношение, связывающее два соседних слагаемых в формуле (3.1.7) [158, 159]:

$$\frac{P_n(x+1)}{P_n(x)} = \frac{(n-x)P}{(1+x)(1-P)} \tag{3.1.7}$$

или, что наиболее рационально для реализации в программах для ЭВМ по формуле (3.1.8):

$$P_n(x) = \frac{P_n(1+x)^2(1-P)}{P(n-x)} \tag{3.1.8}$$

Таким образом, используя выше изложенный теоретический базис, Методика и программа были разработаны на основе Принципов и применения структурно-функциональной модели для определения функций и количества систем (элементов) – *n*, выполняющих эти функции в составе БТС [41, 70].

Как правило, небольшое общее количество систем (элементов) в составе оцениваемых БТС и требуемое количество систем, которое должно находится в эксплуатации при различных режимах (рис. 1.1.2), обуславливает то, что «разница между выборкой с возвратом и без возврата нивелируется» [159, с. 34].

Поэтому в Методике вероятность ($P_n(x)$) появления x неисправных систем в составе БТС, где n – это общее количество систем, будет рассчитываться по основной формуле (3.1.1) [159, с. 29].

Схема алгоритма Методики и работы программы для ЭВМ, реализующей данную Методику на практике, (примеры расчетов и применения программы для ЭВМ, приведены в приложении А к диссертации) представлена на рисунке 3.1.1.

Рисунок 3.1.1. Схема алгоритма рационального применения методики для анализа и оценки вероятности не выполнения БТС своих функций в процессе эксплуатации

Назначение (возможности) Методики и программы для ЭВМ [41]:

1. Для расчета действительных значений вероятности ($P_n(x)$) одновременного отказа (неисправности) количества систем *(x)* в составе БТС, при одновременном отказе (неисправности) которых объект гарантированно не выполнит свои функции (будет нарушено состояние устойчивости) в заданное время, и кумулятивной вероятности *($F_n(x)$)*. Расчеты осуществляются в зависимости от заданной вероятности отказа одной системы ($P_n(1)$) и общего количества оцениваемых систем *(n)* в составе БТС, от которых зависит устойчивое выполнение одной или нескольких функций БТС и (или) эффективность функционирования БТС за установленное время (схема – рис. 3.1.1).

2. Для анализа зависимостей вероятностных показателей оценки качества систем ($P_n(x)$ и $F_n(x)$) друг от друга, а также от вероятности отказа одной системы ($P_n(1)$) за определенный период эксплуатации и общего количества оцениваемых систем *(n)*, посредством построения таблиц и графиков (рис. 3.1.2 и 3.1.3).

3. Для определения количества систем (x и n) и требований к значениям базовых вероятностных показателей ($P_n(1)$, $P_n(x)$ и $F_n(x)$) при выполнении отдельных функций (функции) БТС или в эффективность функционирования всей БТС в установленный период эксплуатации (пример – таблица 3.1.1).

4. Для расчета и сравнения значений x, n, $P_n(1)$, $P_n(x)$ и $F_n(x)$ с их базовыми показателями (требованиями) БТС или со значениями за разные периоды функционирования БТС (например, до и после модернизации систем) или для сравнения со значениями данных показателей других аналогичных БТС.

5. Для определения «слабого звена» в сфере эффективного и устойчивого выполнения функций БТС: при выполнении какой функции БТС вероятность невыполнения функции будет наибольшей, то есть наступит тот случай, когда значение $P_n(x)$ будет наибольшим за оцениваемый период времени.

6. Для экономии времени и ресурсов на испытание количества оцениваемых систем (x и n) в реальных условиях при известном значении $P_n(1)$, за счет прогнозирования вероятности в сфере устойчивого функционирования БТС (путем построения таблиц значений $P_n(x)$ и $F_n(x)$).

Ограничения:

1. Детализация состава БТС по количеству систем ограничивается требованиями к разработке базовой структурно-функциональной модели БТС.

2. Обязательным условием выполнения Методики является наличие исходных действительных значений: вероятности отказа одной системы ($P_n(1)$) и общего количества систем (n) за оцениваемый период времени.

Допущения:

1. Применение Методики и программы возможно при условии корректного определения числа n систем в составе БТС, выполняющих заданную функцию. Иначе говоря, в Методике допускается, что любой объект (систему) можно представить в виде определенного количества (n) взаимосвязанных разнородных или однородных систем (элементов) – пример, рисунок 3.1.1.

В оцениваемых БТС первое допущение в полной мере относится к системам связи, АСУ, сигнализации и оповещения, системам электропитания, транспортным системам, аварийно-восстановительным системам, ТСО и СКУД.

2. Применение Методик и программы в отношении разнородных систем (элементов) в составе БТС наиболее рационально по «пессимистическому сценарию», то есть при расчетах выберется наибольшее значение вероятности отказа одной системы («слабое звено») – $P_n(1)_{max}$.

В качестве важного комментария стоит отметить, что второе допущение иллюстрирует самый сложный случай применения Методики, когда исследуемая система состоит из n разнородных элементов, имеющих различные значения $P_n(1)$, полученные за время исследования (проведения испытаний). Тогда для получения максимально приближенных к практике результатов целесообразно взять наибольшее значение $P_n(1)_{max}$ для расчетов по формулам (3.1.1), (3.1.6), (3.1.7) и (3.1.8). То есть учитывать наибольшую вероятность появления неисправности (выхода из строя) элемента системы, влияющего на достижение цели функционирования системы. Это позволит в наиболее полной мере учесть случайные и слабо прогнозируемые воздействия внешней среды на устойчивость оцениваемой системы [34, 35, 36, 70].

3. В системе всегда есть заданное количество элементов (x), при одновременном отказе которых система или объект выйдут из строя или не выполнят требуемую функцию (задачу) [81].

Таким образом, вероятность одновременного отказа x-числа элементов $P(x)$ можно обоснованно принять за вероятность невыполнения задачи или выхода из строя системы [41].

Например:

- восстановление j количества элементов БТС не произойдет за установленное время $\Delta t_{в}$ с рассчитываемой вероятностью $P(x)$ при наличии заданного количества (x) неготовых к эксплуатации технических средств;

- достижение цели функционирования системы возможно с рассчитываемой вероятностью $(1 – P(x))$ при наличии заданного количества $(n – x)$ работоспособных элементов (при количестве неисправных элементов x) за установленный период времени эксплуатации системы.

Назначение Методики, а также принятые допущения и ограничения позволяют сформировать схему рационального применения Методики (рис. 3.1.1) с учетом наличия информационных резервов БТС и необходимости их актуального пополнения согласно задачи диссертации.

В соответствии со схемой (рис. 3.1.1) содержание методики (программы для ЭВМ) состоит в следующем [68, с. 116]:

1. Определение исходных данных для оценки качества систем.

1.1. Формулировка цели (назначения) применения методики и программы для ЭВМ, с помощью выбора и комбинации вышеописанных пунктов 1 – 6 назначения методики. Определение периода времени эксплуатации для оценки системы. Установка требований к форме и объему представления результатов оценки качества систем.

1.2. Определение функции (функций) БТС, на устойчивость выполнения которой влияет оцениваемые системы, или установление минимально необходимого числа систем (элементов одной системы), при котором объект (система) будет находится в устойчивом состоянии требуемое время (Δt_{y}).

1.3. В зависимости от цели применения методики (п. 1-6 назначения) задать исходные значения *x*, *n*, и $P_n(1)$.

2. Выполнение расчетов.

2.1.

$$P_n(x) = C_n^x P^x (1-P)^{n-x} = \frac{n!}{x!(n-x)!} P^x (1-P)^{n-x} \qquad (3.1.1)$$

где C_n^x - число сочетаний из *n* элементов по *x*;

2.2.

$$F_n(x) = \sum_{k=0}^{x} P_n(k) \qquad (3.1.6)$$

Кумулятивная вероятность зависит от *x, n,* $P_n(x)$.

2.3. Если на практике объем *n* небольшой, то для расчета $P_n(x)$ и $F_n(x)$ рационально использовать формулу (3.1.8):

$$P_n(x) = \frac{P_n(1+x)^2(1-P)}{P(n-x)} \qquad (3.1.8)$$

3. Построение таблиц с результатами расчетов (пример – таблицы 3.1.1 и 3.1.2) и графиков зависимостей (примеры – рис. 3.1.1 и 3.1.2) [68, с. 120].

4. Оформление результатов анализа и оценки качества в форме удобной для ЛПР: в виде текстовых и (или) графических документов [70, 81].

Программа для ЭВМ представляет возможность выбора краткого отчета или развернутого отчета в формате документов Word (примеры представлены в приложении А «Примеры расчетов и применения программ для ЭВМ» диссертации).

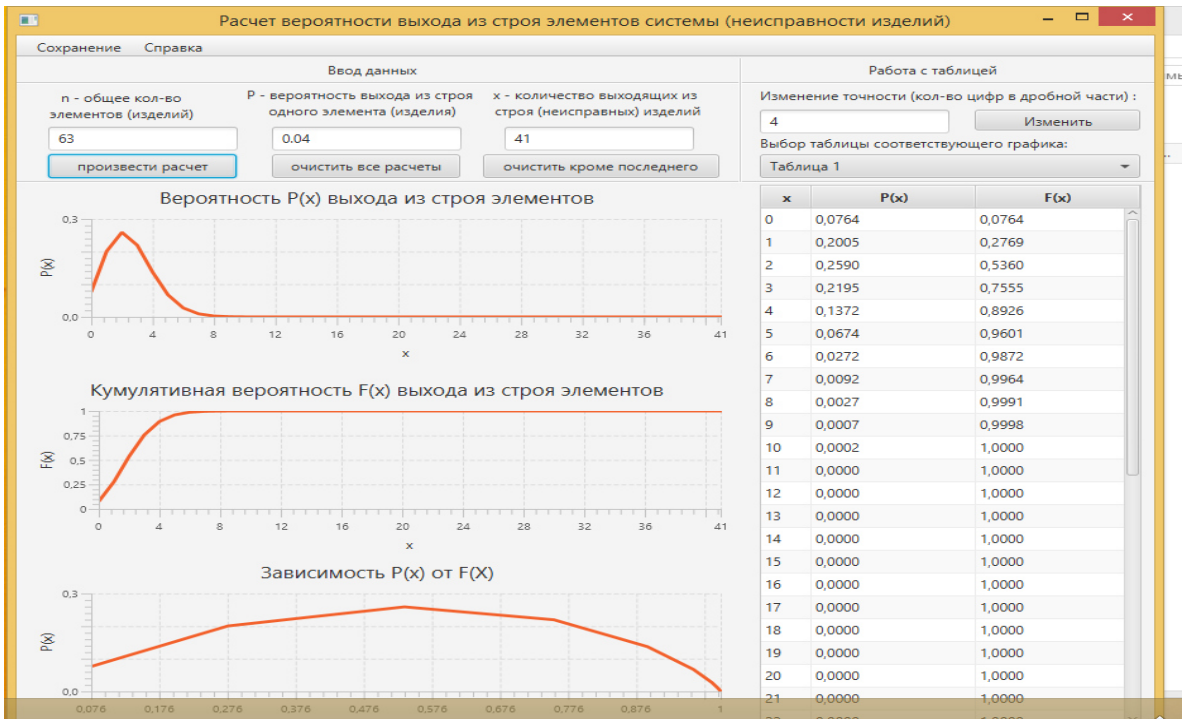


Рисунок 3.1.2. Результаты расчетов и графики для $n=63$, $x=41$, $P_n(1)=0,04$

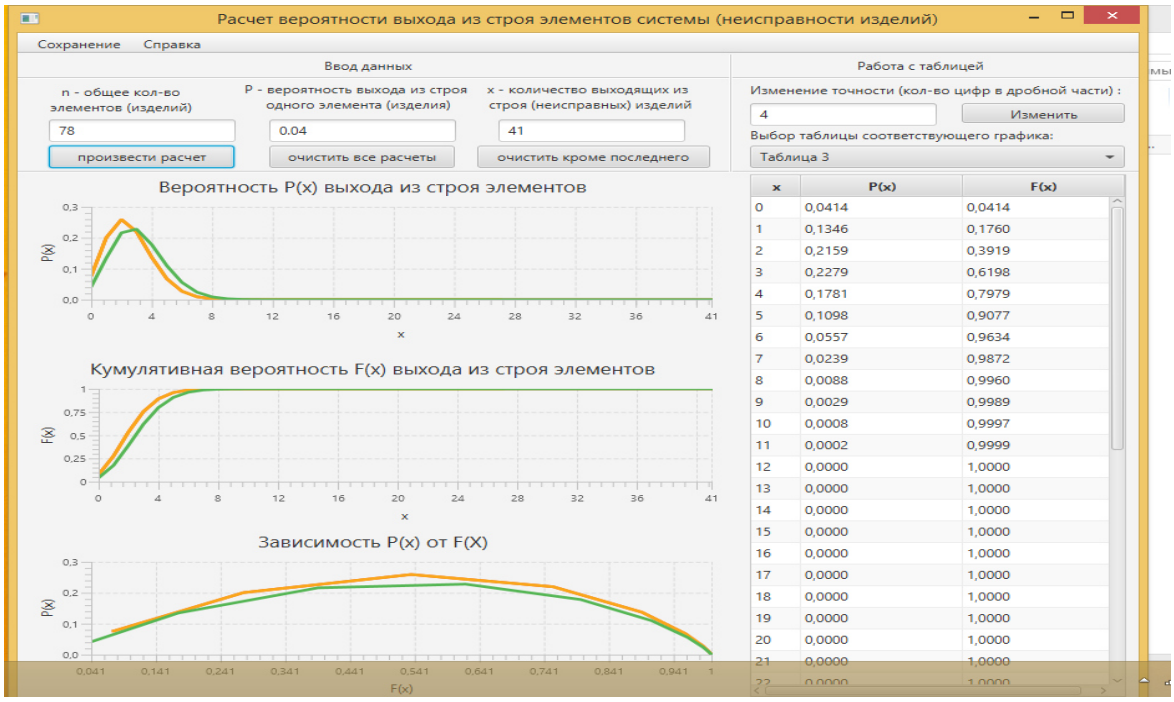


Рисунок 3.1.3. Результаты расчетов со вторым графиком, построенным при увеличении количества систем до $n=78$

Таблица 3.1.1

Исходные данные для t_0: *n=78, x=41, Pn(1)=0,04. (рис.5.1.3)*		
X	$F_0(x)$	$P_0(x)$
0	0.04141485804420176	0.04141485804420176
1	0.17601314668785747	0.13459828864365572
…	…	…
8	0.9960453727894724	0.008821680578511508
…	…	…
41	0.9999999999999999	2.6262744769388977E-36

Таблица 3.1.2

X	Исходные данные для t_0: *n=78, x=41, Pn(1)=0,04. (рис.5.1.3)*		Исходные данные для t_1: *n=63, x=41, Pn(1)=0,04. (рис.5.1.2)*		Изменение показателей за период времени функционирования БТС: $[t_0 ; t_1]$	
	$F_0(x)$	$P_0(x)$	$F_1(x)$	$P_1(x)$	$\Delta F(x)$	$\Delta P(x)$
0	0.0414	0.0414	0.0764	0.0764	*– 0,035*	*– 0,035*
1	0.1760	0.1346	0.2769	0.2005	*– 0,1009*	*– 0,0659*
…	…	…	…	…	…	…
8	0.9960	0.0088	0.9991	0.0026	*– 0,0031*	*– 0,0026*
…	…	…	…	…	…	…

5. Оценка эффективности применения методики и программы для ЭВМ с помощью программы для ЭВМ «Анализ и оценка эффективности систем» (при необходимости).

6. Выводы по результатам оценки. Представление ЛПР результатов по установленной форме и в требуемом объеме.

Дополнительно важно отметить, что программа для ЭВМ, реализующая Методику, позволяет проводить анализ вероятностно-временных характеристик отказов элементов (изделий) системы на основе первичных статистических данных, полученных за оцениваемое время эксплуатации систем.

Программа может применяться для моделирования и анализа вероятности отказов заданного числа элементов системы и кумулятивной вероятности.

Для достижения этой цели в программе предусмотрены следующие функциональные возможности: расчет вероятности отказов (неисправностей) задаваемого числа элементов системы и кумулятивной вероятности в зависимости

от общего количество отказов элементов в системе. Программа выполняет построение и сравнение графиков и таблиц, а также их сохранение и экспорт в Word и (или) в Excel.

Язык программирования: Java. Объем программы: 324 кб.

Основной положительный эффект от разработки и внедрения Методики совместно с программой для ЭВМ состоит в существенном сокращении времени и ресурсов:

- на оценку вероятности невыполнения функций системы *P(x)* в зависимости от числа поврежденных (неисправных) элементов *(x)*;

- на подготовку и оформление докладов, презентаций, отчетов и управленческих решений в сфере обеспечения устойчивости БТС (систем);

- на подготовку и проведение испытаний за счет моделирования на основе исходных данных о вероятности выхода из строя элементов системы, в этом случае экономию времени ($\Delta T_Э$) и ресурсов ($\Delta S_Э$) предлагается рассчитывать по формулам:

$$\Delta T_Э = T(n) - T(1) - T_M \qquad (3.1.9)$$

$$\Delta S_Э = S(n) - S(1) - S_M \qquad (3.1.10)$$

где *T(n)* и *S(n)* – это, соответственно, общий расход времени и ресурсов (общая стоимость затраченных ресурсов) на подготовку и проведение испытаний при эксплуатации количества систем (*n*) в составе БТС за требуемое время в заданном режиме (рис. 1.1.2);

T(1) и *S(1)* – это, соответственно, расход времени и ресурсов на эксплуатацию одной системы в составе БТС за требуемое время проведения испытаний в заданном режиме;

T(1) и *S(1)* – это, соответственно, расход времени и ресурсов на моделирование состояний БТС в зависимости от рассчитываемой вероятности отказов (неисправностей) задаваемого числа элементов системы и кумулятивной вероятности, а также подготовку отчетов.

Таким образом, формулы (3.1.9) и (3.1.10) могут быть использованы при

выполнении схемы рационального применения Методики в пункте 5 «Оценка эффективности» отдельно или совместно с программой для ЭВМ «Анализ и оценка эффективности систем» [44].

Оценка результатов внедрения Методики и программы, а также дальнейшие рекомендации по их рациональному применению для достижения цели исследования сформулированы в параграфе № 5.3 диссертации.

Недостатком предлагаемой Методики является тот факт, что не всегда может быть точно известна величина *P(1)* в заданном режиме и за требуемый период времени эксплуатации системы. Но при этом важно учитывать, что в неблагоприятных условиях функционирования устойчивость БТС и систем в его составе (далее – системы) в значительной мере зависит от скорости принятия, доведения и выполнения управленческих решений, которые, в свою очередь, являются определяющими для действительных значений временных характеристик показателей функционирования системы [41, 70].

Временные характеристики будут определять вероятность своевременного достижения цели функционирования системы, например, своевременный перевод системы в требуемые режимы эксплуатации.

Поэтому целесообразно в качестве дополнительного показателя оценки качества системы исследовать возможность оценки вероятности достижения цели функционирования системы без определения значений *P(1)* и *n.*

Данный вопрос рассмотрен в следующем параграфе № 3.2, как дополнительный инструмент усиления практической части исследования.

В заключении важно отметить, что разработка и внедрение Методики и программы, как нового научно обоснованного технического решения, привело к существенному снижению времени обработки информации при подготовки управленческих решений без затрат дополнительных ресурсов (приложение Б диссертации «Акты внедрения результатов диссертационного исследования, акты установки программ для ЭВМ и свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ»).

3.2. Методика оценки вероятности достижения цели функционирования системы

В интересах дополнительной оценки качества систем в диссертации разработана методика оценки вероятности своевременного достижения цели функционирования системы совместно с программой для ЭВМ «Расчет вероятности своевременного достижения цели функционирования системы в неблагоприятных условиях в зависимости от времени принятия и доведения управленческих решений в информационном цикле управления» (далее в этом параграфе – Методика и программа для ЭВМ) [34, 43].

Методика основана на научных работах Г.И. Азарова в области применения интегрального уравнения Вольтерра второго рода второго порядка при расчетах вероятностно-временных характеристик системы связи [2, 3].

В Методике и программе для ЭВМ использован расчет вероятности своевременного достижения цели функционирования системы с применением интегрального уравнения Вольтерра второго рода второго порядка относительно указанной вероятности [2, с. 32]:

$$P(t_н,t) = 1 - F(t_н) + \int_0^{t_н}\int_0^{t_0} P(t_н - \tau, t_0 - \Theta) dF_v(\Theta) dF(\tau) \qquad (3.2.1)$$

где $P(t_н,t)$ – вероятность своевременного достижения цели функционирования системы при условии работоспособности системы в начальный период времени;

$1 - F(t_н)$ – вероятность безотказного функционирования системы в течении времени $t_н$;

$P(t_н - \tau, t_0 - \Theta)$ – вероятность того, что система, находясь в начальный период времени в отказе, восстановит работоспособность и выполнит задачи раньше, чем будет израсходован остаток резервного времени $t_0 - \Theta$;

$dF_v(\Theta)$ – вероятность восстановления системы за время $\Theta < t_0$;

$dF(\tau)$ – вероятность первого отказа системы в момент $\tau < t_н$

Назначение Методики: расчет вероятности своевременного достижения цели функционирования системы в зависимости от времени безотказного функционирования системы, резервного времени и предельно возможного числа отказов (неисправностей) элементов в составе системы.

Разработанные Методика и программа для ЭВМ (реализующая данную Методику) могут быть использованы для обоснования управленческих решений при обеспечении оперативности управления устойчивостью системы.

Ограничение: начальное количество разбиений численных интервалов для численного моделирования N_1=100.

Допущение: точность вычислений численных расчетов – ε.

Последовательность действий при выполнении Методики (алгоритм программы для ЭВМ – второй этап Методики):

I этап. Определение и ввод исходных данных – пример, рисунок 3.2.1:

1. $t_н$ – минимально необходимое время достижения цели функционирования системы в благоприятных условиях (нет неисправностей, аварий и других деструктивных воздействий). То есть это время эксплуатации системы, когда нет отказов (неисправностей элементов), влияющих на достижение цели.

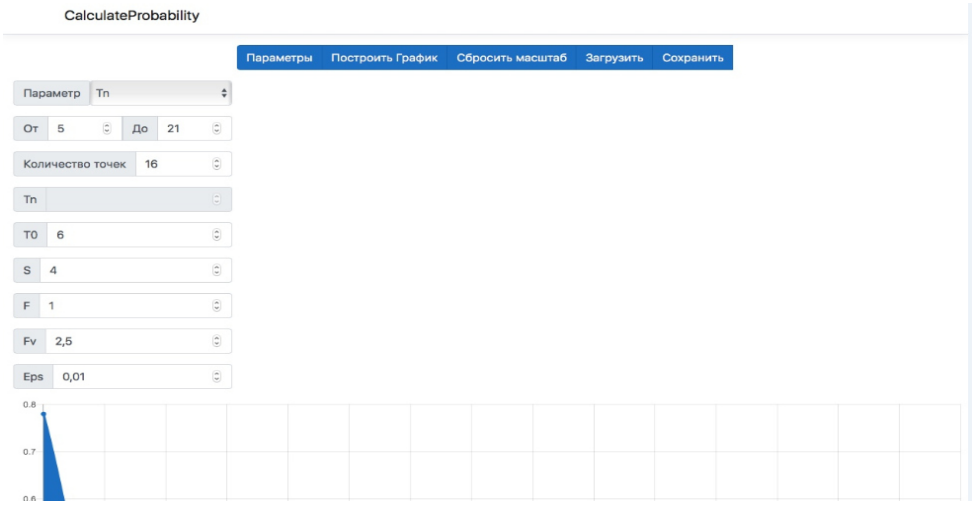


Рисунок 3.2.1. Начало работы с программой: ввод данных

2. t – требуемое (установленное) время достижения цели функционирования системы, при этом должно соблюдаться условие: $t \geq t_н$, значение t в программу для расчетов (второй этап Методики) не вводится.

3. t_0 – резервное время, рассчитывается как разность между значениями требуемого времени (t) и минимально необходимого времени ($t_н$): $t_0 = t - t_н$.

4. S – предельное число отказов, в виде совокупности повреждений, неисправностей, недостатка ресурсов и последствий несвоевременных и (или) неправильных и (или) несвоевременных управленческих решений, негативно влияющих на достижение цели функционирования системы.

5. Параметры функций распределения F и F_v.

II этап. Выполнение расчетов с помощью программы для ЭВМ (алгоритм):

1. Ввод значений $t_н$, t_0, S, F и F_v.

2. Разбиение диапазонов [0, $t_н$] и [0, t_0] равномерно на 100 отрезков, так как принято, что N_1=100.

3. В узлах t_n вычисление значений параметров функций распределения F и F_v, $n = \overline{0, N}$:

$F(t_n) = F(n) = 1 - e^{-\lambda t_n}$, на отрезке [0, $t_н$]

и $F_v(t_n) = F_v(n) = 1 - e^{-\mu t_n}$, на отрезке [0, t_0].

Аналогично происходит расчет значений производных указанных функций в узлах t_n на соответствующих временных интервалах.

4. Расчет значений функций в узлах t_n: $P_0(t_H) = 1 - F(t_H)$ и $P_{v0}(t_0) = F_v(t_0)$.

5. В узлах t_n на отрезке [0, $t_н$] расчет значения $P_i(n)$, $i = \overline{1, S}$, $n = \overline{0, N}$:

$$P_i(n) = \sum_{k=0}^{n} (P_{i-1}(n-k) F'(k)) \omega h,$$

где $\omega = \begin{cases} 0.5, \text{ для } k = 0 \text{ и } k = n \\ 1, \text{ для остальных } k \end{cases}$ – веса численного интегрирования методом

трапеций, *h*-шаг между узлами t_n [117, 134].

6. В узлах t_n на отрезке [0, t_0] расчет значения $F_{vi}(n)$, $i=\overline{1,S}$, $n=\overline{0,N}$:

$$F_{vi}(n)=\sum_{k=0}^{n}(F_{vi-1}(n-k)F_v^{/}(k))\omega h,$$

где $\omega=\begin{cases}0.5, \text{ для } k=0 \text{ и } k=n\\ 1, \text{ для остальных } k\end{cases}$ – веса численного интегрирования методом трапеций, *h*-шаг между узлами t_n.

7. По завершению шагов 2-6 вычисляется результат $P(t_н,t_0)=\sum_{k=0}^{S}P_k(t_H)F_{vk}(t_0)$ и происходит проверка точности выполненных расчетов с параметром ε. Если полученные значения не удовлетворяют заданной точности, то $N_2=N_1+N_1$ и пункты 2-7 повторяются со значением N_2, пока не будет достигнута установленная точность ε [117, 118].

8. Вывод значения $P(t_н,t_0)$.

III этап. Представление результатов оценки ЛПР в виде таблицы 3.2.1 и (или) в виде графика – пример, рисунок 3.2.2.

Таблица 3.2.1.

Результаты оценки вероятности
достижения цели функционирования системы ($P(t_н,t)$)

Число отказов, S	Варианты значений временных характеристик (ед. измер.)								
	1 вариант			…			*j* вариант		
	$t_{н1}$	t_{01}	$P_1(t_н,t_0)$	…	…	…	$t_{нj}$	t_{0j}	$P_j(t_н,t_0)$
1				…	…	…			
2				…	…	…			
…				…	…	…			
i				…	…	…			

В программе для ЭВМ применяется язык программирования: C#.

Объем программы: 392 Кб [43].

Основной положительный эффект: существенное сокращение времени оценки вероятности достижения цели функционирования системы в

неблагоприятных условиях, ясный физический смысл вводимых переменных и возможность анализа зависимости увеличения вероятности достижения цели системой при уменьшении времени принятия правильных управленческих решений за счет применения методов и способов.

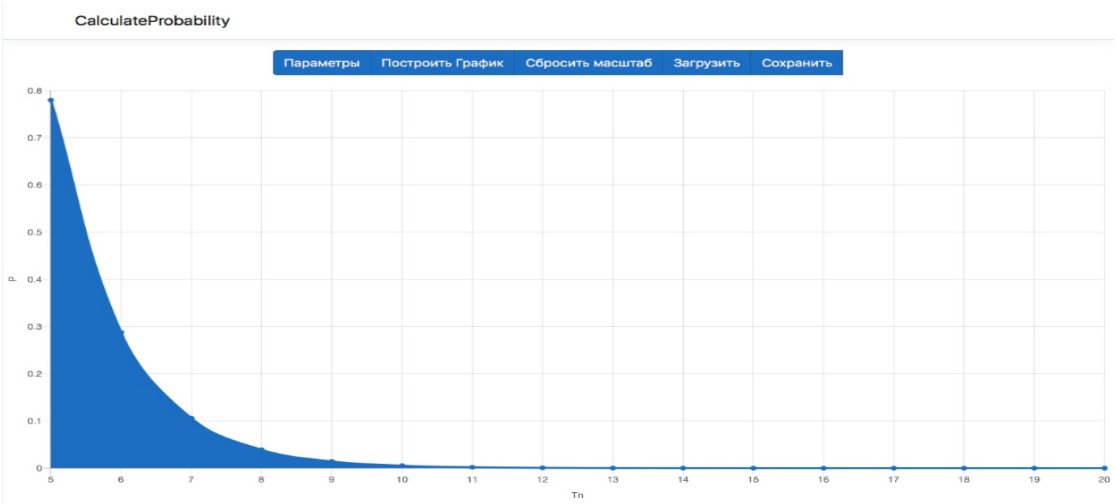


Рисунок 3.2.2. Построение графика

зависимости значений $P(t_н, t_0)$ от $t_н$ при S=4

Методика и программа могут быть применимы в учебных целях, при моделировании динамики развития ситуации в БТС при неблагоприятных условиях в зависимости от числа отказов. Но при этом на практике достаточно сложно точно спрогнозировать вводимые значения переменных (за исключением требуемого времени достижения цели) при влиянии деструктивных воздействий.

Кроме того, в этой методике отсутствует зависимость своевременного достижения цели от затраченных ресурсов, а это особенно важно для оцениваемых БТС.

Таким образом, для достижения цели исследования методику и программу для ЭВМ целесообразно рассматривать в качестве дополнительного инструмента усиления основной методики оценки вероятностных характеристик, представленной ранее в параграфе № 3.1 диссертации.

3.3. Модель обеспечения устойчивости большой технической системы

Постановка задачи диссертационного исследования, взаимосвязь элементов теоретической и практической частей работы (рис. 1.4.2), а также научные исследования в вопросах устойчивости [119, 144] и методологического обеспечения управления [116, 121, 131, 136, 195] обосновывают использование подходов к построению структурно-функциональной модели БТС (параграф № 2.2 диссертации) при разработке модели обеспечения устойчивости БТС [35, 36, 38, 76] (далее в данном параграфе – Модель).

При этом научные и учебно-методические работы автора [22, 69, 75, 76, 83] дают возможность разработки Модели путем системного подхода к оценке влияния неблагоприятных условий на устойчивость БТС, учету потерь БТС, расхода ресурсов и времени на восстановление.

В теории подобные математические модели могут быть как детерминированные, так и стохастические, описывающие процесс сохранения ресурсов БТС и своевременного развертывания (ввода в эксплуатацию) элементов (изделий) системы.

В детерминированных моделях все факторы, оказывающие влияние на развитие ситуации принятия решения, однозначно определены и их значения известны в момент принятия решения.

Стохастические модели предполагают наличие элемента неопределенности, учитывают возможное вероятностное распределение значений факторов и параметров, определяющих развитие ситуации [39, 100].

Следует отметить, что детерминированные модели, с одной стороны, являются более упрошенными, поскольку не позволяют достаточно полно учитывать элемент неопределенности. Однако детерминированные модели позволяют учесть многие дополнительные факторы (важные для ЛПР в процессе эксплуатации БТС), зачастую недоступные стохастическим моделям. С учетом заданных ограничений на разработку методов и способов в нашей предметной области целесообразно брать за основу именно детерминированные модели, так

как на практике нормативно-правовое регулирование процесса эксплуатации БТС предопределяет необходимость ЛПР принимать решения на основе действительных значений заданных показателей качества, определяемых непосредственно в процессе эксплуатации БТС [39, 76, 162].

Таким образом, предлагаемая Модель представляет собой математическое описание состояний устойчивости БТС, критериев и возможностей БТС к восстановлению [36, 38, 69]. Форма представления Модели – в виде взаимосвязанных систематизированных табличных форм (табл. 3.3.1 – 3.3.6) и выводов.

Назначение модели:

1. Анализ изменений состояний устойчивости систем в неблагоприятных условиях функционирования.

2. Прогнозирование состояния систем в зависимости от последствий воздействия различных неблагоприятных факторов.

3. Повышение обоснованности управленческих решений по созданию резервов систем, запасов ресурсов, подготовки специалистов, а также формированию базовых требований к значениям показателей качества систем в сфере обеспечения устойчивости БТС в процессе эксплуатации [82, с. 33].

Ограничение при применении модели:

1. Модель применима совместно со структурно-функциональной моделью БТС (системы) при условии, что оцениваемый объект, при требуемой детализации, можно представить в виде множества элементов, выполняющих соответствующие функции БТС.

2. Модель применима, если обозначенное (п.1 данных ограничений) множество элементов, выполняющих соответствующие функции БТС, можно корректно разделить на три группы элементов:

- элементы, находящиеся в постоянной эксплуатации (готовности);

- элементы, находящиеся в резерве и готовые к вводу в эксплуатацию;

- неисправные элементы, подлежащие восстановлению.

3. Для корректной оценки устойчивости БТС при сравнении с устойчивостью

других БТС, а также с базовыми значениями устойчивости (при их наличии) при применении модели рекомендуется не учитывать пополнение персонала и запасов ресурсов.

4. В Модели исследуются лишь последствия деструктивных воздействий на объект и при этом не рассматриваются сами конкретные деструктивные воздействия (аварии, природные и техногенные катастрофы, действия злоумышленников, ошибки персонала и т.д.).

Допущения:

1. В начальный момент времени (t_0) объект устойчив, известны его исходные значения показателей и установлены критерии устойчивости.

2. В Модели системы представлены как элементы БТС, которые могут выходить из строя, получать повреждения и быть неисправными вследствие деструктивных воздействий.

3. В зависимости от степени детализации структурно-функционального представления оцениваемой БТС принимаются максимальные значения времени, трудозатрат и расхода ресурсов на восстановление одного элемента, выполняющего функцию (функции) БТС, то есть рассматривается пессимистический сценарий развития событий вследствие деструктивных воздействий на объект в неблагоприятных условиях. Данное допущение позволяет учитывать слабо прогнозируемые события при эксплуатации БТС в неблагоприятных условиях.

Модель позволяет учитывать изменение исходных показателей функционирования систем в зависимости от результатов воздействия неблагоприятных условий [39, 70]. Для этого Модель включает в себя совокупность взаимосвязанных таблиц, содержащих метрику показателей (2 и 3 столбцы табл. 3.3.1), описание требований, критериев и динамику изменений основных показателей: время устойчивого функционирования, ресурсы, количество подсистем (элементов), количество персонала, трудозатраты, неисправности, возможности системы к восстановлению и результаты восстановления – таблицы 3.3.1 – 3.3.6. [82, с. 34]

Таблица 3.3.1

Минимально необходимые типовые требования
по обеспечению устойчивого функционирования БТС
за период времени (Δt_y) _____ (сутки)
и критерии определения устойчивости БТС

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение показателя	Единица измерения	Количественное значение и критерии определения устойчивости БТС
1	Количество систем, находящихся в непрерывной эксплуатации (готовности)	N_{min}	комплект	Если $N > N_{min}$, то объект устойчив, если $N < N_{min}$, то объект не устойчив, если $N = N_{min}$, то объект на границе своей устойчивости.
2	Количество систем, находящихся в резерве	$n_{p.min}$	комплект	Если $n \geq n_{p.min}$, то объект устойчив; если $n < n_{p.min}$, то объект на границе своей устойчивости; если $n_{p.min} = 0$, то объект не устойчив.
3	Общее количество систем, в составе БТС	$N_{общ.min}$	комплект	$N_{общ.min} = N_{min} + n_{p.min}$ Если $N > N_{общ.min}$, то объект устойчив, если $N < N_{общ.min}$, то объект не устойчив, если $N = N_{общ.min}$, то объект на границе своей устойчивости.
4	Минимальное количество персонала необходимое для эксплуатации БТС	$L_{эк.\ min}$	специалист	Если $L_{эк.} > L_{эк.\ min}$, то объект устойчив, если $L_{эк.} < L_{эк.\ min}$, то объект не устойчив, если $L_{эк.} = L_{эк.\ min}$, то объект на границе своей устойчивости.
5	Электроэнергия, минимально необходимая потребляемая мощность для нормального функционирования БТС	W_{min}	кВт/час	Если $W = W_{min}$, то объект устойчив и потребление электроэнергии в норме. Если $W > W_{min}$, то объект устойчив, но потребление электроэнергии выше нормы. Если $W < W_{min}$ ($W=0$), то объект не устойчив и потребление электроэнергии ниже нормы (или отсутствует, то есть $W=0$).

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение показателя	Единица измерения	Количественное значение и критерии определения устойчивости БТС
6	Запасы ГСМ	G_{min}	литр	Если $G > G_{min}$, то объект устойчив, если $G < G_{min}$, то объект не устойчив, если $G = G_{min}$, то объект на границе своей устойчивости.
7	Запасы ЗИП	Z_{min}	комплект	Если $Z > Z_{min}$, то объект устойчив, если $Z < Z_{min}$, то объект не устойчив, если $Z = Z_{min}$, то объект на границе своей устойчивости.
8	Запасы других ресурсов, необходимых для производства продукции (для БТС промышленности) и (или) для поддержания требуемого состояния	$X_{n\ min}$	принятые ед. изм. др. ресурсов	Если $X > X_{min}$, то объект устойчив, если $X < X_{min}$, то объект не устойчив, если $X = X_{min}$, то объект на границе своей устойчивости.
9	Бюджет эксплуатации и ремонтно-восстановительных работ БТС	S_{min}	тысяч рублей	Если $S > S_{min}$, то объект устойчив, если $S < S_{min}$, то объект не устойчив, если $S = S_{min}$, то объект на границе своей устойчивости.
10	Минимально требуемый результат функционирования БТС: количество выпущенной продукции, оказанных услуг и (или) поддержание в готовности требуемого количества систем (N_{min})	Y_{min} или N_{min} (п.1 таблицы)	Для Y_{min} принятые ед. изм. продукции (услуг) или для N_{min} комплект	Если $Y \geq Y_{min}$, то объект устойчив, если $Y < Y_{min}$, то объект не устойчив.
11	Количество транспортных средств (техники)	D_{min}	Шт.	Если $D > D_{min}$, то объект устойчив, если $D < D_{min}$, то объект не устойчив, если $D = D_{min}$, то объект на границе своей устойчивости.
12	Количество источников резервного электр. питания для систем, находящихся в непрерывной эксплуатации (готовности)	A_{min}	Шт.	Если $A > A_{min}$, то объект устойчив, если $A < A_{min}$, то объект не устойчив, если $A = A_{min}$, то объект на границе своей устойчивости.

В разработанной Модели описание состояния устойчивости БТС в любой момент времени t_i происходит с помощью систематизированных значений выбранных показателей качества функционирования БТС (системы) с последующей оценкой значений этих показателей в соответствии с заданными критериями (таблица 3.3.1) [69, 76].

Критерии отражают специфику эксплуатации БТС и требования по достижению цели его функционирования. Расчет значений показателей качества (таблица 3.3.1) в момент времени t_i производится по формуле:

$$K_i = K_{i-1} - K_{ni} + K_{вi} \qquad (3.3.1)$$

где K_i – значение показателя качества в момент времени t_i;

K_{i-1} – предыдущее значение показателя качества БТС (системы) перед наступлением момента времени t_i, то есть в момент времени t_{i-1};

$K_{вi}$ – количественное значение, выражающее увеличение запасов ресурсов и количества восстановленных элементов БТС (системы), то есть увеличение значения показателя качества к моменту времени t_i;

K_{ni} – количественное значение, выражающее потери ресурсов и потери (неисправности) элементов БТС (системы), то есть уменьшение значения показателя качества к моменту времени t_i или за период времени:

$$\Delta t_i = t_i - t_{i-1} \qquad (3.3.2)$$

В Модели основная величина, характеризующая влияние качества систем на устойчивость БТС – это количество времени (Δt_y), в течение которого объект способен устойчиво функционировать в неблагоприятных условиях без поступления внешних ресурсов и при одинаковом количестве ресурсов, имевшихся у БТС в исходном состоянии (табл. 3.3.3), то есть до начала воздействия неблагоприятных условий:

$$\Delta t_y = t_i - t_0 \qquad (3.3.3)$$

где t_0 – время начала воздействия неблагоприятных условий на объект и (или) на систему в его составе.

Таким образом, Δt_y обоснованно можно считать основным показателем качества при оценке качества (сравнении) различных систем в сфере устойчивости аналогичных БТС, функционирующих в одинаковых неблагоприятных условиях, или при оценке качества систем одного БТС до и после модернизации.

На основании вышеизложенного целесообразно разработать критерий оценки устойчивости БТС, состоящий в том, что в любой момент времени t_i в оцениваемый период времени Δt_y:

$$K_i \geq K_{imin} \qquad (3.3.4)$$

где K_{imin} – минимально допустимое значение показателя в момент времени t_i.

Объект устойчив, если в любой момент оцениваемого периода времени значение выбранного показателя качества больше или равно своему минимально допустимому значению.

На основании формулы (3.3.4) в таблице 3.3.1 систематизированы общие критерии оценки устойчивости БТС по основным показателям оценки качества БТС в сфере его устойчивости.

Формула (3.3.4) подразумевает вывод критерия оценки возможностей БТС по обеспечению своей устойчивости за счет восстановления своих неисправных (поврежденных) элементов (запасов ресурсов):

$$K_{вi} \geq K_{ni} \qquad (3.3.5)$$

Объект устойчив, если в любой момент оцениваемого периода времени значение ($K_{вi}$), выражающее увеличение запасов ресурсов и количества восстановленных элементов БТС (системы), больше или равно значению (K_{ni}), которое выражает потери ресурсов и потери (неисправности) элементов БТС (системы) [39].

То есть для обеспечения своей постоянной устойчивости система должна вовремя восстанавливать свои потери, в соответствии с установленными требованиями – таблица 3.3.2.

Таблица 3.3.2

Требования по затратам ресурсов на восстановление устойчивого функционирования БТС (проведение ремонтно-восстановительных работ)

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение показателя	Единица измерения	Количественное значение
1	Трудозатраты на восстановление 1 элемента системы	E_1	человекочасы	
2	Затраты количества ЗИП на восстановление 1 элемента системы	Z_1	комплект	
3	Затраты ГСМ на восстановление 1 элемента системы	G_1	литр	
4	Затраты других ресурсов на восстановление 1 элемента системы	X_1	принятые ед. изм. др. ресурсов	
5	Стоимость восстановления 1 элемента	S_1	тысяч рублей	
6	Количество специалистов в одной РВБ для восстановления 1 элемента БТС	L_1	специалисты	
7	Время восстановления 1 элемента	T_1	часы	
8	Количество транспортных средств (техники) для восстановления 1 элемента	D_1	шт.	

Поэтому на устойчивость влияет время восстановления систем – элементов БТС, от которых зависит достижение цели функционирования [82, с. 35].

Минимальное количество времени на восстановление n систем БТС (T_{nmin}) будет всегда равно минимально возможному времени восстановления одной системы (T_{1min}):

$$T_{nmin} = T_{1min} \qquad (3.3.1)$$

Данное равенство возможно при условии, что число ремонтно-восстановительных бригад (j) с количеством персонала, равным или большим максимально необходимому количеству специалистов для восстановления одной системы (элемента) (L_{1max}), будет больше или равно количеству элементов (n), нуждающихся в восстановлении (проведении ремонтно-восстановительных работ).

Отсюда можно математически выразить условие восстановление БТС в кратчайшие сроки – T_{nmin}:

$$T_{nmin} = T_{1min} \text{ при } j \geq n, \quad \text{где} \quad j = \frac{L}{L_{1max}} \qquad (3.3.2)$$

Значит, при соблюдении вышеназванного условия $j \geq n$ число j будет характеризовать количество систем в составе БТС, которые возможно восстановить силами персонала БТС за минимально возможное время:

$$T_{nmin} = = T_{1min}.$$

То есть по сути это будет скорость восстановления БТС при условии наличия достаточного количества запасов ЗИП, ГСМ и других необходимых ресурсов (табл. 3.3.2).

Таблица 3.3.3

Затраты времени на восстановление 1 системы (элемента) БТС (проведение ремонтно-восстановительных работ) в зависимости от привлеченного количества специалистов при требуемых максимальных трудозатратах (E_1) _____ чел/час

Требуемые трудозатраты на восстановление 1 элемента БТС (чел/час)	Количество специалистов, L_1. В возможных пределах значений: от L_{1min} до L_{1max} с шагом $\Delta L=1$	Затраты времени, T_{1i} (часы)
E_1	$L_1=L_{1min}$	$T_{1max}= E_1/ L_{1min}$
	…	…
	$L_1=L_{1i}$	$T_{1i}= E_1/L_{1i}$
	…	…
	$L_1 \geq L_{1max}$	$T_{1min}= E_1/ L_{1max}$

Соответственно, чем меньше минимально возможное по техническому регламенту время восстановления системы (табл. 3.3.3) и ниже трудозатраты и расходы ресурсов на восстановление этой системы (табл. 3.3.2), тем меньшее количество времени и специалистов необходимо для ремонтно-восстановительных работ. Значит, повышается устойчивость БТС за счет более быстрого восстановления неисправных (поврежденных) систем. При этом важно заметить, что количество специалистов в одной ремонтно-восстановительной бригаде (РВБ) для восстановления одной системы, значения трудозатрат на восстановление и время восстановления одной системы как правило берутся из технической документации в соответствии с технологиями и регламентами ремонтно-восстановительных работ (РВР) или находятся опытным путем [39].

Таблица 3.3.4

Исходное состояние и возможности БТС
в момент времени начала воздействия неблагоприятных условий (t_0)

№ п/п	Наименование показателя (K_0), $K_0 \geq K_{min}$	Обозначение показателя	Единица измерения	Количественное значение
1	Количество систем, находящихся в непрерывной эксплуатации (готовности)	N_{01}	комплект	
2	Количество систем, находящихся в резерве	n_{0p}	комплект	
3	Общее количество систем	$N_{общ.min}$	комплект	$N_{общ}=N_{01} + n_{0p}$
4	Количество персонала	$L_{эк.0}$	специалист	
5	Электроэнергия, потребляемая мощность	W_{min0}	кВт/час	
6	Запасы ГСМ	G_0	литр	
7	Запасы ЗИП	Z_0	комплект	
8	Запасы других ресурсов, необходимых для производства продукции (для БТС в промышленности) и (или) для поддержания требуемого состояния БТС	X_{n0}	принятые ед. изм. др. ресурсов	
9	Бюджет эксплуатации и РВР БТС	S_0	тысяч рублей	
10	Результат функционирования БТС: количество выпущенной продукции, оказанных услуг и (или) поддержание в готовности требуемого количества систем (N_{01})	Y_0 или N_{01} (п.1 таблицы 3.3.1)	принятые ед. изм.	
11	Количество транспортных средств (техники)	D_0	Шт.	
12	Количество источников резервного электр. питания	A_0	Шт.	

На практике обычно привлечение большего количества специалистов не целесообразно, а уменьшение положенного по технологии ремонта времени восстановления ухудшает качество РВР и повышает риск повторной неисправности системы [39].

Исключение могут составлять охрана БТС, обеспечение безопасности, погрузочно-разгрузочные работы, РВР и аварийно-спасательные работы, связанные с разбором завалов, установкой опор и креплений, земляными работами

и т.д. Перечисленные виды работ не входят в предметную область настоящего диссертационного исследования.

Таким образом, с учетом вышеизложенного и на основании таблиц 3.3.2 и 3.3.3 рационально рассчитывать затраты времени и ресурсов на восстановление $n_{\text{п}}$ неисправных систем БТС (требуемые трудозатраты $E_n=n_{\text{п}}E_1$) в зависимости от привлеченного количества специалистов при требуемых трудозатратах на восстановление одного элемента (E_1).

То есть разработанная Модель при количестве систем (элементов), n позволяет рассматривать диапазон количественных значений:

от 1 до n, с шагом $\Delta n=1$.

При этом моделирование состояний устойчивости БТС доказывает и определяет, что ее показателями качества в сфере обеспечения устойчивости будут являться:

1. Время восстановления системы (T_{1min}).

2. Трудозатраты (E_1).

3. Расход ресурсов (X_1) на проведение ремонтно-восстановительных работ при повреждении технических систем (элементов) в составе БТС [82, с. 35].

Соответственно, чем меньше минимально возможные по техническому регламенту время и расходы ресурсов на восстановление системы и ниже трудозатраты на восстановление этой системы, тем меньшее количество времени и специалистов необходимо для ремонтно-восстановительных работ.

Значит улучшение значений показателей T_{1min}, E_1, X_1 повышает устойчивость БТС за счет более быстрого восстановления неисправных (поврежденных) систем.

На основе вышеизложенного в Модели состояние устойчивости БТС в любой момент времени (t_i) описывается путем заполнения таблицы 3.3.5.

Таблица 3.3.5.

Состояние устойчивости БТС
в момент времени (t_i) после начала воздействия неблагоприятных условий,
где $t_i = t_0 + \Delta t_i$

№ п/п	Наименование показателя (K_i)	Обозначение показателя	Единица измерения	Колич. значение	Оценка устойчивости на основании критериев в таблице 3.3.1.
1	Количество систем, находящихся в непрерывной эксплуатации (готовности)	N_{i1}	комплект		Т 3.3.1.
2	Количество систем, находящихся в резерве	n_{ip}	комплект		Т 3.3.1.
3	Общее количество систем, в составе БТС	$N_{iобщ.}$	комплект		Т 3.3.1.
4	Количество персонала	$L_{iэк.}$	специалист		Т 3.3.1.
5	Электроэнергия, потребляемая мощность для функционирования БТС	W_i	кВт/час		Т 3.3.1.
6	Запасы ГСМ	G_i	литр		Т 3.3.1.
7	Запасы ЗИП	Z_i	комплект		Т 3.3.1.
8	Запасы других ресурсов	X_{in}	принятые ед. изм.		Т 3.3.1.
9	Бюджет эксплуатации и РВР БТС	S_i	тысяч рублей		Т 3.3.1.
10	Результат функционирования БТС: количество выпущенной продукции, оказанных услуг и (или) поддержание в готовности требуемого количества систем (N_{min})	Y_{min} или N_{min} (п.1 таблицы 3.3.1)	принятые ед. изм.		Т 3.3.1.
11	Количество транспортных средств (техники)	D_i	Шт.		Т 3.3.1.
12	Количество источников резервного электр. питания	A_i	Шт.		Т 3.3.1.

Таблица 3.3.5 заполняется на основании описания исходного состояния БТС (K_0) в момент времени (t_0) – таблица 3.3.4, а также информации об БТС, систематизированной ранее в таблицах 3.3.1, 3.3.2 и 3.3.3.

Момент времени $t_i = t_0 + \Delta t_i$, где Δt_i – время воздействия на БТС

неблагоприятных условий (деструктивных воздействий), в результате которых объект несет какие-либо потери: персонала, систем, ресурсов [69, 76].

Динамика изменений состояний устойчивости описывается в Модели путем построения таблицы 3.3.6. Представлен пессимистический вариант – БТС в автономном режиме и эл. питание от внешних источников невозможно.

Таблица 3.3.6.

Изменение состояния БТС и оценка его устойчивости в результате воздействия неблагоприятных условий на БТС в моменты времени t_i при условии $Y= N_{min}$ и в момент времени t_1 $W_1=0$ (автономный режим)

№ п/п	t_0	t_1		…		t_i	
	K_0	K_1	Оценка устойчивости	…	…	K_i	Оценка устойчивости
1	N_0	N_{11}	Т 3.3.1.	…	…	N_{i1}	Т 3.3.1.
2	n_{0p}	n_{1p}	Т 3.3.1.	…	…	n_{ip}	Т 3.3.1.
3	$N_{0общ}$	$N_{1общ}$	Т 3.3.1.	…	…	$N_{iобщ}$	Т 3.3.1.
4	$L_{0эк}$	$L_{1эк}$	Т 3.3.1.	…	…	$L_{iэк}$	Т 3.3.1.
5	Z_0	Z_1	Т 3.3.1.	…	…	Z_i	Т 3.3.1.
6	G_0	G_1	Т 3.3.1.	…	…	G_i	Т 3.3.1.
7	X_0	X_1	Т 3.3.1.	…	…	X_i	Т 3.3.1.
8	S_0	S_1	Т 3.3.1.	…	…	S_i	Т 3.3.1.
9	D_0	D_1	Т 3.3.1.	…	…	D_i	Т 3.3.1.
10	N_{min}	N_1	Т 3.3.1.	…	…	N_i	Т 3.3.1.
11	A_0	A_1	Т 3.3.1.	…	…	A_1	Т 3.3.1.
12	W_{0min}	W_1=0	W=0, БТС в автономном режиме: потребление от внешних источников эл. питания невозможно				

В таблицах 3.3.5 и 3.3.6 количественные значения показателей (K_i) в момент времени t_i рассчитываются по формуле (3.3.1). На основании полученных количественных значений показателей (K_i) в последнем столбце таблицы 3.3.5 и, соответственно, в столбце «Оценка устойчивости» таблицы 3.3.6 оценивается устойчивость БТС в момент времени t_i по критериям, ранее установленными для оцениваемой БТС в таблице 3.3.1 – обозначение «Т 3.3.1.».

В идеале при моделировании состояний устойчивости БТС в любой момент времени t_i оцениваемый объект должен быть устойчив в любых неблагоприятных условиях, то есть должны выполняться условия, выраженные формулами (3.3.4) и (3.3.5), тогда будет выполняться равенство: $\Delta t_i = \Delta t_y$.

Полученные в результате моделирования (или испытаний) устойчивости БТС значения Δt_y рационально использовать при подготовке и обосновании управленческих решений второго типа в модели сопровождения систем в процессе эксплуатации (параграф № 5.1), в части касающихся совершенствования эксплуатации и ТО систем, а также в вопросах подготовки персонала [39].

Анализ результатов моделирования позволяет обоснованно использовать положительный опыт в обеспечении устойчивости БТС, которые функционировали большее количество времени в одинаковых неблагоприятных условиях, при заданных одинаковых затратах ресурсов и имевших одинаковый состав оцениваемых систем.

Выводы по моделированию, формулы и таблицы, разработанные в составе Модели, далее применяются в параграфе № 3.4 диссертации при разработке методики оценки устойчивости БТС и программы для ЭВМ «Оценка устойчивости систем». Пример представлен в приложении А к диссертации.

Рекомендации по рациональному применению Модели изложены в параграфе № 5.3 диссертации.

Таким образом, Модель представляет собой новое научно обоснованное технологическое решение, внедрение которого позволяет моделировать состояния устойчивости БТС, вследствие воздействия неблагоприятных условий которые реально невозможно или не рационально создать на практике. Эта возможность Модели дополнительно усиливает ее практическую значимость при прогнозировании сценариев развития событий при эксплуатации систем в неблагоприятных условиях.

3.4. Методика для анализа и оценки процессов обеспечения устойчивости больших технических систем

Методика совместно с программой для ЭВМ «Оценка устойчивости систем» [23, 36, 47, 50] (далее в этом параграфе – методика и программа для ЭВМ) разработана с использованием модели обеспечения устойчивости БТС и на основе научных трудов Андреевой Е.А., Дмитриевой О.В., Овсянниковой О.И. и других ученых [10, 95, 96, 101, 102, 132, 133] в сфере применения принципа максимума Понтрягина.

Принцип максимума Понтрягина – это соотношения, выражающие необходимые условия сильного экстремума для неклассической вариационной задачи оптимального управления математической теории. Принцип сформулирован в 1956 Л.С. Понтрягиным и используется как средство исследования задач оптимального управления, так как представляет необходимое условие оптимальности в таких задачах.

В теории под устойчивостью понимается способность динамической системы возвращаться в равновесное состояние (положение равновесия) после окончания действия возмущения, нарушившего это равновесие. Неустойчивая система после воздействия возмущения непрерывно удаляется от равновесного состояния или начинает совершать вокруг него колебания с нарастающей амплитудой [119].

Только устойчивая система является работоспособной. Основы строгой теории устойчивости динамических систем были разработаны академиком А. М. Ляпуновым в работе «Общая задача об устойчивости движения» (1892 г.) [119]. Понятия об устойчивости, вытекающие из этой работы и применимые для оценки качества БТС, заключаются в следующем:

- если система описывается линейным дифференциальным уравнением, то ее устойчивость не зависит от величины возмущения;

- линейная система, устойчивая при малых возмущениях, будет устойчива и при больших;

- нелинейные системы могут быть устойчивы при малых возмущениях и неустойчивы при больших [6, 119].

На основании выше изложенного и разработанной Модели (в параграфе № 3.3 диссертации) предлагаемая Методика базируется на решении системы дифференциальных уравнений, которые описывают детерминированную непрерывную модель функционирования сложной системы в различных режимах [95, 96, 101, 102, 132, 133].

Системой дифференциальных уравнений называется совокупность уравнений, содержащих несколько неизвестных функций и их производные, причём в каждое из уравнений входит хотя бы одна производная.

Система дифференциальных уравнений называется линейной, если неизвестные функции и их производные входят в каждое из уравнений только в первой степени [96, 101, 102].

Линейная система называется нормальной, если она разрешена относительно всех производных. Производная функции характеризует скорость изменения функции в данной точке.

В нашей предметной области это будет скорость повреждения (выхода из строя) элементов системы, скорость восстановления этих элементов, скорость поступления ресурсов и т.п. Эти значения будут определяться как предел отношения приращения функции к приращению её аргумента при стремлении приращения аргумента к нулю, если такой предел существует. Функцию, имеющую конечную производную (в некоторой точке), называют дифференцируемой (в данной точке).

В нормальной системе правые части уравнений не содержат производных искомых функций. Решением системы дифференциальных уравнений называется совокупность функций, удовлетворяющих каждому из уравнений этой системы.

Поэтому в методике используется формула расчета коэффициента устойчивости систем БТС (U), составленная на основе формулы критерия эффективности сложной системы, предложенного в научных работах Андреевой Е.А. и Дмитриевой О.В., полученного в результате решения линейной системы

дифференциальных уравнений [96, 101, 102]: « … динамическая система, описывающая процесс функционирования системы, будет существовать только при выполнении условий:

$$\frac{\rho f h^3}{a q^3 (q+d)} - \frac{b h^4}{a q^4} - \frac{f h^4}{a q^4} \geq 0, \quad \rho, a, b, f, q, d, h > 0.$$ »

Личный вклад автора при создании Методики заключается в установлении коэффициента устойчивости систем БТС (U) – формула 3.4.8, разработке рациональной последовательности расчетов значений (формулы (3.4.1 – 3.4.7)), составляющих формулу расчета U, в совершенствовании и преобразовании формулы 3.4.8 в формулу 3.4.9, в формулировке критериев определения устойчивости БТС, в разработке формул 3.4.10 – 3.4.17, выражающих условия обеспечения устойчивости БТС, а также в программной реализации Методики.

Назначение методики и программы для ЭВМ [50]:

1. Оценка устойчивости выполнения системами функции (функций) и (или) обеспечения устойчивости функционирования БТС в зависимости от результатов воздействия неблагоприятных условий в заданный период времени.

2. Расчет коэффициента устойчивости БТС как комплексного показателя качества систем в сфере устойчивости БТС их применения.

3. Анализ влияния значений показателей качества систем на устойчивость БТС и обоснование рекомендаций по повышению устойчивости БТС за счет улучшения значений показателей качества систем в его составе (совершенствование эксплуатации, ТО и подготовки персонала, обоснование выбора направлений модернизации или создание новых систем) [69, 76].

На основе моделирования с применением разработанной модели обеспечения устойчивости, а также современных научных исследований [181-194], целесообразно разработать методику исходя из следующих ограничений:

1. Неблагоприятные факторы могут воздействовать (рис.3.4.1 и 3.4.2) на все системы, персонал, запасы ресурсов, транспортные средства и коммуникации (рис. 1.1.1).

2. Ресурсы системы расходуются на выполнение функций и на восстановление и ввод систем в эксплуатацию.

Последовательность действий (алгоритм программы для ЭВМ):

1. Определение с помощью базовой структурно-функциональной модели БТС (табл. 2.1.1) количества систем, выполняющих заданную функцию (функции) или обеспечивающих устойчивое функционирование всей БТС (рис.3.4.1 и 3.4.2).

2. Разделение этого количества систем на три группы [82, с. 37]:

1-я группа – системы, вводимые в эксплуатацию, и резерв БТС (N_1);

2-я группа (основная) – выполняет функции БТС (N_2);

3-я группа – неисправные системы (N_3).

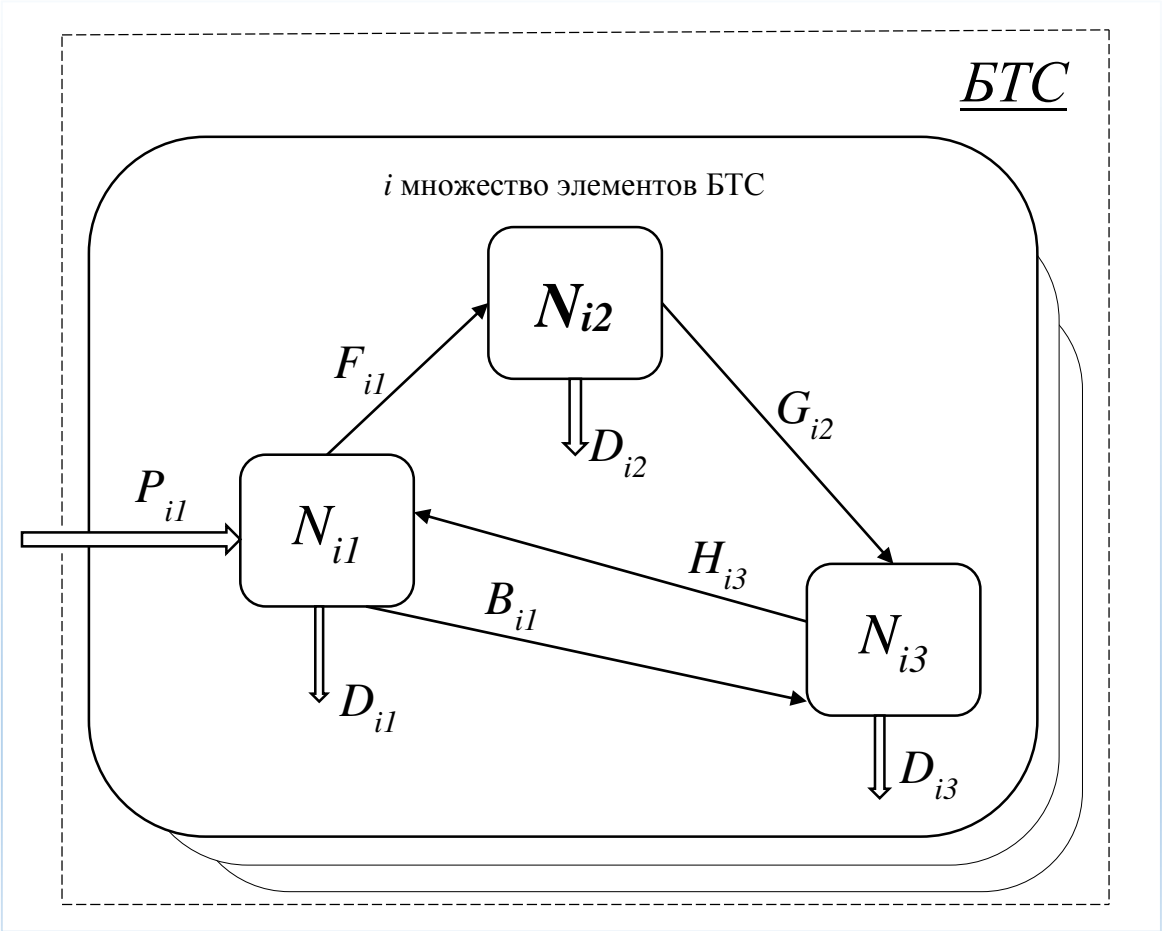


Рисунок 3.4.1. Схема динамики процесса обеспечения устойчивого функционирования требуемого количества элементов (N_{i2}) при поступлении внешних ресурсов (P_{i1})

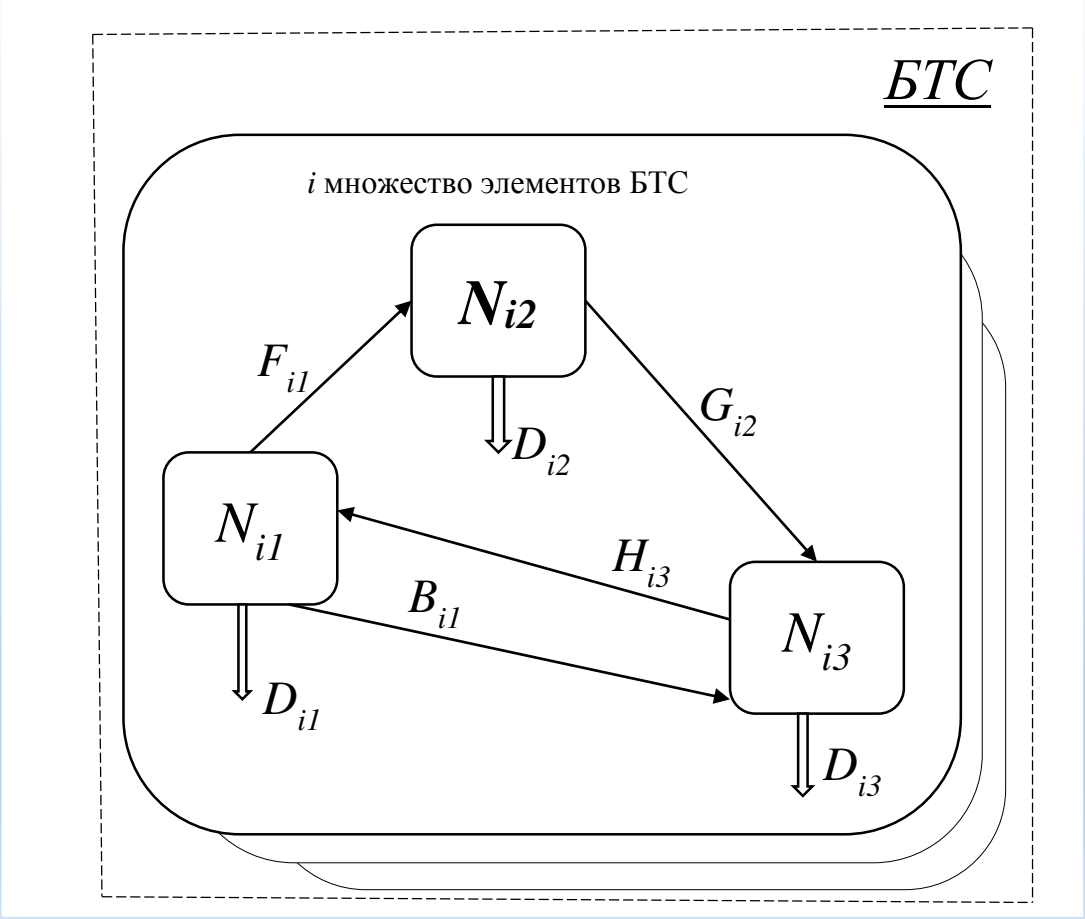


Рисунок 3.4.2. Схема динамики процесса обеспечения устойчивого функционирования требуемого количества элементов (N_{i2}) без поступления внешних ресурсов (автономный режим)

3. Определение и заполнение таблицы ограничений и базовых требований к значениям показателей качества (рис. 3.4.3) с использованием таблицы 3.3.1 из состава модели обеспечения устойчивости [39, 69].

4. Определение реальных значений показателей функционирования систем в составе БТС.

5. Расчет и заполнение таблицы последствий неблагоприятных воздействий с использованием формул 3.3.1 – 3.3.3 и таблицы 3.3.2:

5.1. Расчет количества неисправных и поврежденных систем [82, с. 38].

5.2. Расчет потерь персонала и всех видов ресурсов, включая затраты ресурсов на восстановление неисправных (поврежденных) систем.

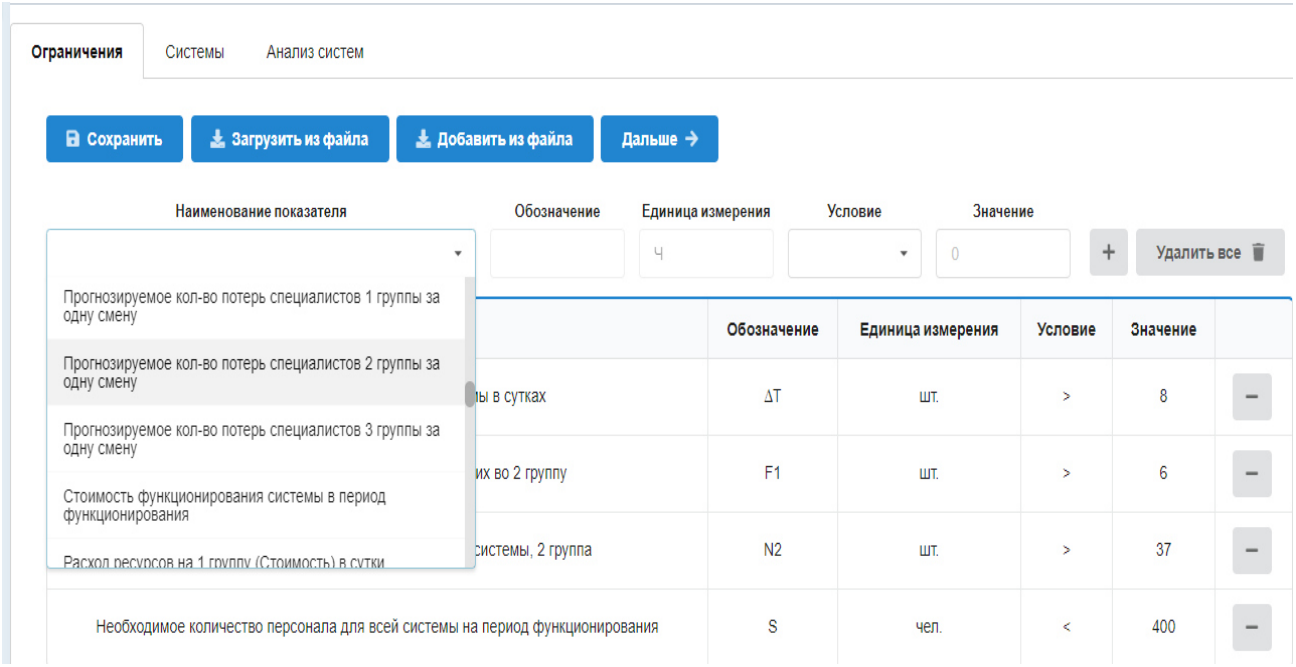


Рисунок 3.4.3. Начало работы программы: ввод ограничений для системы

6. Вычисление коэффициентов функционирования системы (рис. 3.4.1 и 3.4.2).

6.1. Коэффициент ввода систем 1 группы в эксплуатацию (p):

$$p = \frac{P_1}{N_1} \qquad (3.4.1)$$

где P_1 – количество систем 1 группы, введенных в эксплуатацию (поступление ресурсов – рис. 3.4.1);

N_1 – общее количество систем 1 группы, вводимых в эксплуатацию за оцениваемый период времени Δt_i.

6.2. Коэффициент учета влияния недостатка ресурсов на 1 группу систем (a):

$$a = \frac{B_1}{N_1} \qquad (3.4.2)$$

где B_1 – количество элементов 1 группы, не перешедших во 2 группу, неисправных и перешедших в третью группу за оцениваемый период времени Δt_i.

6.3. Коэффициент возникновения неисправностей (уничтожения, выхода из строя) систем 1 группы (*b*):

$$b = \frac{D_1}{N_1} \tag{3.4.3}$$

где D_1 – количество элементов 1 группы, вышедших из строя и не подлежащих восстановлению (ремонту).

6.4. Коэффициент интенсивности восстановления систем, то есть перехода систем 1 группы во 2 группу (основную) – *f*:

$$f = \frac{F_1}{N_1} \tag{3.4.4}$$

где F_1 – количество систем 1 группы, перешедших во 2 группу.

6.5. Коэффициент интенсивности перехода систем 2 группы в 3 группу (*q*):

$$q = \frac{G_2}{N_2} \tag{3.4.5}$$

где G_2 – количество поврежденных и неисправных систем 2 группы, перешедших в 3 группу и подлежащих восстановлению в оцениваемый период;

N_2 – количество систем 2 группы, выполняющих функции БТС.

6.6. Коэффициент неисправности элементов систем 2 группы (*d*):

$$d = \frac{D_2}{N_2} \tag{3.4.6}$$

где D_2 – количество уничтоженных (поврежденных и неисправных) систем 2 группы, не подлежащих восстановлению.

6.7. Коэффициент использования (убыли) систем 3 группы в интересах восстановления систем 1 группы (*h*):

$$h = \frac{H_3}{N_3} \tag{3.4.7}$$

где H_3 – количество систем, перешедших из 3 группы во 2 группу;

N_3 – количество систем 3 группы.

7. Расчет значения коэффициента обеспечения устойчивости систем БТС (*U*):

$$U = \frac{pfh^3}{aq^3(q+d)} - \frac{h^4(b-f)}{aq^4} \qquad (3.4.8)$$

При условии, что *p>0, a>0, b>0, f >0, q>0, d >0, h>0,*

и при выполнении требований в формуле (3.4.14) [82, с. 38].

С учетом формул (3.4.1) – (3.4.7) формула (3.4.8) приобретает вид (3.4.9):

$$U = \frac{N_2^4 P_1 F_1 H_3}{N_1 N_3 B_1 G_2^3 (G_2 + D_2)} - \frac{N_2^4 H_3^4 (D_1 - F_1)}{N_3^4 B_1 G_2^4} \qquad (3.4.9)$$

В качестве важного комментария к выполнению пункта 7 Методики необходимо отметить, что D_3 – количество элементов 3 группы, ставших за оцениваемый период непригодными к восстановлению, может не учитываться, так как на практике всегда существуют элементы в ремонте и (или) выведенные из эксплуатации для регламентного технического обслуживания (рис. 3.4.1 и 3.4.2).

8. Вывод по результатам оценки обеспечения устойчивости БТС на основании следующих критериев (рис. 3.4.4) [50, 69, 82]:

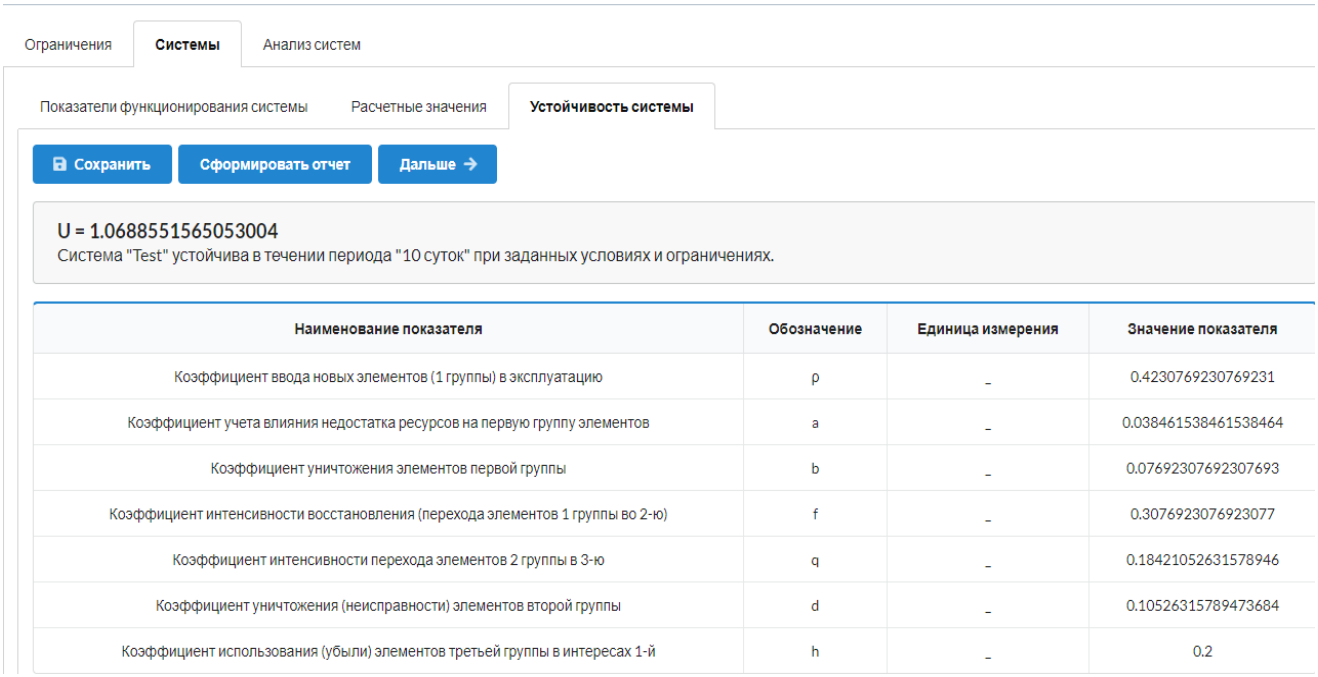
8.1. Если *U>0* – то объект устойчив в течении данного периода времени при заданных условиях и ограничениях.

8.2. Если *U =0* – то объект находится на пределе своей устойчивости в течении данного периода времени при заданных условиях и ограничениях.

8.3. Если *U <0* – то объект неустойчив в течении данного периода времени при заданных условиях и ограничениях.

9. При необходимости сравнение с базовыми требованиями и (или) с коэффициентами обеспечения устойчивости других БТС или в разные периоды времени. Составление рейтинга устойчивости систем (БТС).

10. Представление результатов оценки ЛПР (примеры представлены в Приложении А диссертации).



Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Значение показателя
Коэффициент ввода новых элементов (1 группы) в эксплуатацию	p	_	0.4230769230769231
Коэффициент учета влияния недостатка ресурсов на первую группу элементов	a	_	0.038461538461538464
Коэффициент уничтожения элементов первой группы	b	_	0.07692307692307693
Коэффициент интенсивности восстановления (перехода элементов 1 группы во 2-ю)	f	_	0.3076923076923077
Коэффициент интенсивности перехода элементов 2 группы в 3-ю	q	_	0.18421052631578946
Коэффициент уничтожения (неисправности) элементов второй группы	d	_	0.10526315789473684
Коэффициент использования (убыли) элементов третьей группы в интересах 1-й	h	_	0.2

Рисунок 3.4.4. Результат работы программы:
вывод об устойчивости системы

11. На основе анализа результатов моделирования состояний устойчивости БТС (табл. 3.3.6, рис. 3.4.1 и 3.4.2) и оценки устойчивости БТС формула (3.4.9) целесообразно сделать следующие выводы о динамике метрик значений количества элементов, обеспечивающих устойчивое функционирование БТС:

11.1. Если необходимое и достаточное условие устойчивого выполнения функций БТС множеством i-систем в её составе можно определить формулой:

$$N_{i2min} \leq N_{i2} \leq N_{i2max} \qquad (3.4.10)$$

11.2. Тогда требования к процессу обеспечения устойчивости БТС описываются выражением:

$$F_{i1} \geq (D_{i2} + G_{i2}) \qquad (3.4.11)$$

11.3. При этом в любом случае возможный диапазон значений F_{i1} будет определяться формулой:

$$0 \leq F_{i1} \leq (P_{i1} + N_{i1} + H_{i3} - D_{i1} - B_{i1}) \qquad (3.4.12)$$

11.4. На основе (3.4.12) для автономного режима (рис. 3.4.2) эксплуатации множества *i*-систем в составе БТС, когда $P_{i1} = 0$, получаем формулу:

$$0 \le F_{i1} \le (N_{i1} + H_{i3} - D_{i1} - B_{i1}) \qquad (3.4.13)$$

11.5. Таким образом, с учётом выражений (3.4.9) – (3.4.12) получаем формулу необходимого условия обеспечения устойчивого функционирования БТС в оцениваемый период времени [82, с. 38]:

$$(P_{i1} + N_{i1min} + H_{i3}) \ge (D_{i1} + B_{i1} + D_{i2} + G_{i2}) \qquad (3.4.14)$$

при выполнении требований:

$$N_{i2min} \le N_{i2} \le N_{i2max},\ N_{i1min} \le N_{i1} \le N_{i1max} \text{ и } H_{i3min} \le H_{i3} \le H_{i3max}$$

11.6. В (3.4.14): $N_{i2min} \le N_{i2} \le N_{i2max},\ N_{i1min} \le N_{i1} \le N_{i1max}$ и $H_{i3min} \le H_{i3} \le H_{i3max}$ выражают объективные требования по ограничению ресурсов:

- на эксплуатацию систем второй группы (N_{i2});
- на ввод систем в эксплуатацию и на содержание систем в резерве (N_{i1});
- на ремонт систем (H_{i3}).

Так как на практике для любой реальной БТС будут заданы ограничения по затратам ресурсов на эксплуатацию множества *i*-систем в её составе.

11.7. В каждой БТС существует некое минимально необходимое число (N_{i2min}) систем (элементов) для обеспечения устойчивого выполнения функций БТС и при этом $N_{i2min} \ge 1$, тогда как $N_{i1min} \ge 0$ и $0 \le H_{i3min} \le (N_{i3} + G_{i2} - D_{i3})$

11.8. На основании (3.4.14) логично получить формулу (3.4.15) необходимого условия обеспечения устойчивого функционирования БТС с минимально возможными затратами ресурсов в оцениваемый период времени (рис. 3.4.1):

$$(P_{i1} + N_{i1min} + H_{i3}) = (D_{i1} + B_{i1} + D_{i2} + G_{i2}) \qquad (3.4.15)$$

11.9. Используя формулы (3.4.14) и (3.4.15) возможно принимать наиболее рациональные управленческие решения по оценке устойчивости, планированию ремонта и ТО систем, эксплуатируемых в составе БТС (3.4.16):

$$H_{i3} = (P_{i1} + N_{i1min}) - (D_{i1} + B_{i1} + D_{i2} + G_{i2}), \qquad (3.4.16)$$

прогнозированию состояний устойчивости и по планированию поставок систем (ресурсов) – формула (3.4.17):

$$P_{i1} = (N_{i1min} + H_{i3}) - (D_{i1} + B_{i1} + D_{i2} + G_{i2}). \qquad (3.4.17)$$

11.10. В формулах (3.4.14) – (3.4.15) переменные правой части D_{i1}, B_{i1}, D_{i2}, G_{i2} выражают безвозвратные потери систем из состава БТС (D_{i1} и D_{i2}) и временно неисправные системы, подлежащие восстановлению (B_{i1} и G_{i2}) в оцениваемый период времени. При функционировании реальных БТС данные переменные (D_{i1}, B_{i1}, D_{i2}, G_{i2}) являются слабо прогнозируемыми величинами [82, с. 39].

Программа для ЭВМ «Оценка устойчивости систем» является кроссплатформенной и функционирует как клиент-серверное приложение.

В программе предусмотрена возможность формирования отчётов в виде таблицы в формате Word, а также визуализации полученных результатов в виде графиков и диаграмм. Объем программы: 2,1 МБ.

Языки программирования: C#, JavaScript, HTML.

Основной положительный эффект от применения разработанных Модели, методики и программы для ЭВМ заключается в существенном сокращении времени и расхода ресурсов на оценку устойчивости систем и БТС, а также на прогнозирование состояния устойчивости систем в зависимости от последствий воздействия различных неблагоприятных факторов, формулы (3.4.10) – (3.4.17).

Кроме того, применение ЛПР методики и программы для ЭВМ в модели сопровождения систем (рис. 5.1.1) способствует принятию своевременных и обоснованных управленческих решений в сфере обеспечения устойчивости систем непосредственно в процессе эксплуатации в составе БТС.

Так как для ЛПР проблема снижения времени оценки качества и оперативного принятия обоснованных управленческих решений в условиях нестабильной и быстроменяющейся обстановки приобретает особую актуальность.

Поэтому одним из перспективных путей комплексного применения Модели и Методики является их программная реализация в системах поддержки принятия решений (СППР), использующих научно обоснованные методы формирования решений, основанные на современном математическом аппарате и аппаратно-программных средствах.

Сегодня предложения по разработке и совершенствованию программных средств реализации Модели и Методики в СППР, а также разработанную программу для ЭВМ [47] целесообразно использовать в БТС, имеющих в своем составе мультиагентные системы (МАС).

В МАС элементы многоуровневой сетевой структуры БТС рассматриваются как атомарные автономные единицы – агенты.

В отличие от традиционных систем управления БТС с иерархической структурой, сетевая структура в БТС по своему устройству является открытой, так как входящие в её состав системы (элементы системы) могут напрямую взаимодействовать друг с другом.

СППР не заменяет, а дополняет существующие системы управления, взаимодействуя с ними, и использует в своей работе информацию об эксплуатации технических систем в составе БТС за оцениваемый период времени.

Другим положительным фактором разработки и внедрения Модели и методики является возможность их эффективного применения при решении задач обеспечения технико-технологической безопасности БТС, а именно при разработке, эксплуатации и ТО систем, которые повышают уровень конкурентоспособности БТС по сравнению с аналогичными.

Кроме того, представляется целесообразным комплексное использование модели и методики при принятии управленческих решений по обеспечению технологической безопасности Российской Федерации в сфере повышения степени защищенности БТС от различных угроз, возникающих в процессе эксплуатации.

В заключении данного параграфа стоит добавить, что вышеизложенное дополнительно обосновывает важность применения разработанной Методики и программы для ЭВМ [47], как нового научно обоснованного методологического и технического решений для обеспечения требуемой эффективности управления эксплуатацией и ТО БТС.

Выводы по третьей главе

Представленные в третьей главе диссертации модели, методики и программы для ЭВМ могут эффективно применяться для достижения цели исследования как в комплексе, так и по отдельности.

Методика для анализа и оценки вероятности не выполнения БТС своих функций позволяет экономить ресурсы и время при оценке вероятности достижения цели функционирования системы в зависимости от числа неисправных элементов в ее составе. При этом возможность программного построения расчетных таблиц и графиков повышает эффективность применения методики для обоснования управленческих решений.

В модели обеспечения устойчивости БТС определены критерии и важнейшие показатели качества систем в сфере обеспечения устойчивости БТС. В методике рассчитывается коэффициент устойчивости, как основной комплексный показатель обеспечения устойчивости БТС.

Модель, методика и программа для ЭВМ позволяют исследовать процессы обеспечения устойчивости систем в неблагоприятных условиях, которые объективно невозможно (экономически не рентабельно) создать при реальной эксплуатации БТС. В том числе для достижений этой цели получено математическое выражение необходимого условия обеспечения устойчивого функционирования БТС в оцениваемый период времени

Модели, методики и программа для ЭВМ позволяют проводить детальную оценку качества систем, а также сравнение систем (периодов времени), составлять рейтинг систем и представлять выводы на основе результатов расчетов.

В заключении третьей главы важно отметить, что в условиях недостатка времени и ресурсов на проведение испытаний, а также при ограничении доступа к внешним информационным ресурсам в этой предметной области, значительно повышается актуальность применения разработанных методик и программ для ЭВМ совместно с моделью сопровождения систем в процессе эксплуатации (рис. 5.1.1) для наиболее рациональной организации работы по совершенствованию и развитию БТС.

Глава 4. Методика оценки качества компонентов большой технической системы на базе комплексных показателей и правил логического вывода при их экспертном парном сравнении

4.1. Назначение, ограничения, допущения и алгоритмы методики

Назначение данной комплексной методики (далее – Методика): оценка качества систем при комплексном использовании статистической и (или) экспертной информации, поступающей из различных источников, а также обеспечение принятия своевременных и обоснованных управленческих решений по результатам оценки качества и на основе рейтинга качества систем.

Методика разработана как элемент практической части исследования и предназначена для применения совместно с моделью сопровождения систем в процессе эксплуатации, но возможно и отдельное использование [42, 49].

Схема алгоритма Методики представлена на рисунке 4.1.1.

Сущность Методики заключается в применении, согласно схемы (рис. 4.1.1), специально разработанных автором формул и взаимосвязанных расчетных табличных форм для оценки качества с использованием статистической и экспертной информации с возможностью идентификации источников этой информации и времени доступа к ним. В Методике используются метод оценки качества системы на основе структурно-функционального моделирования и вычитания Матриц (в части применения СФМ) и усовершенствованный метод парных сравнений [35, 36], алгоритм на рисунке 4.1.2.

Методика может применяться для целей систематизации и проверки информации на непротиворечивость, для противодействия вводу ложной информации, включая ошибки операторов. Методика эффективна для формирования баз данных (далее – БД) как элементов внутреннего информационного резерва развития и совершенствования БТС (параграф № 5.3 диссертации).

Рисунок 4.1.1. Схема алгоритма Методики

Ограничения:

1. Обработка экспертной информации происходит в виде систематизации субъективных мнений экспертов усовершенствованным методом парного сравнения систем (рис. 4.1.2).

2. Обработка статистической информации производится в виде количественных значений показателей качества системы, вероятностно-временных характеристик (далее – ВВХ), затрат времени и ресурсов [42].

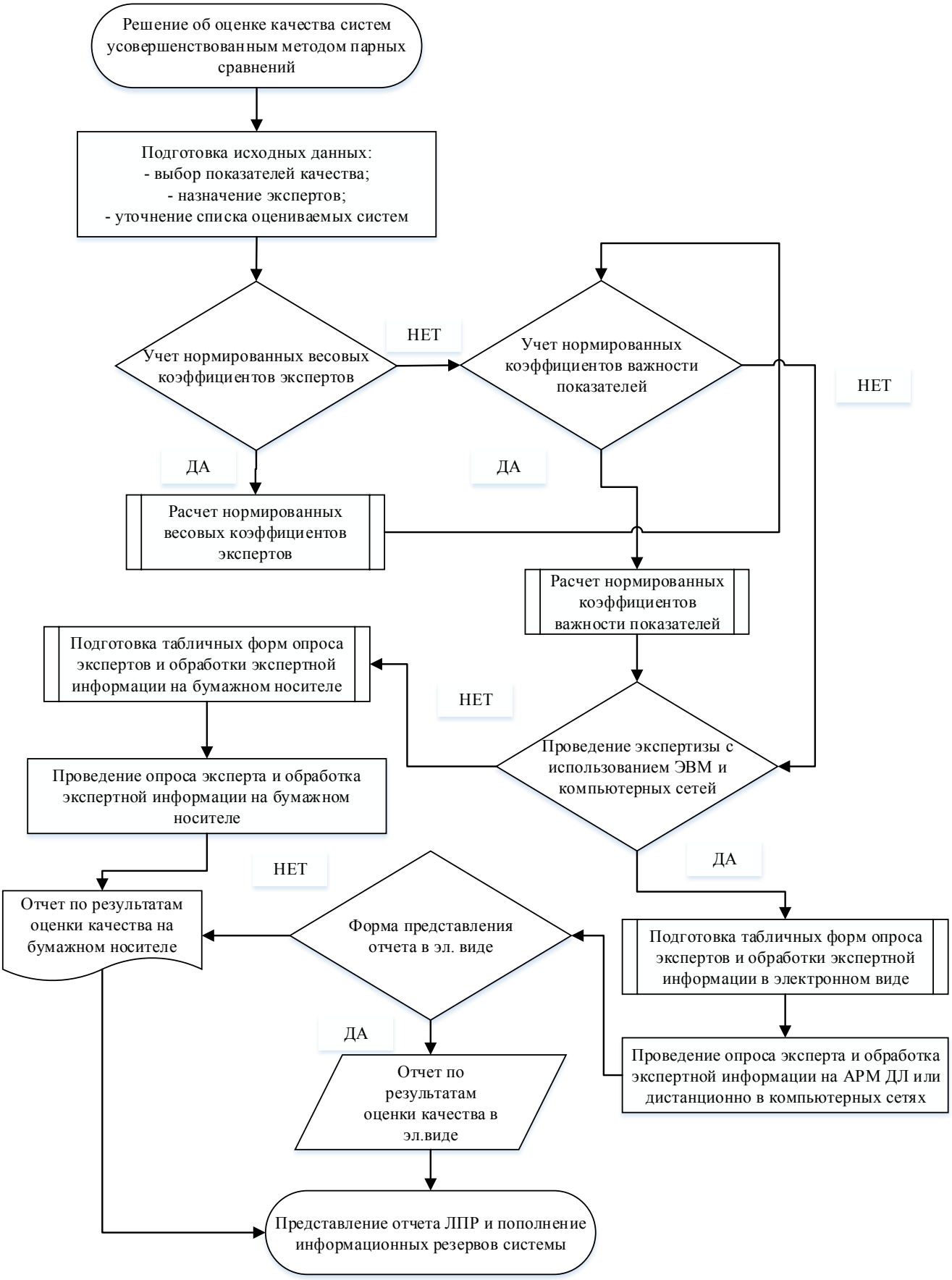


Рисунок 4.1.2. Схема алгоритма применения усовершенствованного метода парных сравнений

3. Обработка информации и построение таблиц проводится с учетом конфиденциальности информации и с соблюдений требований по информационной безопасности БТС [49, с. 96-97].

Допущения:

1. Предполагается наличие экспертной информации и статистических данных о действительных значениях количественных показателей систем, выполняющих одинаковые функции в заданный период времени в похожих условиях эксплуатации.

2. Предполагается проведение всех расчетов и использование взаимосвязанных по соответствующим столбцам и ячейкам специально разработанных табличных форм для ввода, обработки и систематизации информации при оценке качества систем в электронном виде с помощью общедоступных программных средств (MatLab, Excel и др.).

3. Все таблицы должны быть взаимосвязаны по соответствующим столбцам и ячейкам, что обеспечивает возможность добавления и удаления строк и столбцов в части, касающейся добавления систем для оценки, изменения идентификационных данных экспертов, выбранных показателей оценки компетентности экспертов и других сведений.

Применение в данной Методике связанных таблиц дает возможность создания и ведения актуальных БД как по исследуемым системам, входящим в состав БТС, так и по БТС в целом [25, 27, 29, 30].

Как видно из схемы (рис. 4.1.1), Методика позволяет проводить оценку качества с учетом эффективности управленческих решений, принятых ЛПР на основе использования ранее проведенных оценок качества систем, а также формировать информационные резервы обеспечения (повышения) эффективности исследуемых систем с целью обеспечения требуемой эффективности проактивного управления БТС [29, 30, 35, 40] и своевременного выбора лучших систем (для эксплуатации в составе БТС) в интересах повышения эффективности процесса импортозамещения.

4.2. Этапы методики

Этапы Методики выполняются в соответствии со схемой на рисунке 4.1.1.

I этап. Принятие решения ЛПР об оценке качества технической системы (изделия). Выбор для оценки качества соответствующих систем и (или) аналогичных систем, выполняющих требуемые функции в похожих условиях эксплуатации. Выбор показателя (показателей) оценки качества этих систем (P_i).

1.1. Системы и показатели для оценки качества (P_i) могут быть выбраны:

1.1.1. Решением ЛПР и (или) должностных лиц, проводящих экспертизу (таблица 4.2.1).

1.1.2. С помощью построения базовой структурно-функциональной модели оцениваемой системы (параграф № 2.2 диссертации).

1.1.3. Экспертами (таблица 4.2.1).

Таблица 4.2.1

Рекомендации ___ должностного лица (эксперта) по организации оценки качества системы _____
(название системы или изделия)

Рекомендуемые _____ ЛПР, ДЛ (экспертом):							
Системы	Показатели оценки качества, P_i (ед. измер.)	Критерии оценки		источники информации		эксперты	
		не менее	не более	внутренние	внешние	из числа персонала	другие специалисты
1	2	3	4	5	6	7	8
Система 1							
	…	…		…	…	…	…
…							
Система *n*							
	…	…		…	…	…	…

1.2. ЛПР и (или) должностному лицу, организующему экспертизу, определить, на основе какой информации должны быть получены значения выбранных показателей качества. При необходимости рекомендовать экспертам

или другим заинтересованным должностным лицам источники получения информации о системах [25, 72, 84].

Источники получения информации о системах могут быть также предложены должностными лицами и (или) экспертами в таблице 4.2.1.

1.3. При решении далее использовать для оценки только статистическую информацию перейти к выполнению II этапа настоящей методики, согласно алгоритма на рисунке 4.1.1.

1.4. При использовании экспертной информации перейти к последовательному выполнению II и III этапов Методики, но перед этим необходимо дополнительно определить:

1.4.1.1. Показатели оценки компетентности экспертов (p_i) и их единицы измерения (таблицы 4.2.2 и 4.2.3).

Для этого рекомендуется использовать в таблице 4.2.2:

p_1 – общий стаж работы эксперта (в календарных годах);

p_2 – стаж работы эксперта по эксплуатации оцениваемых технических систем и (или) изделий (в календарных годах);

p_3 – наличие у эксперта технического образования в сфере эксплуатации и (или) технического обслуживания оцениваемых технических систем и (или) изделий («1» - образование есть, «0» - образования нет);

p_4 – сколько типов оцениваемых технических систем и (или) изделий эксперт эксплуатировал и (или) принимал участие в техническом обслуживании и (или) ремонте (количество систем) [42].

Таблица 4.2.2

Оценка экспертом важности выбранных показателей оценки компетентности экспертов по 10 бальной шкале

Номер эксперта	p_1	p_2	p_3	p_4

1.4.1.2. При необходимости произвести расчет нормированных весовых коэффициентов важности выбранных показателей оценки компетентности экспертов (C_i) по результатам опроса экспертов с помощью формулы:

$$C_i = c_i \Big/ \sum_{i=1}^{l} c_i \qquad (4.2.1)$$

где l – общее количество выбранных показателей оценки компетентности экспертов (p_i), а c_i – сумма баллов, выставленная экспертами i-показателю оценки компетентности экспертов (p_i).

При опросе согласие экспертов проверять через коэффициент согласия (конкордации) по формуле Кэндэла (таблица 4.2.3):

$$W = 12S \big/ (j^2 (l^3 - l)) \qquad (4.2.2)$$

где j – это количество экспертов, l – это количество показателей оценки компетентности экспертов или вопросов в анкете,

$$S = \sum (R_i - < R >)^2 \qquad (4.2.3)$$

$$< R >= (\sum R_i) \big/ l \qquad (4.2.4)$$

где $<R>$ – это средний ранг показателя;

R_i – это суммарный ранг i-го показателя анкеты [18, 19, 20].

Результаты опроса экспертов, проведенного с помощью таблицы 4.2.2, заносятся в таблицу 4.2.3. для расчета коэффициентов важности выбранных показателей оценки компетентности экспертов (C_i).

Таблица 4.2.3

Результаты расчета нормированных весовых коэффициентов важности выбранных показателей оценки компетентности экспертов (C_i)

Номер эксперта	p_1	p_2	…	p_l
1			…	
2			…	
3, ….			…	
j			…	
$C_i = c_i \Big/ \sum_{i=1}^{1} c_i$	C_1	C_2	…	C_l
Условие нормировки $\sum_{i=1}^{l} C_i = 1$ выполняется			Согласие экспертов: $W = 12S \big/ (j^2 (l^3 - l))$	

1.4.1.3. На основе собранных данных от каждого эксперта (табл. 4.2.3) рассчитать коэффициент компетентности *j*-эксперта *(q_j)* по формуле:

$$q_j = \sum_{i=1}^{l} C_i P_i \qquad (4.2.5)$$

1.4.2. ЛПР и (или) должностным лицам с учетом рекомендаций экспертов (таблица 4.2.1) определить внешние и внутренние источники информации.

1.4.3. ЛПР и (или) должностным лицам установить доступные (разрешенные) способы получения экспертной информации путем опроса и анкетирования и (или) с помощью изучения других задокументированных мнений экспертов (научные статьи, отзывы, интервью и т.д.) [49, с. 95].

Пункты 1.4.2 и 1.4.3, а также построение таблиц и обработку информации проводить с учетом соблюдений мер информационной безопасности.

1.4.4. Должностному лицу, организующему оценку качества, предоставить выбранным экспертам исходную информацию по рекомендованным источникам информации и правилам доступа к информации (таблица 4.2.4). Данные сведения формируются в результате обработки рекомендаций экспертов, должностных лиц, проводящих оценку качества систем (таблица 4.2.1) и решения ЛПР.

Таблица 4.2.4

Рекомендации экспертам

Системы	Источники информации		Правила доступа и обработки информации
	внутренние	внешние	
1	2	3	4

1.4.5. На АРМ экспертов создать и заполнить таблицу исходных данных для оценки компетентности эксперта (таблица 4.2.5).

Таблица 4.2.5

Исходные данные для оценки компетентности эксперта

Идентификационные данные эксперта		Показатели оценки компетентности эксперта (P_i) (единица измерения)				
		p_1 (единица измерения)	p_2 (единица измерения)	p_3 (единица измерения)	...	p_{i*} (единица измерения)
1	2	3	4	5	…	2+i
номер эксперта:					…	
должность						
подразделение						
Фамилия						
Имя						
Отчество						
Примечание: * i – количество показателей оценки компетентности эксперта.						

1.4.6. На АРМ должностного лица, проводящего экспертизу, создать и заполнить таблицу 4.2.5 для оценки компетентности внешних экспертов в случае проведения экспертизы с помощью изучения задокументированных мнений внешних экспертов с использованием внешних информационных ресурсов.

1.4.7. Далее на АРМ должностного лица, проводящего экспертизу, создать и заполнить таблицу с результатами расчета нормированных весовых коэффициентов компетентности экспертов (таблица 4.2.6). Для автоматического заполнения и расчетов соответствующие ячейки таблиц 4.2.5 на АРМ экспертов связаны с ячейками таблицы 4.2.6 на АРМ должностного лица.

1.5. При необходимости произвести выбор показателей оценки качества систем (P_i) и расчет нормированных весовых коэффициентов важности выбранных показателей (g_i) одним из трех способов:

- по результатам анализа требований к системе с помощью построения базовой структурно-функциональной модели системы или БТС;

- на основе решения ЛПР;

- с помощью метода групповых экспертных оценок.

Таблица 4.2.6

Нормированные весовые коэффициенты компетентности экспертов (q_j)

Номер эксперта	Количественные значения выбранных показателей оценки компетентности эксперта (P_i) (единица измерения)			Количественные значения коэффициентов важности показателей оценки компетентности эксперта (C_i)			Коэффициент компетентности эксперта (q_j)
	P_1	…	P_i	C_1	...	C_{l*}	
1	2	…	1+i	2+i	…	1+i+l	2+i+l
1							
2							
3							
…							
*j**							
Условие нормировки выполняется				1	1	1	1
Примечание: * *l* – количество экспертов.							

1.5.1. Выбор показателей оценки качества систем (P_i) (таблица 4.2.7) и расчет нормированных весовых коэффициентов важности выбранных показателей (g_i) провести по результатам опроса экспертов с помощью формулы (таблица 4.2.8):

$$g_i = c_i \Big/ \sum_{i=1}^{l} c_i \qquad (4.2.6)$$

где l – общее количество выбранных показателей оценки качества систем;

c_i – сумма баллов, выставленная экспертами i-показателю оценки качества систем (P_i), при этом

$$c_i = \sum_{1}^{j} q_j k_{ji} \qquad (4.2.7)$$

где, k_{ji} – это количество баллов выставленное i-показателю j-экспертом.

При опросе согласие экспертов проверять через коэффициент согласия (конкордации) по выше приведенной формуле Кэндэла (4.2.2) [63, с.11].

1.5.2. Опрос экспертов проводить с помощью таблицы 4.2.7.

1.5.3. Результаты опроса экспертов, проведенного с помощью таблицы 4.2.7, заносятся в таблицу 4.2.8 для расчета коэффициентов важности выбранных

показателей оценки качества систем (P_i).

Таблица 4.2.7

Выбор показателей оценки качества систем (P_i) и оценка экспертом важности выбранных показателей оценки компетентности экспертов по 10 бальной шкале

Номер эксперта	Коэффициент компетентности эксперта, q_j	P_1 (ед. измер.)	P_2 (ед. измер.)	…	P_I (ед. измер.)
j	q_j	$q_j k_{j1}$	$q_j k_{j2}$	…	$q_j k_{ji}$

При программной реализации Методики соответствующие ячейки в таблицах 4.2.7 опроса экспертов должны быть связаны с ячейками в таблице 4.2.8 для автоматического ввода данных при производстве расчетов.

Таблица 4.2.8

Результаты расчета нормированных весовых коэффициентов важности выбранных показателей оценки качества систем (g_i)

Номер эксперта	Коэффициент компетентности эксперта, q_i	P_1 (ед. измер.)	P_2 (ед. измер.)	…	P_I (ед. измер.)
1	q_1	$q_1 k_{11}$	$q_1 k_{12}$	…	$q_1 k_{1I}$
2	q_2	$q_2 k_{21}$	$q_2 k_{22}$	…	$q_2 k_{2I}$
3, ….	…	…	…	…	
j	q_j	$q_j k_{j1}$	$q_j k_{j2}$	…	$q_j k_{jI}$
$g_i = c_i \Big/ \sum_{i=1}^{l} c_i$		g_1	g_2	…	g_l
Условие нормировки $\sum_{i=1}^{l} C_i = 1$ выполняется				Согласие экспертов: $W = 12S/(j^2(l^3 - l))$	

II этап. Сбор и обработка статистической информации.

Оценка качества систем на основе статистической информации [42].

2.1. Должностному лицу по каждому выбранному показателю оценки качества систем собрать сведения и заполнить столбцы 1, 2, n+3, n+4 и n+5 таблицы

обработки статистической информации для оценки качества систем, предназначенные для составления рейтинга *n* оцениваемых систем по лучшему значению выбранного показателя оценки качества (P_i) и проверки вводимых данных (таблица 4.2.9).

В дальнейшем в Методике (пункт 2.2.2) при расчетах и составлении рейтинга учитывается, что выбранные показатели качества делятся на две группы:

- в первую группу входят показатели, где лучшим считается наименьшее значение показателя оценки качества (P_i), то есть показатели количественные значения которых в идеале должны быть минимально возможные, например, расход ресурсов: ГСМ, трудозатрат персонала и т.п.;

- во вторую группу включаются показатели, где лучшим считается наибольшее значение показателя оценки качества (P_i), то есть показатели количественные значения которых в идеале должны быть максимально возможные, например, гарантийный срок эксплуатации, количество ЗИП и др.

Таблица 4.2.9

Составление рейтинга *n* систем по лучшему значению выбранного показателя оценки качества (P_i) и проверка вводимых данных

_____

(название показателя, единица измерения показателя)

Место системы в рейтинге качества	Название системы	P_i	Название системы					B_z	Источники информации о системах		Дата
			A1	*A2*	…	*An-1*	*An*		Внутренние	Внешние	
			P_1	P_2	…	P_{n-1}	P_n				
1	2	3	4	5	…	n+2	n+3	n+4	n+5	n+6	n+7
	A1	P_1	0	ΔP_{12}	…	$\Delta P_{1(n-1)}$	ΔP_{1n}	B_{A1}			
	A2	P_2	ΔP_{21}	0	…	$\Delta P_{2(n-1)}$	ΔP_{2n}	B_{A2}			
	…Az,…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	An-1	P_{n-1}	$\Delta P_{(n-1)1}$	$\Delta P_{(n-1)2}$	…	0	$\Delta P_{(n-1)n}$	B_{An-1}			
	An	P_n	ΔP_{n1}	ΔP_{n2}	…	$\Delta P_{n(n-1)}$	0	B_{An}			
Результаты проверки на непротиворечивость: $H_{Pz} = \sum_{z=1}^{z=n} B_z = 0$, иначе – ошибка								H_{Pz}			

В таблице 4.2.9 и далее *n* – это выбранное для оценки качества количество систем.

2.1.1. В таблице 4.2.9 предусмотреть автоматическое программное выполнение расчетов разности значений выбранных показателей качества ($\Delta P_{z(z-1)}$)

при их парном сравнении, формула (4.2.8):

$$\Delta P_{z(z-1)} = \Delta P_z - \Delta P_{z(z-1)} \quad (4.2.8),$$

где z – это номер (название) одной из сравниваемых систем, принадлежащий диапазону целых чисел от 1 до n.

Если в таблице 4.2.9. происходит сравнение системы с собой, то в результате разность всегда равно 0 (нулю), то есть $\Delta P_{zz}=0$. Таким образом, в таблице 4.2.9 при сравнении систем самих с собой в ячейках по диагонали всегда будет проставлено значение разности показателей равное 0 (нулю).

2.1.2. Проверку статистических данных на непротиворечивость и контроль ввода ложной информации (ошибки оператора информационной системы) осуществлять сравнением суммы разностей всей таблицы (H_{Pz}), полученных при попарном сравнении систем с контрольным числом равным 0 (нулю).

Если выполняется условие: $H_{Pz} = \sum_{z=1}^{z=n} B_z = 0$, то это значение соответствуют норме, во всех других случаях программа выводит сообщение об ошибке. Где B_z – это количество баллов, набранных системой по результатам сложения разностей ($\Delta P_{z(z-1)}$), полученных в результате попарного сравнения систем в одной строке таблицы 4.2.9, рассчитывается по формуле 4.2.9:

$$B_z = \sum_{z=1}^{z=n} \Delta P_{z(z-1)} \quad (4.2.9).$$

2.2. Составление рейтинга систем по лучшему значению выбранного показателя оценки качества (табл. 4.2.10).

По результатам расчетов при использовании исходных статистических данных, собранных и систематизированных должностным лицом в таблице 4.2.9, формируется таблица 4.2.10.

В таблице 4.2.10 систематизированы результаты оценки качества для каждой системы и составлен рейтинг систем по лучшему значению выбранного показателя.

2.2.1. Таблица 4.2.10. формируется программой без участия должностных лиц. Для этого в таблице 4.2.10 должны быть реализованы расчеты в столбце 5 по формуле 4.2.9 и в столбце 4 по формуле 4.2.10:

$$D_z = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i} \qquad (4.2.10)$$

где D_z – коэффициент качества системы, полученный на основе статистических данных [49, с. 98].

Таблица 4.2.10

Результаты оценки качества *n* систем
на основе статистической информации
по выбранному показателю оценки качества

_____
(название показателя, единица измерения показателя)

Место в рейтинге	Система	Показатель оценки качества, P_i (ед. изм.)	Коэффициент качества системы, полученный на основе статистических данных: $D_z = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i}$	Количество баллов, набранных системой по результатам парного сравнения, $B_z = \sum_{z=1}^{z=n} \Delta P_{z(z-1)}$
1	2	3	4	5
1				
2				
3,…*z*,…				
x-1				
x				
Сумма:			$\sum_{z=1}^{z=n} D_z$	$H_{Pz} = \sum_{z=1}^{z=n} B_z$
Результаты проверки данных на непротиворечивость:			если $\sum_{z=1}^{z=n} D_z = 1$, то норма, во всех остальных случаях ошибка	если $H_{Pz}=0$, то норма, во всех остальных случаях ошибка

2.2.2. Рейтинг систем определить с помощью программы на основе лучшего значения показателя оценки качества (P_i).

Если лучшим считается наименьшее значение показателя оценки качества (P_i), то есть показатель входит в первую группу, например, нужен минимальный расход ресурсов при эксплуатации, то места в рейтинге (столбец 1 таблицы 4.2.10)

распределяются от минимального значения показателя P_{imin}, получающего первое место в рейтинге, до максимального значения показателя P_{imax}, получающего последнее место в рейтинге, формула распределения мест рейтинга:

$$P_{i\,min} < P_{i\text{-}z} < \ldots < P_{i\,max} \Rightarrow 1,2,\ldots, x \qquad (4.2.11)$$

Если лучшим считается наибольшее значение показателя оценки качества (P_i), то есть показатель входит во вторую группу, например, необходима максимально возможная грузоподъемность лифтового оборудования, то места в рейтинге (столбец 1 таблицы 4.2.10) распределяются от максимального значения показателя P_{imax}, получающего первое место в рейтинге, до минимального значения показателя $P_{i\min}$, получающего последнее место в рейтинге [71, 87].

И тогда формула распределения мест рейтинга приобретает следующий вид:

$$P_{i\,max} > P_{i\text{-}y} > \ldots > P_{i\,min} \Rightarrow 1,2,\ldots, x \qquad (4.2.12)$$

Количество мест x в рейтинге не может быть больше числа n, то есть не может быть больше количества систем, выбранных для оценки качества: $x \leq n$.

При этом две и более системы могут занимать одно место в рейтинге в случае равных значений оцениваемых показателей, в этом случае всегда $x \prec n$.

2.2.3. Для сравнительного анализа преимущества (недостатка) оцениваемой системы перед другими системами по выбранному показателю оценки качества (дополнение к таблицам 4.2.11 и 4.2.12) рекомендуется применять количество баллов, набранных системой по результатам сложения разностей ($\Delta P_{z(z\text{-}1)}$), полученных в результате сравнения систем (B_z) в таблице 4.2.10.

2.3. Подготовка и представление отчета ЛПР по результатам оценки качества выбранных систем.

В данной методике предусмотрена оценка качества систем 4 способами. Данные способы реализованы в таблицах 4.2.11, 4.2.12, 4.2.13 и 4.2.14. На практике это дает должностному лицу возможность выбора наиболее рационального способа оценки качества, учитывающего специфику эксплуатации систем [68, с. 118].

2.3.1. На основе таблиц 4.2.9 и 4.2.10 сформировать сводные таблицы результатов оценки качества систем:

- таблица 4.2.11, результаты оценки качества систем на основе рейтинга систем по показателям оценки качества с учетом нормированных коэффициентов важности показателей оценки качества (g_i);

Таблица 4.2.11

Результаты оценки качества *n* систем
на основе статистической информации и рейтинга систем по показателям оценки качества с учетом нормированных коэффициентов важности показателей (g_i)
в зависимости от рейтинга систем по каждому выбранному показателю

Место в рейтинге	Система	Q_{gMz}	Показатели оценки качества							
			P_1, (g_1), (ед. изм.)		P_2, (g_2), (ед. изм.)		…; P_i, (g_i), (ед. изм.); …		P_l, (g_l), (ед. изм.)	
			Колич. значение P_1	M_{P1z}	Колич. значение P_2	M_{P2z}	…	…, M_{Piz}, …	Колич. значение P_l	M_{Plz}
1	2	3	4	5	7	8	…	…	l+3	l+4
1							…	…		
2							…	…		
3,…*z*,…							…	…		
x-1							…	…		
x							…	…		
Максимальное значение показателя			P_{1max}		P_{2max}		…, P_{imax}, …		P_{lmax}	
Минимальное значение показателя			P_{1min}		P_{2min}		…, P_{imin}, …		P_{lmin}	
Результаты проверки: (позволяют учитывать специфику и ограничения при функционировании системы)			если $P_{1min} < P_{1z} < P_{1max}$ то норма, иначе ошибка и система *z* удаляется из списка систем для оценки качества		если $P_{2min} < P_{2z} < P_{2max}$ то норма, иначе ошибка и система *z* удаляется из списка систем для оценки качества		…		если $P_{lmin} < P_{lz} < P_{lmax}$ то норма, иначе ошибка и система *z* удаляется из списка систем для оценки качества	

- таблица 4.2.12, результаты оценки качества систем на основе рейтинга систем по показателям оценки качества без учета нормированных коэффициентов важности показателей оценки качества;

- таблица 4.2.13, результаты оценки качества систем на основе статистической информации о значениях выбранных показателей оценки качества с учетом нормированных коэффициентов важности этих показателей (g_i) и использованием базовых значений выбранных показателей качества ($P_{i\,б}$);

- таблица 4.2.14, результаты оценки качества систем на основе статистической информации о значениях выбранных показателей оценки качества без учета нормированных коэффициентов важности этих показателей и использованием базовых значений выбранных показателей качества ($P_{i\,б}$).

Таблица 4.2.12

Результаты оценки качества *n* систем
на основе статистической информации и рейтинга систем по показателям оценки качества без учета нормированных коэффициентов важности показателей
в зависимости от рейтинга систем по каждому выбранному показателю

Место в рейтинге	Система	Q_{Mz}	Показатели оценки качества							
			P_1, (ед. изм.)		P_2, (ед. изм.)		…; P_i, (ед. изм.); …		P_l, (ед. изм.)	
			Колич. значение P_1	M_{P1z}	Колич. значение P_2	M_{P2z}	…	…, M_{Piz}, …	Колич. значение P_l	M_{Plz}
1	2	3	4	5	7	8	…	…	l+3	l+4
1							…	…		
2							…	…		
3,…*z*,…							…	…		
x-1							…	…		
x							…	…		
Максимальное значение показателя			P_{1max}		P_{2max}		…, P_{imax}, …		P_{lmax}	
Минимальное значение показателя			P_{1min}		P_{2min}		…, P_{imin}, …		P_{lmin}	
Результаты проверки: (позволяют учитывать специфику и ограничения при функционировании системы)			если $P_{1min} < P_{1z} < P_{1max}$ то норма, иначе ошибка и система *z* удаляется из списка систем для оценки качества		если $P_{2min} < P_{2z} < P_{2max}$ то норма, иначе ошибка и система *z* удаляется из списка систем для оценки качества		…		если $P_{lmin} < P_{lz} < P_{lmax}$ то норма, иначе ошибка и система *z* удаляется из списка систем для оценки качества	

В таблицах и формулах приняты следующие обозначения:

l – количество выбранных показателей качества систем;

$1.l$ – количество выбранных показателей качества систем 1 группы, используется в таблицах 4.2.13 и 4.2.14;

$2.l$ – количество выбранных показателей качества систем 2 группы, используется в таблицах 4.2.13 и 4.2.14;

P_i – i-показатель оценки качества систем;

$P_{1.i}$ – i-показатель оценки качества систем 1 группы (табл. 4.2.13 и 4.2.14);

$P_{2.i}$ – i-показатель оценки качества систем 2 группы (табл. 4.2.13 и 4.2.14);

$P_{i\text{б}}$ – базовый i-показатель оценки качества систем, соответственно, $P_{1.i\text{б}}$ – 1 группы и $P_{2.i\text{б}}$ – i-показатель 2 группы (табл. 4.2.13 и 4.2.14);

M_{Piz} – место в рейтинге системы z по i-показателю оценки качества (P_i) используется в таблицах 4.2.11 и 4.2.12;

g_i – нормированный коэффициент важности i-показателя качества (P_i), соответственно, $g_{1.i}$ – 1 группы и $g_{2.i}$ – 2 группы;

Q_{gMz} – комплексный показатель оценки качества системы z с учетом нормированных коэффициентов важности показателей оценки качества (g_i) в зависимости от места в рейтинге системы z по каждому выбранному показателю (табл. 4.2.11);

Q_{Mz} – комплексный показатель оценки качества системы z без учета нормированных коэффициентов важности показателей оценки качества (g_i) в зависимости от места в рейтинге системы z по каждому выбранному показателю (табл. 4.2.12);

Q_{gz} – комплексный показатель оценки качества системы z с учетом нормированных коэффициентов важности показателей оценки качества (g_i), используется при расчетах в таблице 4.2.13;

Q_z – комплексный показатель оценки качества системы z без учета нормированных коэффициентов важности показателей оценки качества (g_i), используется при расчетах в таблице 4.2.14 [99, 102].

В таблицах 4.2.11 и 4.2.13 (соответственно распределение идет в установленных 1 и 2 группах) показатели оценки качества (P_i) располагаются в столбцах по следующему правилу: чем больше значение нормированного коэффициента важности показателя оценки качества (g_i), тем в меньших по номеру столбцах помещаются сведения о данном показатели оценки качества (P_i).

2.3.2. В столбце 3 таблицы 4.2.11 по формуле (4.2.12) рассчитать значение комплексного показателя оценки качества для каждой системы (Q_{gMz}):

$$Q_{gMz} = \sum_{i=1}^{l} g_i \left(\frac{1 + (n - M_{Piz})}{\sum_{z=1}^{n} M_{Piz}}\right) \qquad (4.2.12)$$

2.3.3. Общий рейтинг систем (столбец 1 таблицы 4.2.11) составить по наибольшему значению комплексного показателя оценки качества систем (Q_{gMz}), аналогично пункту 2.2.2 методики:

$$Q_{gMz\max} > Q_{gMz-y} > \ldots > Q_{gMz\min} \Rightarrow 1,2,\ldots, x \qquad (4.2.13)$$

2.3.4. При формировании таблицы 4.2.12 в столбце 3 по формуле (4.2.14) определить значение комплексного показателя оценки качества для каждой системы (Q_{Mz}):

$$Q_{Mz} = \sum_{i=1}^{l} \left(\frac{1 + (n - M_{Piz})}{\sum_{z=1}^{n} M_{Piz}}\right) \qquad (4.2.14)$$

и далее в столбце 1 таблицы 4.2.12 составить общий рейтинг систем, выполнив пункт 2.3.3 настоящей методики.

2.3.5. При формировании таблицы 4.2.13 по формуле (4.2.15) в столбце 3 определить значение комплексного показателя оценки качества для каждой системы (Q_{gz}):

$$Q_{gz} = \sum_{i=1.1}^{1.l} \left(1 - \frac{g_{1.i} P_{1.i}}{P_{1.i\text{б}}}\right) + \sum_{i=2.1}^{2.l} \left(\frac{g_{2.i} P_{2.i}}{P_{2.i\text{б}}}\right) \qquad (4.2.15)$$

и далее в столбце 1 таблицы 4.2.13 составить общий рейтинг систем, выполнив пункт 2.3.3 настоящей методики.

Таблица 4.2.13

Результаты оценки качества *n* систем
на основе статистической информации с учетом нормированных коэффициентов важности показателей оценки качества (g_i) и использованием базовых значений выбранных показателей качества ($P_{i\,б}$)

Место системы в рейтинге	Система	Q_{gz}	Показатели оценки качества технических систем:							
			1 группа						2 группа	
			$P_{1.1}$, ($g_{1.1}$), ($P_{1.1\,б}$),(ед. изм.)		$P_{1.2}$, ($g_{1.2}$), ($P_{1.2\,б}$), (ед. изм.)		…	…	$P_{2.l}$, ($g_{2.l}$), ($P_{2.1\,б}$), (ед. изм.)	
			Колич. значение $P_{1.1}$	$1-\frac{g_{1.1}P_{1.1}}{P_{1.1б}}$	Колич. значение $P_{1.2}$	$1-\frac{g_{1.2}P_{1.2}}{P_{1.2б}}$	…	…	Колич. значение $P_{2.l}$	$\frac{g_{2.l}P_{2.l}}{P_{2.lб}}$
1	2	3	4	5	6	…	…	…	l+3	l+4
1						…	…	…		
2,…*z*, …						…	…	…		
x						…	…	…		
Максимальное значение показателя			P_{1max}		P_{2max}		…	…	P_{lmax}	
Минимальное значение показателя			P_{1min}		P_{2min}		…	…	P_{lmin}	
Результаты проверки (позволяют учитывать специфику и ограничения при функционировании системы)			если $P_{1min}<P_{1z}<P_{1max}$ то норма, иначе ошибка и система *z* удаляется из списка систем для оценки качества		если $P_{2min}<P_{2z}<P_{2max}$ то норма, иначе ошибка и система *z* удаляется из списка систем для оценки качества		…	…	если $P_{lmin}<P_{ln}<P_{lmax}$ то норма, иначе ошибка и система *z* удаляется из списка систем для оценки качества	

В качестве комментария к формулам (4.2.15) и (4.2.16) важно пояснить, что этих формулах с целью корректности расчетов значений комплексных показателей качества (Q_{gz} и Q_z) в отношении показателей качества 1 группы используются выражение: $1-\frac{g_{1.i}P_{1.i}}{P_{1.iб}}$ для формулы (4.2.15) и таблицы 4.2.13 и, соответственно, выражение: $1-\frac{P_{1.i}}{P_{1.iб}}$ для формулы (4.2.16) и таблицы 4.2.14.

2.3.6. Если ЛПР использовать при оценке таблицу 4.2.14, то тогда по формуле (4.2.16) также в столбце 3 определить значение комплексного показателя оценки качества для каждой системы (Q_z) [68, с. 119]:

$$Q_z = \sum_{i=1.1}^{1.l}\left(1 - \frac{P_{1.i}}{P_{1.i\text{б}}}\right) + \sum_{i=2.1}^{2.l}\left(\frac{P_{2.i}}{P_{2.i\text{б}}}\right) \qquad (4.2.16)$$

и далее в столбце 1 таблицы 4.2.14 составить общий рейтинг систем, выполнив пункт 2.3.3 настоящей методики.

Таблица 4.2.14

Результаты оценки качества систем

на основе статистической информации без учета нормированных коэффициентов важности показателей оценки качества и использованием базовых значений выбранных показателей качества ($P_{i\,б}$)

Место системы в рейтинге	Система	Q_z	Показатели оценки качества технических систем:							
			1 группа						2 группа	
			$P_{1.1}$, ($P_{1.1\,б}$),(ед. изм.)		$P_{1.2}$, ($P_{1.2\,б}$), (ед. изм.)		…	…	$P_{2.l}$, ($P_{2.1\,б}$), (ед. изм.)	
			Колич. значение $P_{1.1}$	$1-\frac{P_{1.1}}{P_{1.1б}}$	Колич. значение $P_{1.2}$	$1-\frac{P_{1.2}}{P_{1.2б}}$	…	…	Колич. значение $P_{2.l}$	$\frac{P_{2.l}}{P_{2.lб}}$
1	2	3	4	5	6	…	…	…	l+3	l+4
1						…	…	…		
2,…z, …						…	…	…		
x						…	…	…		
Максимальное значение показателя			P_{1max}		P_{2max}		…	…	P_{lmax}	
Минимальное значение показателя			P_{1min}		P_{2min}		…	…	P_{lmin}	
Результаты проверки (позволяют учитывать специфику и ограничения при функционировании системы)			если $P_{1min} < P_{1z} < P_{1max}$ то норма, иначе ошибка и система z удаляется из списка систем для оценки качества		если $P_{2min} < P_{2z} < P_{2max}$ то норма, иначе ошибка и система z удаляется из списка систем для оценки качества		…	…	если $P_{lmin} < P_{ln} < P_{lmax}$ то норма, иначе ошибка и система z удаляется из списка систем для оценки качества	

2.3.7. При необходимости ЛПР или должностное лицо в таблицах 4.2.11, 4.2.12, 4.2.13 и 4.2.14 вводит ограничения на предельно допустимые количественные значения показателей: P_{imax} и P_{imin}. Далее программа проверяет выполнение условия: если $P_{imin} < P_{iz} < P_{imax}$ – тогда значение показателя для системы z соответствует заданным пределам (норма), иначе ошибка и программа удаляет систему из списка выбранных систем в данных таблицах.

Условие соблюдения допустимого диапазона значений показателей предназначено для учета специфики эксплуатации системы [42].

2.3.8. Если были использованы все 4 способа или 2 и более, то при необходимости можно составить рейтинг систем (таблица 4.2.15) по результатам, полученным четырьмя различными способами и представленными в таблицах 4.2.11, 4.2.12, 4.2.13 и 4.2.14.

Таблица 4.2.15

Рейтинг систем по результатам оценки качества четырьмя способами

Место в общем рейтинге	Система	Сумма баллов по рейтингам	Место в рейтинге при оценке качества различными способами по результатам оценки, систематизированным в таблицах:			
			Таблица 4.2.11	Таблица 4.2.12	Таблица 4.2.13	Таблица 4.2.14
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3,…*z*,…						
x-1						
x						

Место каждой системы (z) в общем рейтинге определить по наибольшему значению суммы набранных баллов B_{jz}:

$$B_{jz\,max} > B_{jz\text{-}y} > \ldots > B_{jz\,min} \Rightarrow 1,2,\ldots, x \qquad (4.2.17)$$

Для этого количественное значение суммы набранных баллов B_{jz} для каждой системы рассчитать по формуле:

$$B_{jz} = \sum_{j=1}^{i} (1 + n_j - Z_j) \qquad (4.2.18)$$

где Z_j– это место системы z в рейтинге систем j-таблице (в таблицах 4.2.11, 4.2.12, 4.2.13 и 4.2.14);

n_j – максимальное количество мест в рейтинге систем, составленным j-способом, равное количеству сравниваемых систем.

При этом значение n_j может быть меньше количества сравниваемых систем в случае, если несколько систем получат равные суммы баллов: $x \leq n$. [21, 23, 68].

Комментарии ко II этапу Методики:

1. Методика позволяет ЛПР или должным лицам органов управления выбрать один из четырех способов оценки (таблицы 4.2.11, 4.2.12, 4.2.13 или 4.2.14) и далее не выполнять п.2.3.8. Методики.

2. Достоинство применения первого и второго способа Методики (табл. 4.2.11 и 4.2.12) в том, что должностному лицу не требуется использовать базовые значения выбранных показателей качества ($P_{i\text{б}}$), то есть появляется дополнительный резерв времени за счет сокращения времени поиска и ввода $P_{i\text{б}}$ по каждой из оцениваемых систем.

3. Представленные табличные формы предназначены для более детального рассмотрения Методики и на практики при программной реализации Методики рационально использовать взаимосвязанные таблицы без дополнительных поясняющих столбцов и строк.

4. II этап Методики может выполняться самостоятельно при эксплуатации оцениваемых систем при наличии необходимых исходных данных о действительных значениях показателей качества.

III этап. Сбор и обработка экспертной информации из различных источников и (или) получение экспертной информации с помощью опроса экспертов. Оценка качества систем на основе экспертной информации.

3.1. Подготовить таблицу для сбора, обработки и оценки качества систем на основе мнения экспертов (должностных лиц) при помощи усовершенствованного

метода парных сравнений – таблица 4.2.16, составленная на основе таблицы 2.3.1 из параграфа № 2.3 диссертации.

3.1.1. Составить таблицу обработки и систематизации экспертной информации при оценке качества выбранных систем (таблица 4.2.16) усовершенствованным методом парных сравнений (параграф № 2.3 диссертации) в электронном виде с помощью программных средств.

Таблица 4.2.16

Таблица обработки и систематизации экспертной информации
при оценке качества *n* систем усовершенствованным методом парных сравнений
с учетом источников информации, использовавшихся
_____ экспертом и датой получения этой информации

№ эксперта _____	Системы				Коэф. качест.,	Кол-во баллов,	Пров-ка	Источники информ. о системах		Дата
Системы	1	2,…z,…	*n-1*	*n*	K_z	B_z		Внут-ренние	Внеш-ние	
1	2	….	n	n+1	n+2	n+3	n+4	n+5	n+6	n+7
1	1	$\underline{R_{1z}}$	$\underline{R_{1(n-1)}}$	$\underline{R_{1n}}$	K_1	B_1				
2	2- R_{12}	T2.3.2*	T2.3.2*	T2.3.2*	K_2	B_2				
3	2- R_{13}	T2.3.2*	T2.3.2*	T2.3.2*	K_3	B_3				
…z,…	2- R_{1z}	1	T2.3.2*	T2.3.2*	K_z	B_z				
n-1	2-$R_{1(n-1)}$	$R_{(n-1)z}=2-R_{z(n-1)}$	1	T2.3.2*	$K_{(n-1)}$	$B_{(n-1)}$				
n	2-R_{1n}	$R_{nz}=2-R_{zn}$	2- $R_{(n-1)n}$	1	K_n	B_n				
Сумма:										
Проверка данных на непротиворечивость: в соответствии с проверочной таблицей 2.3.3 параграфа № 2.3 диссертации										
* Примечание: Примечание: «Т 2.3.2» - означает, что данная ячейка заполняется программой автоматически при помощи правил логических выводов, систематизированных в таблице 2.3.2 параграфа № 2.3 диссертации										

Столбцы (n+5) и (n+6) таблицы 4.2.16 эксперт заполняет в случае, если он пользовался источниками информации, которые подтверждают его экспертное мнение. Если эксперт не пользовался источниками информации, то столбцы (n+5) и (n+6) таблицы 4.2.16 он не заполняет.

Таблица 4.2.16 составляется с обязательной возможностью добавления систем. Данное требование обеспечивает оперативный учет изменений технологий, появления новых систем (изделий) с лучшими характеристиками и возможность оперативного получения ЛПР информации о новых системах и технологиях, ссылок на источники этой информации и мнения экспертов [74, С. 108].

3.1.2. Количество таблиц должно соответствовать числу экспертов. Каждый эксперт работает со своей персональной таблицей ввода и обработки данных.

В зависимости от конфиденциальности вводимой информации ввод данных и доступ к результатам оценки может осуществляться на соответствующей ЭВМ или дистанционно по локальной вычислительной сети (далее – ЛВС).

Методика позволяет проводить обработку несекретной информации и опрос экспертов дистанционно с использованием сети Интернет.

3.1.3. В таблице 4.2.16 программно реализовать следующие функции:

- сокращение времени работы эксперта и минимизация ввода данных экспертами в свои персональные таблицы за счет автоматического заполнения максимально возможного количества ячеек по правилам логических выводов усовершенствованного метода парных сравнений систем, систематизированных в таблице 2.3.2 параграфа № 2.3 диссертации;

- проверку введенных данных на непротиворечивость и (или) ввод ложной информации (ошибку оператора или эксперта) при помощи формул 2.3.9 – 2.3.14 и таблицы 2.3.3 с проверочными значениями согласно усовершенствованного метода парных сравнений систем (параграф № 2.3 диссертации);

- автоматическую оценку качества систем по выбранному показателю в режиме реального времени и с учетом нормированных весовых коэффициентов экспертов [49];

- соответствующие ячейки таблиц должны быть связаны и обеспечивать корректное изменение данных и результатов расчетов в случае изменения исходных данных, включая изменения нормированных весовых коэффициентов экспертов, нормированных весовых коэффициентов показателей оценки качества,

количества экспертов, количества систем, количества показателей оценки качества систем [49, с. 96-97].

3.2. Правила проведения опроса экспертов и (или) изучения мнений специалистов как экспертов в исследуемой предметной области с помощью внутренних и внешних источников информации.

3.2.1. Перед началом опроса каждый эксперт должен изучить и далее выполнять нижеперечисленные пункты 3.2.2 – 3.2.7 настоящей Методики.

3.2.2. Эксперт заполняет таблицу 4.2.5, в которую вносит исходные данные для оценки своей компетентности как эксперта (пункт 1.4.5. Методики).

3.2.3. Эксперт при работе с таблицей 4.2.16 в крайнем левом углу ставит свой номер или указывает другие идентифицирующие эксперта данные, установленные должностным лицом, проводящим экспертизу. Далее заполняет столбцы (n+5) и (n+6) таблицы 4.2.16, указывая реквизиты источников информации:

- в столбец (n+5) заносятся внутренние источники информации;

- в столбец (n+6) заносятся внешние источники информации.

В столбце (n+7) указывается дата получения информации из соответствующего источника, на основе которой эксперт принял решение при сравнении систем. Например, дата доступа к сайту сети Интернет.

3.2.4. Эксперт должен работать только с правой верхней частью таблицы 4.2.16, то есть в правой верхней части квадрата, разделенной по диагонали отрезком из результатов сравнений каждой системы с самой собой – «1».

3.2.5. Эксперт вводит исходные данные: заполняя слева направо только верхнюю строчку таблицы. Далее на основе этих исходных данных программа в соответствии с правилами, систематизированными в таблице 2.3.2, рассчитывает возможные варианты значений $R_{z(z-1)}$ и проставляет полученные результаты в соответствующие ячейки таблицы 4.2.16.

3.2.6. Если в какой-то ячейке таблицы 4.2.16 появляется знак «?», то это означает, что логический вывод программе сделать невозможно и эксперту необходимо самостоятельно сравнить соответствующие системы и ввести полученное значение $R_{z(z+1)}$ в ячейку, где появился знак «?».

3.2.7. Эксперт не выполняет другие действия, кроме действий, описанных в пункте 3.2. настоящей Методики.

3.3. Оценка качества систем на основе использования экспертной информации (таблица 4.2.17).

Таблица 4.2.17

Результаты оценки качества систем на основе использования экспертной информации (мнений *j* экспертов) с учетом нормированных весовых коэффициентов компетентности экспертов *(q_j)*

Место системы в рейтинге, $N_{эи}$	Система	$\sum q_i K_z$	Результаты оценки качества *n* систем *j* экспертами с учетом нормированных весовых коэффициентов компетентности экспертов, $q_i K_z$							
			1	2	3	…	*i*	…	*j – 1*	*j*
1	2	3	4	5	6	…	…	…	*j+2*	*j+3*
1						…		…		
2, …						…		…		
x						…		…		

3.3.1. Результаты оценки качества систем на основе использования экспертной информации (мнений *j* экспертов) автоматически рассчитываются с помощью выбранных программных средств на основе исходных данных, полученных при заполнении экспертами таблицы 4.2.16.

3.3.2. Место каждой системы в рейтинге по результатам оценки качества при использовании экспертной информации ($N_{эи}$) определяется по наибольшему значению коэффициента качества системы ($K_{эи}$), по формуле [74, с. 106]:

$$K_{эиz} = \sum_{n=1}^{j} q_i K_z \qquad (4.2.19)$$

Рейтинг составляется по аналогичным правилам, описанным в пункте 2.2.2 настоящей методики (формула 4.2.12):

$$K_{эиz\,max} > K_{эиz\text{-}y} > \ldots > K_{эиz\,min} \Rightarrow 1,2,\ldots, x \qquad (4.2.20)$$

3.4.3. Если ЛПР принято решение не учитывать нормированные весовые коэффициенты компетентности экспертов *(q_j)*, то в этом случае в формуле (4.2.17) $q_j = 1$ и $K_{эи}$ рассчитывается по формуле:

$$K_{эиz} = \sum_{n=1}^{j} K_z \qquad (4.2.21)$$

IV этап. Составление рейтинга систем по результатам оценки качества и представление результатов оценки качества систем ЛПР.

4.1. Составление рейтинга систем по результатам оценки качества (таблица 4.2.18).

Таблица 4.2.18

Рейтинг систем по результатам оценки качества

Место в общем рейтинге	Система	Сумма баллов по рейтингам, $B_N = 1+2n - N_{си} - N_{эи}$	Место в рейтинге по результатам оценки качества при использовании:	
			статистической информации ($N_{си}$)	экспертной информации ($N_{эи}$)
1				
2, 3, …, *x-1,*				
x				

4.1.1. Результаты оценки качества систем на основе использования экспертной информации (мнений j экспертов) автоматически рассчитываются с помощью выбранных программных средств на основе исходных данных, полученных при заполнении экспертами таблицы 4.2.15 и таблицы 4.2.17.

При этом по решению ЛПР или должностного лица, проводящего экспертизу, с целью наиболее полного учета специфики эксплуатации оцениваемой системы вместо таблицы 4.2.15 возможно использование таблиц (4.2.11 - 4.2.14).

4.1.2. Место каждой системы в общем рейтинге (таблица 4.2.18) определяется по наибольшему значению суммы баллов (B_{Nz}):

$$B_{Nz} = 1 + 2n - N_{сиz} - N_{эиz} \qquad (4.2.22)$$

где $N_{сиz}$ – место системы в рейтинге по результатам оценки качества при использовании статистической информации,

$N_{эиz}$ – место системы в рейтинге по результатам оценки качества при использовании экспертной информации.

Рейтинг составляется по аналогичным правилам, описанным в пункте 2.2.2 настоящей методики (формула 2.5):

$$B_{Nzmax} > B_{Nz-y} > ... > B_{Nzmin} \Rightarrow 1,2,..., x \qquad (4.2.23)$$

4.2. Представление результатов оценки качества ЛПР.

Может осуществляться в двух вариантах:

4.2.1. В виде краткого доклада.

Сведения, систематизированные в таблице 4.2.18 и (или) в виде диаграммы на основе рейтинга из таблицы 4.2.18.

4.2.2. В виде основного доклада.

В этом варианте ЛПР представляют сведения, систематизированные в таблицах, в соответствии с тем каким способом проводилась оценка (какие были использованы таблицы: 4.2.6, 4.2.13, 4.2.14, 4.2.15, 4.2.17 и (или) 4.2.18), а также диаграммах, составленных на основе этих сведений.

4.2.3. При необходимости должностное лицо, проводившее оценку качества, представляет выводы и (или) комментарии к данным докладам.

V этап. Обратная связь [42, 162].

5.1. Обратная связь осуществляется путем оценки достигнутого эффекта от выполнения управленческого решения, принятого ЛПР на основе результатов оценки качества по данной Методике.

5.2. Достигнутый эффект рекомендуется оценивать с помощью методики оценки эффективности систем совместно с программой для ЭВМ «Анализ и оценка эффективности систем», разработанных в параграфе № 2.4 диссертации (схема Методики – рисунок 4.1.1).

Рекомендации по рациональному применению Методики изложены далее в параграфе № 5.3 диссертации.

Пример применения Методики представлен в приложении А диссертации.

Выводы по четвертой главе

Методика разработана для наиболее эффективного использования в модели сопровождения систем в качестве важнейшей составной её части «Оценка качества», представленной далее в схеме на рисунке 5.1.1 «Модель сопровождения систем в процессе эксплуатации и рациональная организация работы по совершенствованию и развитию БТС» для рационального достижения цели диссертационного исследования.

Для этого в Методике реализованы результаты теоретической части работы в части, касающейся применения структурно-функциональной модели, усовершенствованного метода парных сравнений и динамической модели БТС (глава 2 диссертации).

Методика представляет собой комплекс взаимосвязанных элементов в виде этапов Методики, которые при необходимости могут применяться самостоятельно.

Применение систематизированных расчетных таблиц и формализация правил логических выводов обеспечивает дешевизну и простоту ее программной реализации на различных БТС, а также выбора лучшей системы и вывода результатов оценки в виде таблиц, диаграмм и графиков – пример применения Методики в приложении А к диссертации.

Методика позволяет без затрат дополнительных ресурсов существенно уменьшить время оценки качества и способствует поддержанию в актуальном состоянии информационных резервов БТС.

Кроме того, в соответствии с первым Принципом, предлагаемая Методика может быть использована для снижения риска принятия неправильных управленческих решений в процессе эксплуатации систем, в том числе и при выборе лучшей технической системы (изделия) в процессе импортозамещения.

Таким образом, Методика представляет собой новое научно обоснованное методологическое решение в сфере повышения эффективности управления эксплуатацией БТС.

Глава 5. Модели и алгоритмическое обеспечение систем принятия решений при сопровождении больших технических систем в процессе эксплуатации

5.1. Модель сопровождения технических систем в процессе эксплуатации

Логическим продолжением диссертационного исследования стало создание модели сопровождения технических систем в процессе эксплуатации (далее – Модель) – рисунок 5.1.1.

Важность эффективного функционирования БТС предопределяет необходимость совершенствования организационно-технических мер в области сопровождения БТС на этапе эксплуатации, включая оценку их качества [48].

Исследования предметной области выявили ряд нерешенных задач в части рациональной организации работ по совершенствованию и развитию систем на основе современных апробированных методик оценки качества с использованием больших объемов разнообразной информации из различных источников. Обобщенные сведения о подмножествах наборов данных характеристик сложных систем, существующих методологических подходов к оценке качества, представлены в таблице 5.1.1.

Каждый из наборов данных формируется подсистемой мониторинга БТС: технологическими и визуальными данными – от источников (компонентов БТС), как правило, территориально-разнесенных, о функционировании компонент БТС; текстовыми и графическими данными – от внешних систем; данными о прецедентах событиях (ситуациях) и предупреждающих (корректирующих) действиях (ситуационного управления) – от подсистемы предварительной обработки данных БТС (рис. 5.1.2 и рис. 5.1.3).

Для хранения данных о прецедентах и действиях необходимо создать информационные резервы для оценки качества и разработать процедуры работы с ними, так как большинство управленческих решений в эксплуатации и техническом обеспечении принимаются после сбора и обработки необходимой

информации на основе результатов оценки качества БТС – эта задача решена в параграфе № 5.2 диссертации.

Таблица 5.1.1.

Наборы данных в моделях качества систем

№№ п/п	Наборы данных	Описание	Методологический подход
1	<Мкп>	Мкп - модель качества продукции (технических средств).	ГОСТ 15467 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения (с Изменением № 1); ГОСТ Р 58777 (для технических средств) Воздушный транспорт. Аэропорты. Технические средства досмотра. Методика определения показателей качества распознавания незаконных вложений по теневым рентгеновским изображениям.
2	<Мквн, Мквнеш>	Мк - модель качества внутренняя; Мки - модель качества внешняя.	ИСО/МЭК 9126 (для программных средств) Программная инженерия – Качество продукта.
3	<Мк, Мки, Мкд>	Мк - модель качества; Мки - модель качества при использовании; Мкд - модель качества данных.	ISO/IEC 25000-25099 (для автоматизированных систем и программных средств) Например, ISO /IEC 25000:2014 Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Guide to SQuaRE.

Наиболее рациональным подходом решения комплекса задач при эксплуатации и техническом обеспечении БТС является разработка и применение модели сопровождения систем и способа формирования информационных резервов для оценки качества систем и рациональной работы с информационными ресурсами (параграф № 5.2 диссертации) для реализации проактивного управления.

Разработка Модели (рис. 5.1.1) и Способа должна обеспечить [40]:

- существенное сокращение продолжительности времени сбора, обработки данных, оценки эффективности и качества систем и трудозатрат персонала;

- увеличение объема обрабатываемой информации при незначительном расходе ресурсов и временных затратах [20];

- своевременное, наглядное и информативное представление сведений ЛПР.

Решение комплекса задач требуется реализовать программными средствами [43, 44, 45, 46, 47], самостоятельно разработанными автором в процессе выполнения диссертационного исследования, и которые далее будут подробно описаны в диссертации. Схема комплексного применения данных программ для ЭВМ [43, 44, 45, 46, 47] в составе Способа для реализации предлагаемой Модели представлена в параграфе № 5.2 на рисунке 5.2.3.

Анализ уровня проработанности методологических походов организационно-технических мер в области сопровождения БТС на этапе эксплуатации, включая оценку их качества, указывают на достаточно глубокую проработку частных аспектов и необходимости разработки комплексного решения.

В [206] предложена модель и разработан метод по агрегированию разнородных потоков данных от двух источников (технологических датчиков и средств) посредством их слияния на основе технологий Apache Kafka и Spark Streaming, которые можно отнести к предпроцессной обработке данных.

В [107] рассмотрена подсистема безопасности критически важных инфраструктур - одна из значимых в производственных системах, для организации управления которой предложено использовать данные мониторинга событий безопасности.

В [115] исследуется возможность применения и сопровождения универсальных механизмов уникальных обращения пользователей к «озеру данных» территориально-распределенных хранилищ данных в соответствии с реальными условиями эксплуатации систем.

В [202] представлены результаты анализа преимуществ и недостатков различных методов оценки качества программных средств, которые основаны на различных метриках и оригинальных подходах к группированию (кластеризации) характеристик существенных свойств компьютерных систем.

Модель, предлагаемая к рассмотрению, представляет собой инфологическое описание процесса сопровождения систем в процессе эксплуатации с учетом управляющих воздействий по поддержанию функционирования системы с заданными требованиями и процедурами по ее совершенствованию и развитию (рисунок 5.1.1) [20, с.122].

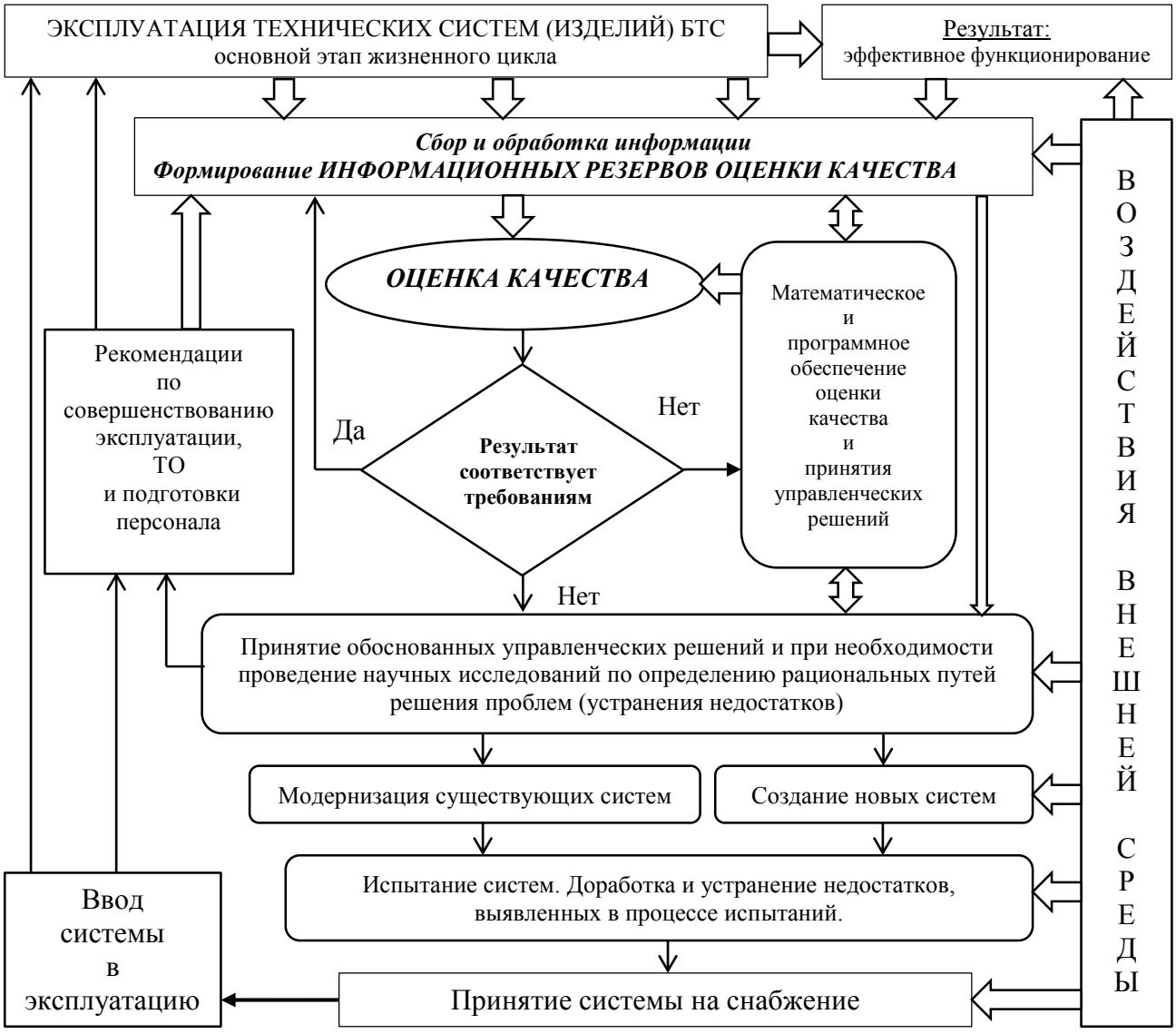


Рисунок 5.1.1. Модель сопровождения технических систем в процессе эксплуатации и рациональная организация работы по совершенствованию и развитию БТС

Важно отметить, что в составную часть Модели «ОЦЕНКА КАЧЕСТВА» (рис. 5.1.1) в качестве основы организации оценки качества входит динамическая модель БТС для рациональной оценки качества в процессе эксплуатации (рис. 2.5.1 и 2.5.2), разработанная с помощью кибернетического подхода в предыдущем параграфе 2.5 диссертации. В Модели (рис. 5.1.1.) воздействия внешней среды – это совокупность условий, влияющих на систему и результат, включая наличие ресурсов, времени, состояние и требования к системе, развитие технологий, наличие аналогичных систем, пригодных для эксплуатации в этих условиях и т.д.

Назначение Модели [48]:

1. Для определения роли, места, содержания и наиболее рационального применения информационных резервов, методологического, математического и программного обеспечения оценки качества систем в процессе эксплуатации в условиях экономии времени и ресурсов.

2. Для обеспечения рационального использования методов, способов и результатов оценки качества при принятии своевременных и обоснованных управленческих решений.

3. Для существенного снижения времени взаимодействия при оценке качества и принятия управленческих решений по результатам оценки качества.

Разработанная Модель универсальна и применима для сопровождения систем БТС различного назначения с учетом специфики их функционирования и возможных неблагоприятных условий. Модель представляет собой описание процесса сопровождения систем при эксплуатации с целью рациональной организация работы по совершенствованию и развитию систем БТС (рис. 5.1.1).

Процедуры способа формирования и использования информационных резервов системы в соответствии с Моделью представлены на рисунке 5.1.2.

Применение Модели (рис. 5.1.2) и Способа на организационном уровне (параграф № 1.2. диссертации) показало, что ЛПР по результатам оценки качества принимает одно из четырех типов управленческих решений (алгоритм – рис. 5.1.3).

Первый тип: результаты оценки качества удовлетворяют требованиям – решение не вмешиваться в функционирование систем. Выполнение данного

решения не требует затрат времени и ресурсов [26, 70].

Решения второго, третьего и четвертого типов принимаются в случае, когда результаты оценки качества не удовлетворяют требованиям и (или) прогнозируемым неблагоприятным условиям функционирования БТС.

Второй тип, самый распространенный – это управленческие решения организационно-технического характера по повышению (обеспечению) эффективности функционирования системы непосредственно в процессе эксплуатации БТС. Это решения по вопросам совершенствования эксплуатации и технического обеспечения (ТО), а также подготовки персонала. Выполнение решений второго типа обычно требует наименьшего расхода ресурсов и времени по сравнению с выполнением решений третьего и четвертого типов.

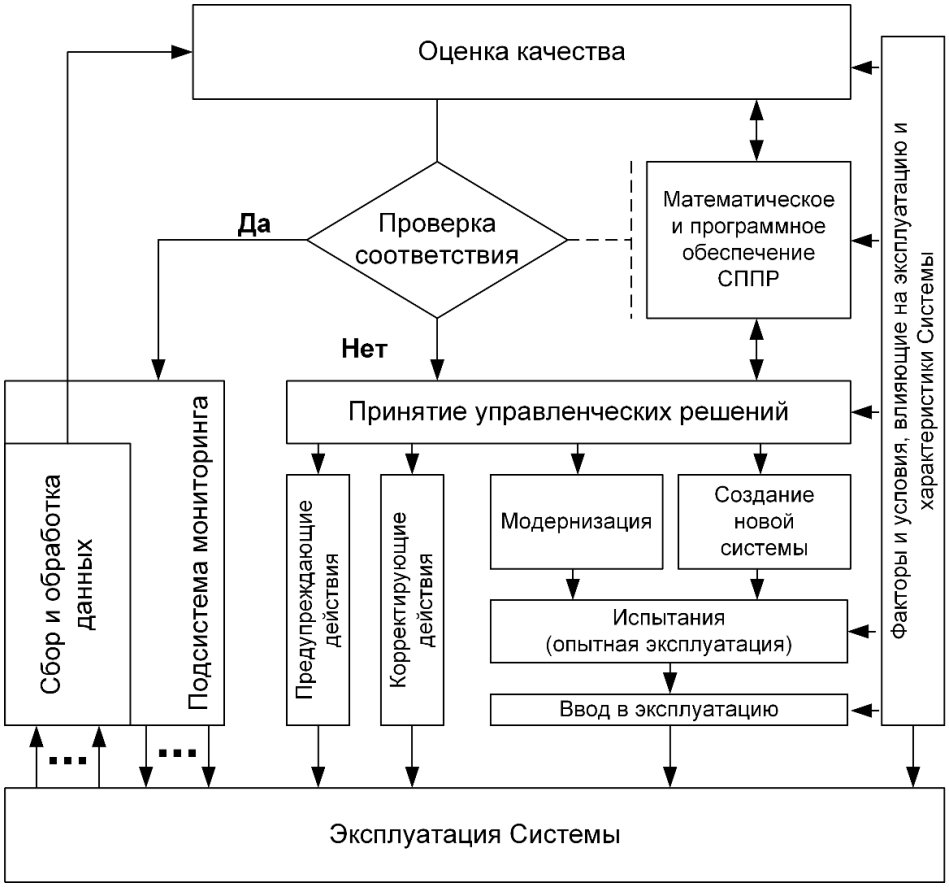


Рисунок 5.1.2. Модель сопровождения технических систем в процессе эксплуатации на организационном уровне

Третий тип решений – это решения по модернизации существующих систем. Третий тип решений принимается в случае, если определено, что второй тип решений не позволит достичь требуемого результата при заданных условиях, а создание новых систем не рационально. Продолжительность реализации таких решения составляет обычно около 3-5 лет.

Четвертый тип решений – это решения по созданию новых систем. Соответственно, решения четвертого типа принимаются в случае, если другие не позволяют достичь результата. Выполнение решений по созданию новых систем требует наибольшего расхода времени и ресурсов. В современных условиях реализация решений четвертого типа потребует, как правило, 5-10 лет и существенных капиталовложений.

Решения принимаются на основе результатов оценки качества, после сбора и обработки данных из различных источников (рис. 5.1.3 и 5.1.4). Однако, в качестве комментария к описанию четырех типов управленческих решений важно заметить, что детализация содержания (рис. 1.4.2) разработанной Модели зависит от сферы применения управленческих решений. Все многообразие управленческих решений по сфере применения можно разделить на две большие группы [26, 59, 60, 63, 70].

Первая группа: управленческие решения, принимаемые при планировании.

Рассмотренные четыре типа управленческих решений применимы для первой группы, в особенности это касается решений 2-го, 3-го и 4-го типов.

Вторая группа: управленческие решения, принимаемые в режиме реального времени при выполнении текущих и (или) новых задач, внезапно возникающих проблем и т.п. (решения в сфере оперативного управления системой) [26, с. 25-26].

Для решений в сфере оперативного управления применимы решения 1-го и 2-го типов. В то же время использование теоретической части работы (вторая глава диссертации) предоставляет широкие возможности в сфере программной реализации оценки качества (то есть снижения времени оценки) [20, с.122], что, в свою очередь, повышает актуальность и привлекательность разрабатываемой Модели и для 2-ой группы управленческих решений – в сфере оперативного управления эксплуатацией и ТО системы[40, 48].

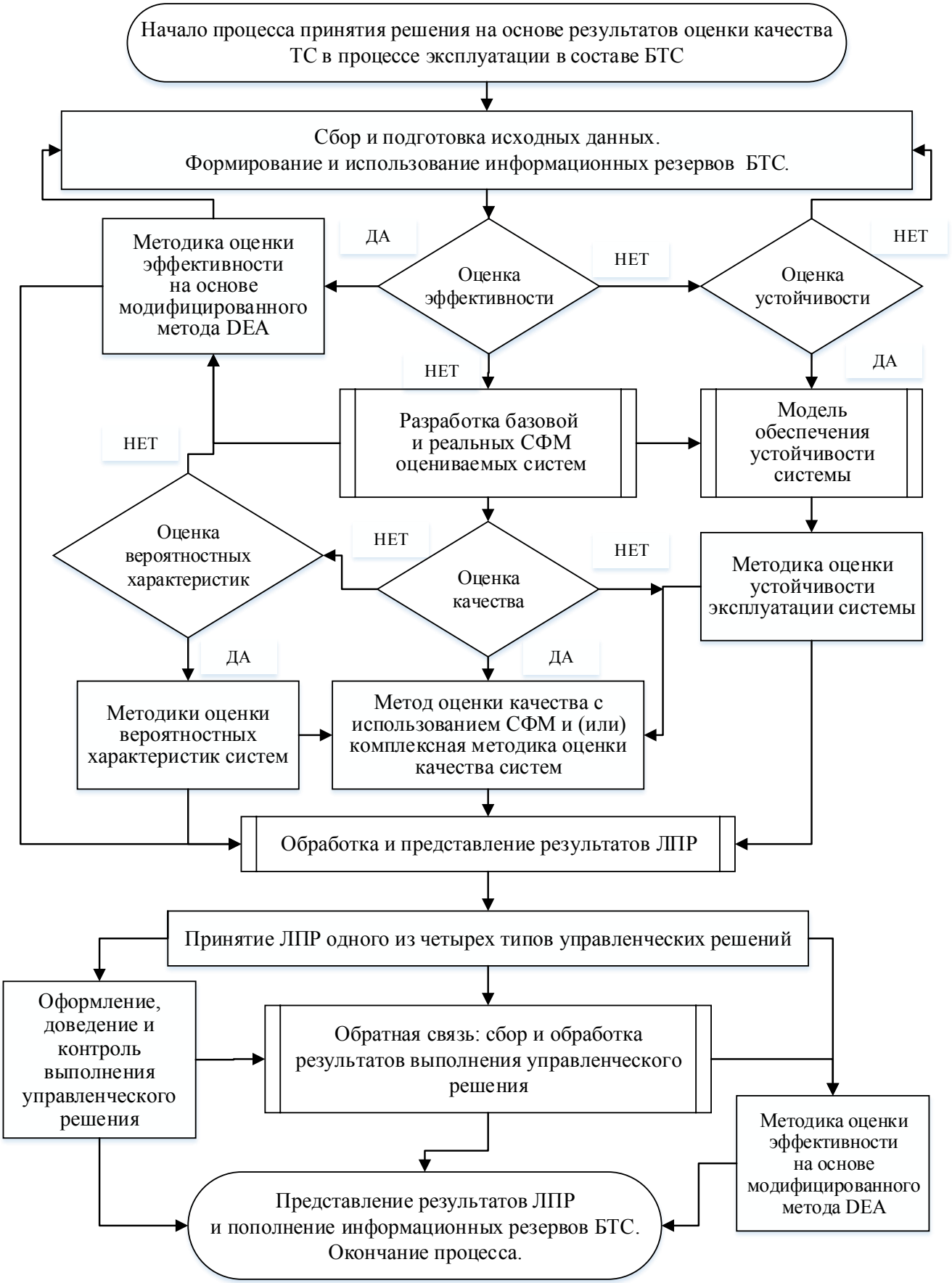


Рисунок 5.1.3. Схема алгоритма принятия решения на основе результатов оценки качества систем в процессе эксплуатации при использовании Модели и Способа

Таким образом, применение предлагаемой Модели (рис. 5.1.1) будет повышать универсальность и эффективность внедрения практической части (способов оценки качества) для рационального достижения цели диссертационного исследования. Решения принимаются на основе результатов оценки качества, после сбора и обработки необходимой информации. Поэтому в состав Модели входит схема взаимодействия при сопровождении систем БТС в процессе эксплуатации (рис. 5.1.4) [27, 29, 30, 48].

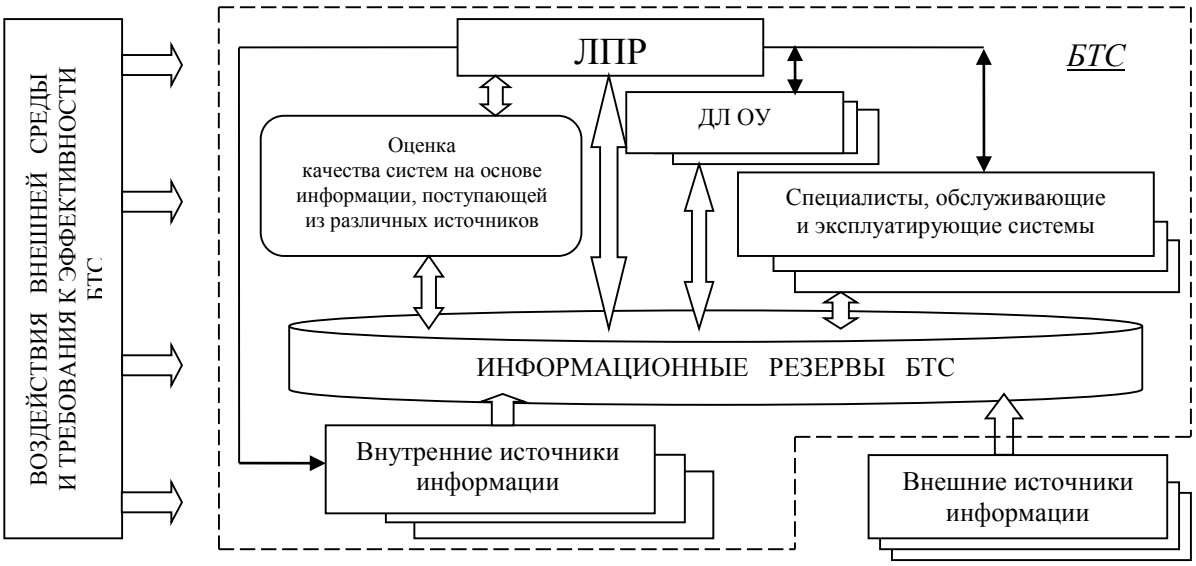


Рисунок 5.1.4. Схема взаимодействия при сопровождении систем БТС в процессе эксплуатации на основе динамической модели БТС

Актуальность и необходимость применения схемы взаимодействия (рис. 5.1.4) в составе Модели в полной мере обосновывается мнением Ю.Ю. Громова: «Информация имеет множество сторон проявления, и в плане задач управления ее нецелесообразно рассматривать в отрыве от источников ее получения и целей, достижению которых она служит.» [120, с.44].

В Модели источники информации (рис. 5.1.4) – должностные лица, эксперты, статистические отчеты, техническая документация БТС, сеть Интернет, измерительные приборы и датчики контроля состояния технических изделий в

различных режимах эксплуатации БТС и т.д. Предлагаемая Модель (рис. 3.1.1) позволяет реализовать системный подход при применении методов и способов для оценки качества в условиях разнообразия технических систем в составе БТС и с учетом современного развития технологий [48].

Однако, взамен требуется более частое обращение к внешним информационным ресурсам (рис. 5.1.4). С этой целью внешние информационные ресурсы необходимо рассматривать во взаимосвязи со временем доступа к информации и внешними источниками этой информации, то есть, учитывать, откуда и когда пользователь получил информацию. При использовании в составе Модели схемы взаимодействия (рис. 5.1.4) внешние источники информации целесообразно классифицировать следующим образом:

1. Информационные ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – Интернет).

2. Научно-техническая литература и информационно-справочные материалы: отчеты о научно-исследовательских (далее – НИР) и опытно-конструкторских работах (далее – ОКР), монографии, научные статьи, научно-методическая и учебная литература, справочники, каталоги, технические описания и инструкции по эксплуатации изделий и т.д.

3. Нормативно-правовые акты и нормативно-техническая документация (стандарты, технические условия, своды правил).

4. Техническая документация и отчетные документы (формуляры, паспорта на изделие, аппаратные журналы, отчеты, ведомости и т.д.).

5. Люди (ЛПР, должностные лица органов управления, предприятий и организаций, ученые, специалисты, персонал, пользователи и др.).

6. Дополнительные внешние источники информации: средства массовой информации, реклама технических изделий, коммерческие предложения, публичные оферты и др.

При этом важно добавить, что Интернет, как вторичный источник информации, может содержать большую часть информации из других источников.

Информацию, поступающую из внешних источников можно разделить на

статистические данные и экспертную информацию. При этом под термином «экспертная информация» целесообразно понимать всю совокупность сведений, которые можно получить от экспертов как специалистов по исследуемой системе. То есть рассматривать не только результаты прямого опроса или анкетирования экспертов, но и мнения специалистов, изложенных ими в научных статьях, докладах, монографиях, интервью и т.д.

С точки зрения рациональной организации оценки качества в процессе эксплуатации систем информацию из внешних источников можно классифицировать на два основных вида:

Первый вид информации из внешних источников – это информация в сфере функционирования, а именно об технических изделиях, перспективах, возможностях, опыте эксплуатации БТС и (или) технических систем, включая подготовку персонала, а также о возможных последствиях деструктивных воздействий.

Второй вид информации из внешних источников – это техническая информация, то есть сведения о научных исследованиях, технологиях, об аналогичных технических системах (изделиях), включая требования к условиям эксплуатации и подготовки персонала.

Для развития, совершенствования и повышения эффективности БТС, в первую очередь, необходимо рационально использовать техническую информацию о возможных перспективах развития науки и техники, об инновациях, новых технологиях, технических характеристиках изделий, опыте эксплуатации различных технических систем, аналогичным системам, которые входят в состав оцениваемых БТС [21, 22, 23, 195]. Комплексная обработка, систематизация и рациональное использование большого количества разнообразной статистической и экспертной информации из внешних источников требует решения частных проблем, связанных с рядом негативных факторов, а именно, избыточностью получаемой информации, неполнотой информации, применительно к исследуемой предметной области, неактуальностью, недостоверностью, необходимостью проверки больших массивов данных на непротиворечивость. Все это увеличивает

затраты и время на обработку, систематизацию и использование информации, что, в итоге, существенно снижает положительный эффект от ее использования при оценке систем в процессе эксплуатации. В особенности это касается информации, получаемой из сети Интернет. Также есть опасность получения заведомо ложной информации (например, от заинтересованных лиц и (или) коммерческих организаций) и (или) информационного воздействия с целью создания условия для принятия ЛПР ошибочных управленческих решений. Моделирование сопровождения систем (рис. 5.1.1) и взаимодействия (рис. 2.5.1, 2.5.2, 3.1.2) позволило сформулировать рекомендации по идентификации источников информации и систематизации информации в формируемых информационных резервах. Для этого предлагается ввести следующие основополагающие понятия:

1. Идентификатор информации (d_i), поступившей в информационные резервы, будет представлять собой выражение:

$$d_i = <C_i, M_i\, t_i> \qquad (5.1.1)$$

где C_i – идентификатор источника информации, M_i – содержание документа (оцениваемая система), t_i – время получения информации (время обращения к источнику информации).

2. Сведения и результаты оценки должны проверяться на непротиворечивость и ввод ложной информации (ошибку оператора).

Соответственно, рекомендации в дальнейшем применимы для работы с разнообразной информацией при разработке методологического, математического и программного обеспечения оценки качества БТС, а также при создании способа формирования информационных резервов оценки качества (параграф № 5.2 диссертации). В особенности данные рекомендации будут востребованы при разработке комплексной методики оценки качества технических систем в процессе эксплуатации. В диссертации данной методике полностью посвящена четвертая глава. Таким образом, разработанная Модель представляет собой новое научно обоснованное технологическое решение. В современных условиях внедрение данного решения создаёт основу проактивного управления эксплуатацией БТС.

5.2. Способ рациональной работы с информационными ресурсами больших технических систем

Способ рациональной работы с информационными ресурсами и формирования информационных резервов БТС для оценки качества систем и принятия своевременных и обоснованных управленческих решений совместно с программой для ЭВМ «Реализация способа рациональной работы с информационными ресурсами и формирования информационных резервов системы» (далее в этом параграфе – Способ и программа для ЭВМ) [35, 36, 45].

Ранее в параграфе № 5.1 диссертации рассмотрена взаимосвязь предлагаемого Способа с моделью сопровождения систем в процессе эксплуатации, а также основные исходные данные для его разработки.

На основе этого для достижения цели исследования разработана программа для ЭВМ [45], реализующая данный Способ (примеры работы с программой – рис. 5.2.1, 5.2.5 и 5.2.7).

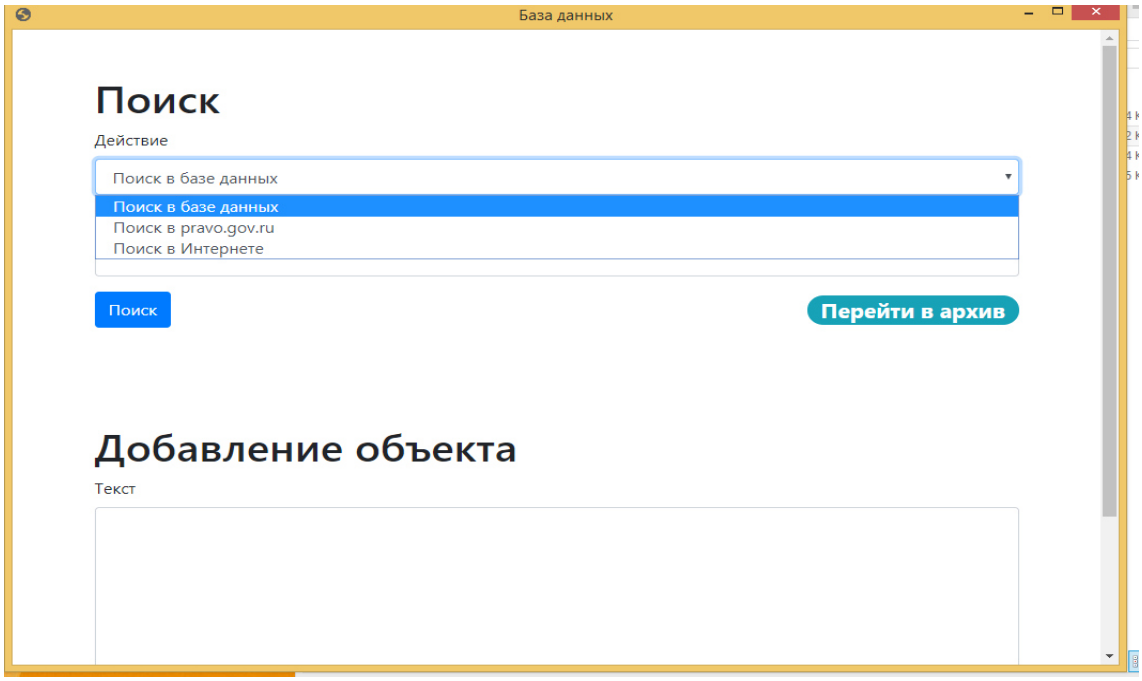


Рисунок 5.2.1. Начало работы с программой для ЭВМ: выбор источника информации

Назначение Способа и программы для ЭВМ [55]:

1. Для наиболее рационального достижения цели диссертационного исследования.

2. Для организации информационного обеспечения оценки качества систем и принятия управленческих решений по результатам этой оценки при сопровождении систем в процессе эксплуатации (рисунок 5.1.1) [33, 34, 35, 36, 162].

3. Для существенного уменьшения трудозатрат персонала и снижения времени сбора и обработки информации, а также для формирования и пополнения (поддержания в актуальном состоянии) информационных резервов (ИР) оценки качества в условиях возрастания объемов обрабатываемой информации [64, с.161].

В соответствии с разработанной моделью сопровождения систем в процессе эксплуатации в Способе реализованы процедуры формирования и использования информационных резервов сопровождаемой системы (рис. 5.2.2).

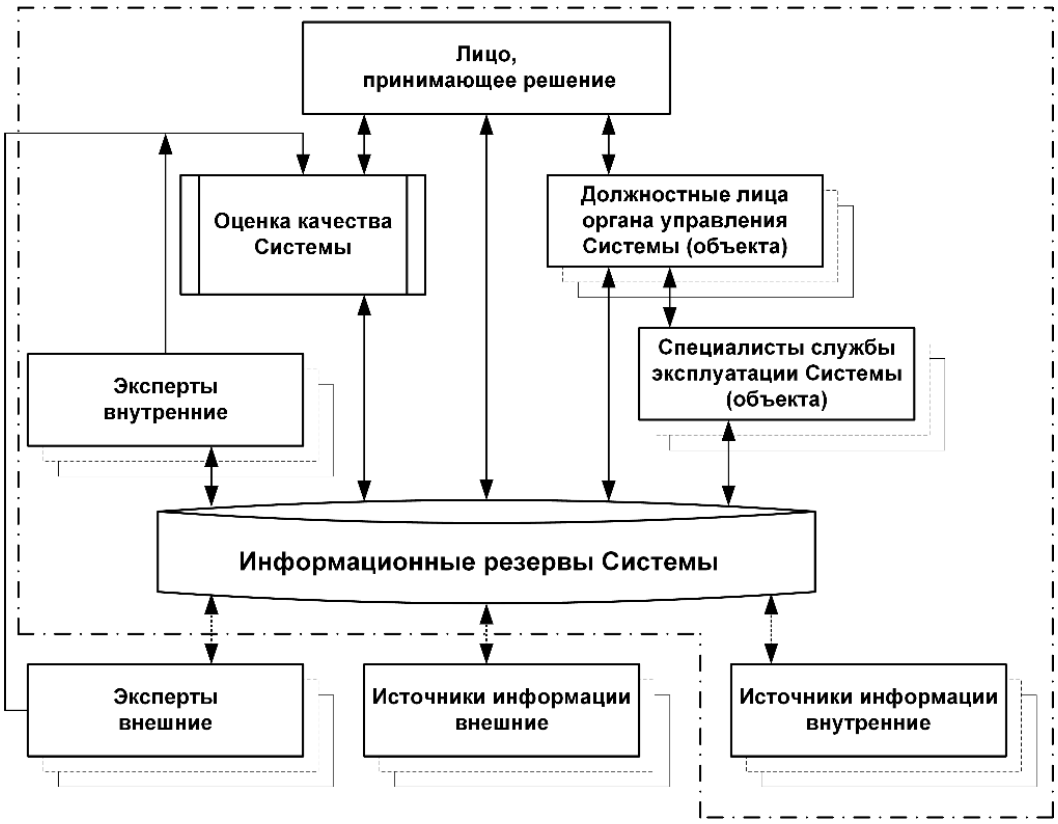


Рисунок 5.2.2. Процедуры способа формирования и использования информационных резервов системы

Особенностью разработанного Способа и программы для ЭВМ является то, что с их помощью разработанные в диссертации модели, методики и программы для ЭВМ могут эффективно использоваться в составе информационных резервов как комплексно, так и по отдельности, что повышает их универсальность, обеспечивает проактивное управление БТС [55] и дает возможность их рационального применения в соответствии с Принципами (параграф № 2.1).

Для этого Способ включает системотехнические решения в виде комплексного применения программ для ЭВМ [43, 44, 45, 46, 47] – схема на рисунке 5.2.3. Примеры расчетов и применения программ для ЭВМ представлены в приложении А к диссертации.

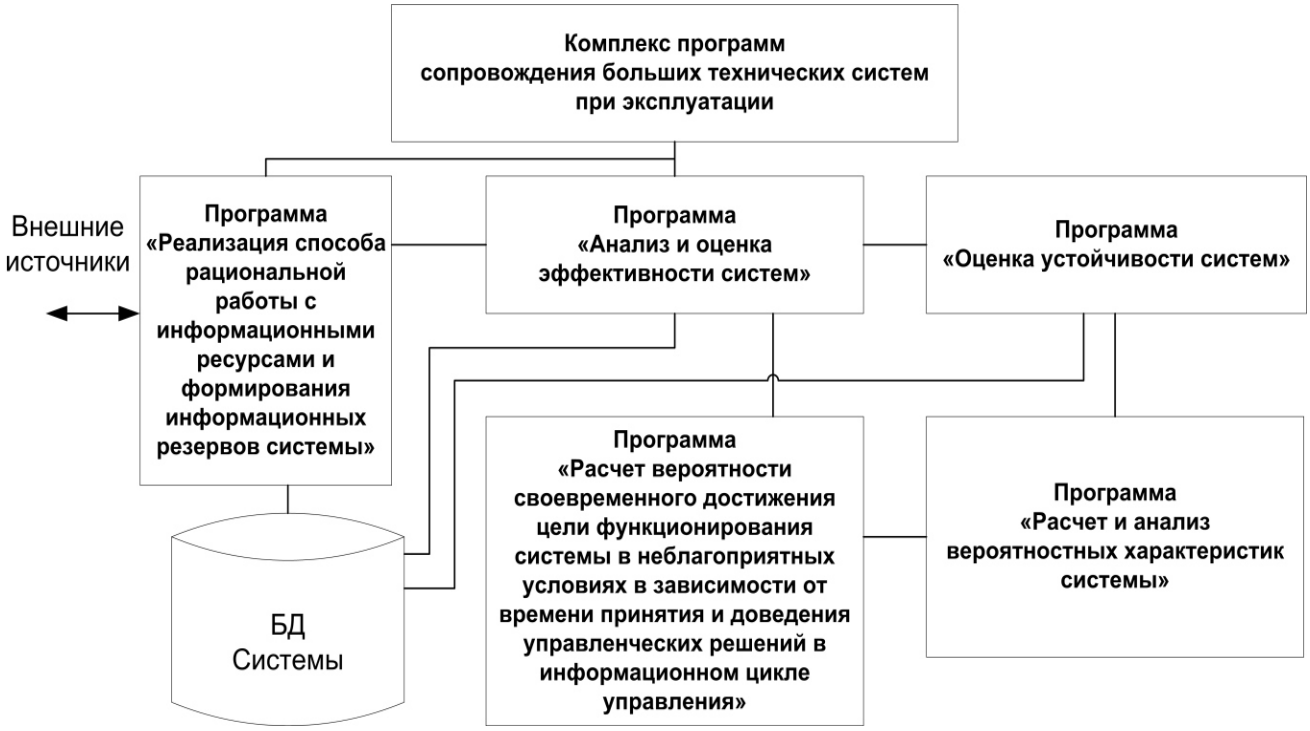


Рисунок 5.2.3. Структура разработанного комплекса программ для ЭВМ

В Способе схема на рисунке 5.2.3 реализована специально разработанными и зарегистрированными программными средствами. Программы разработаны на основе языков программирования C#, Python, JavaScript ,HTML и имеют объем от 275 Кб до 2,13 Мб. В комплексе (рис. 5.2.3) программы выполняют следующий набор взаимосвязанных функций:

Программа «Оценка устойчивости систем» [47] выполняет расчёты значений показателей качества, влияющих на устойчивость организационно-технических систем: время устойчивого функционирования, ресурсы, количество элементов, количество персонала, трудозатраты, неисправности, возможности системы по восстановлению и результаты восстановления. Формируются отчёты в виде таблиц, графиков и диаграмм в формате документов Word. Визуализация результатов в режиме реального времени.

Программа «Расчет вероятности своевременного достижения цели функционирования системы в неблагоприятных условиях в зависимости от времени принятия и доведения управленческих решений в информационном цикле управления» [43] позволяет провести расчеты на основе использования экспериментально полученных данных.

Программа «Расчет и анализ вероятностных характеристик системы» [44] позволяет проводить расчет вероятности отказов (неисправностей) задаваемого числа элементов системы и кумулятивной вероятности в зависимости от общего количество отказов элементов в системе; построение и сравнение графиков и таблиц, а также их сохранение и экспорт в Word и(или) в Excel.

Программа «Анализ и оценка эффективности системы» [46] позволяет сравнивать системы (периоды времени) по результату и (или) показателю функционирования систем, а также по соотношению израсходованных ресурсов и результата. Предусмотрена возможность формирования отчётов в формате документов в формате Word, а также визуализации полученных результатов в режиме реального времени.

Программа «Реализация способа рациональной работы с информационными ресурсами и формирования информационных резервов системы» [45] обеспечивает поиск информации, а также формирование информационных резервов системы по требуемой предметной области, состоящей из базы данных, в которой хранится наиболее часто востребованная информация и архива, в который помещается более подробная информация по заданной предметной области.

Таким образом, Способ и программа для ЭВМ [45], разработанные как

важнейший самостоятельный элемент практической части исследования, дополнительно позволяет выполнять следующие частные задачи:

- существенное снижение трудозатрат и времени выполнения рутинных операций сбора и обработки информации в процессе оценки качества;

- формирование (пополнение) ИР и поддержание их в актуальном состоянии;

- систематизация больших объемов информации в ИР БТС [90, с.55];

- существенное уменьшение времени поиска информации, количества обращений и времени доступа к информационным ресурсам сети Интернет;

- ведение БД (реестров) источников информации (таблицы 5.2.1 – 5.2.4), включая экспертов, и их ранжирование в зависимости от количества обращений и полезности (достоверности и актуальности) получаемой информации;

- снижение негативных последствий избыточности информации;

- противодействие вводу ложной информации;

- снижение количества ИЦУ и времени выполнения ИЦУ и, как следствие, существенное уменьшение времени подготовки и принятия решений.

Сущность способа состоит том, что при сборе и обработке информации выполняются действия в соответствии со схемой на рисунке 5.2.4. Информация и применяемые программные средства систематизируются в ИР БТС (рис. 5.2.6).

ИР состоят из БД основных сведений о системе и архива (рис. 5.2.6).

ИР БТС (рис. 5.2.4) формируются из следующих взаимосвязанных ИР:

- технических систем, входящих в состав БТС (системы связи и АСУ, системы жизнеобеспечения, системы электропитания и т.д.);

- эксплуатации и ТО БТС;

- сведений об устойчивости БТС в неблагоприятных условиях;

- нормативно-правовых актов и нормативно-технических документов, необходимых для обеспечения функционирования БТС (системы);

- методического обеспечения, математического и программного обеспечения в составе методик анализа и оценки систем, рекомендаций, программ для ЭВМ, применяемых должностными лицами в процессе эксплуатации БТС, включая разработанные в диссертации методы и способы [33, 35].

Рисунок 5.2.4. Схема алгоритма способа рациональной работы с информационными ресурсами БТС

Содержание информационных резервов системы:

1. БД основных сведений о системе.

Содержит наиболее часто запрашиваемые сведения в виде текстовых документов, содержащих краткую информацию по интересующему вопросу.

Виды документов: отчеты, доклады, выводы по результатам оценки эффективности и качества, рейтинги систем, сведения об устойчивости, выписки, справки и др.

Документы в БД основных сведений о системе содержат ссылки на информацию в архиве (пример – рисунок 5.2.5).

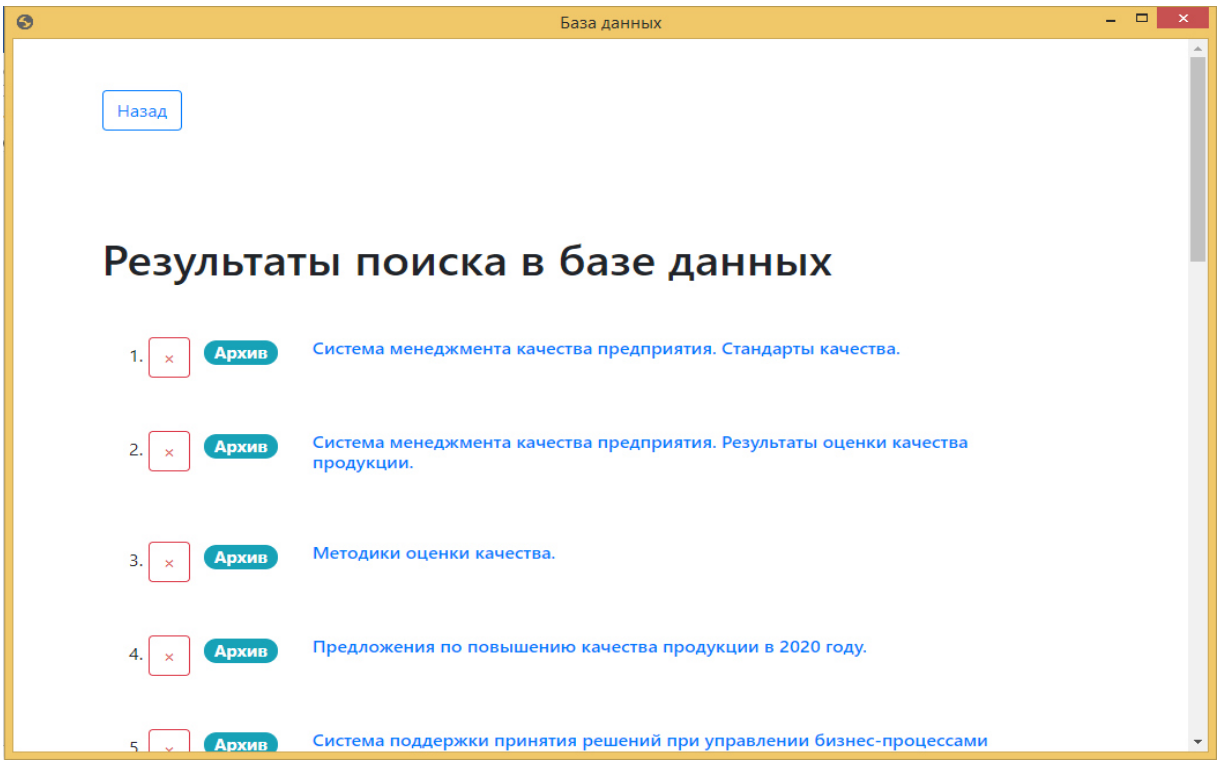


Рисунок 5.2.5. Пример работы программы для ЭВМ:
результаты поиска в БД

2. Архив.

Содержит все имеющиеся сведения о системе в виде текстовых документов, шаблонов оформления служебных документов, таблиц, графиков, рисунков, фотографий, аудио и видео файлов, БД источников информации (таблицы 5.2.1 – 5.2.4) и др.

Файлы в архиве содержат ссылки на источники получения информации, содержащейся в этих файлах. Типовые формы БД (реестров) источников информации, содержащихся в ИР БТС, представлены в виде таблиц 5.2.1 – 5.2.4.

Алгоритм формирования и ведения реестров источников информации во внутренних информационных ресурсах БТС представлен на рисунке 5.2.7.

В соответствии с этим объектами учета в БД (реестрах) источников информации являются структурированные и неструктурированные данные внутренних ($И_{вн}$) и внешних ($И_{внеш}$) источников информации, внутренних ($Э_{вн}$) и

внешних ($Э_{внеш}$) экспертов и ряд других объектов, которые можно описать через множество параметров и представить в виде [40]:

а) совокупности множеств источников (И) и экспертов (Э) в виде:

$$И = \{И_{внk}, И_{внешl}, k=1,K; l=1,L\},$$

$$Э = \{Э_{внi}, Э_{внешi}, i=1,I; j=1,J\},$$

где $И_{внk}$, $И_{внешl}$ – множество шаблонов данных по источникам; $Э_{внi}$, $Э_{внешi}$ – множество шаблонов данных по экспертам; k, l, i, j – количество шаблонных форм по предметным областям (техническим системам, изделиям) компонент и БТС в целом;

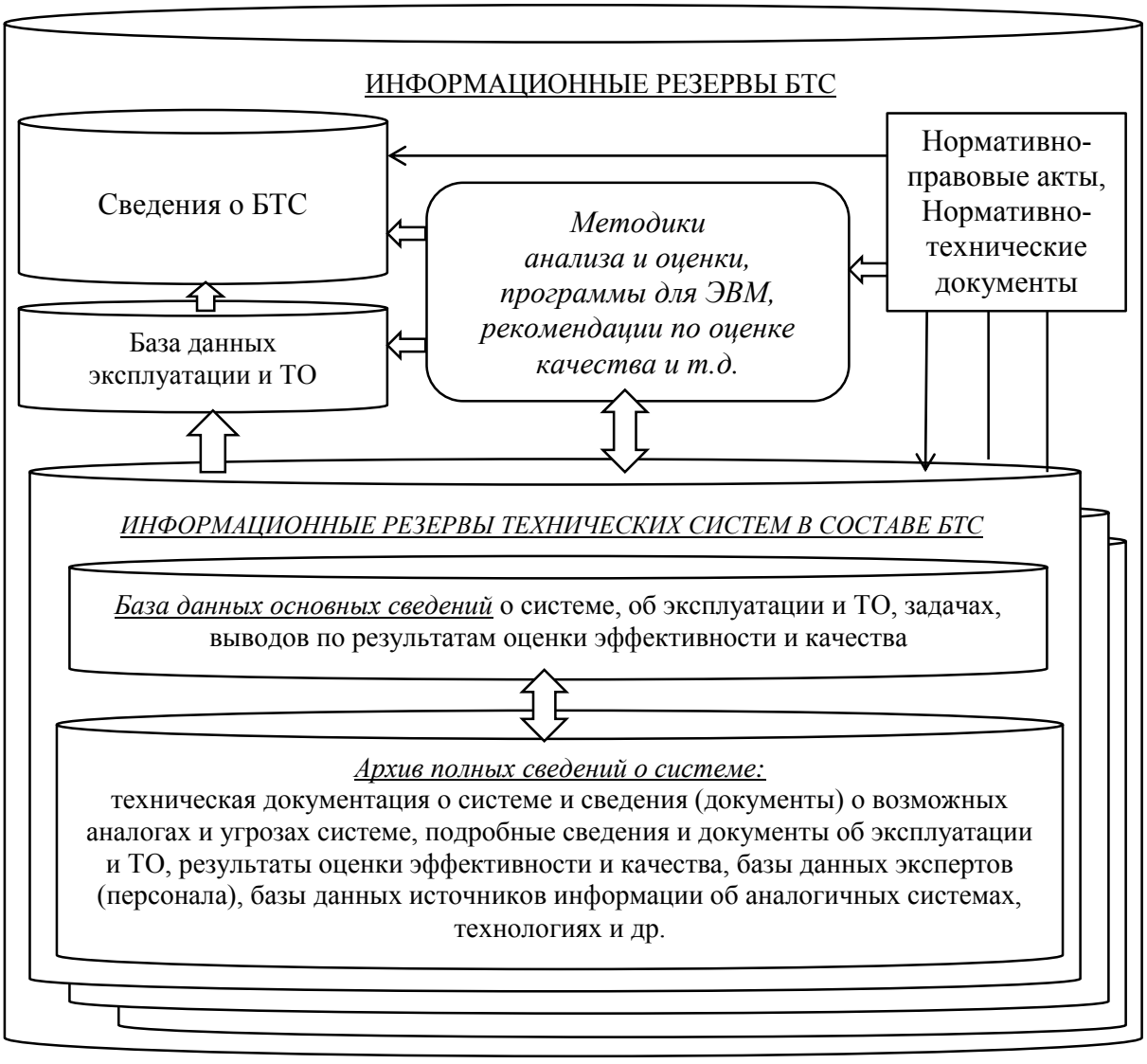


Рисунок 5.2.6. Схема организации информационных резервов системы

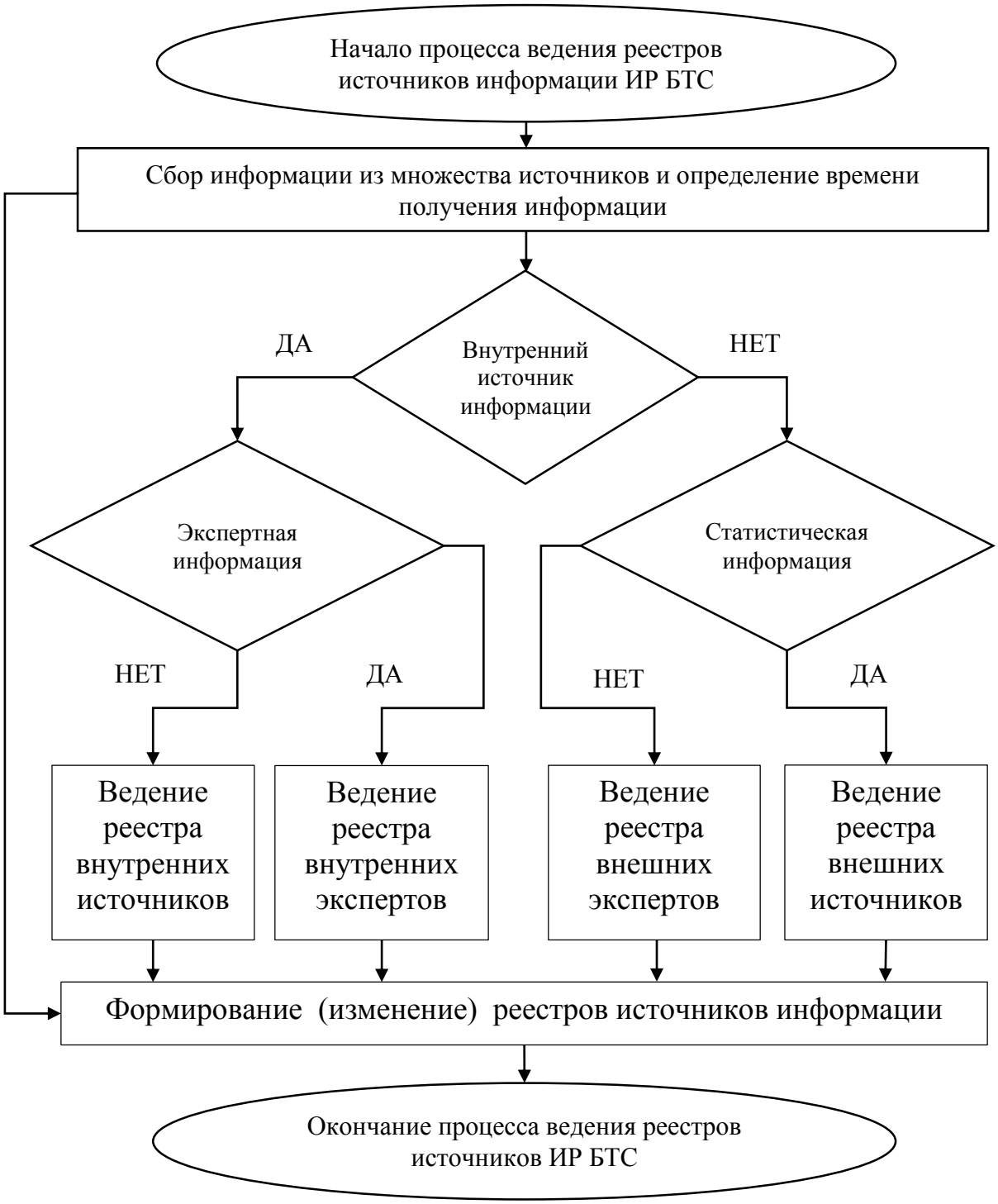


Рисунок 5.2.7. Схема алгоритма формирования и ведения реестров источников информации в ИР БТС

б) шаблонных форм следующей структуры:

$$И_{вн} = <Пи_{вн1}, Пи_{вн2}, Пи_{вн3}, Пи_{вн4}, Пи_{вн5}, Пи_{вн6}>,$$

где $Пи_{вн1}$ – название источника (файл, ключевое слово); $Пи_{вн2}$ – место в БД основных сведений; $Пи_{вн3}$ – место в Архиве; $Пи_{вн4}$ – история обращений; $Пи_{вн5}$ – количество обращений; $Пи_{вн6}$ – оценка полезности;

$$И_{внеш} = <Пи_{внеш1}, Пи_{внеш2}, Пи_{внеш3}, Пи_{внеш4}, Пи_{внеш5}, Пи_{внеш6}, Пи_{внеш7}>,$$

где $Пи_{внеш1}$ – название источника; $Пи_{внеш2}$ – Интернет-адрес; $Пи_{внеш3}$ – другие источники; $Пи_{внеш4}$ – история обращений; $Пи_{внеш5}$ – количество обращений; $Пи_{внеш6}$ – оценка полезности; $Пи_{внеш7}$ – правила доступа;

$$Э_{вн} = <Пэ_{вн1}, Пэ_{вн2}, Пэ_{вн3}, Пэ_{вн4}, Пэ_{вн5}, Пэ_{вн6}, Пэ_{вн7}, Пэ_{вн8}>,$$

где $Пэ_{вн1}$ –место в рейтинге; $Пэ_{вн2}$ – должность; $Пэ_{вн3}$ – фамилия, имя, отчество; $Пэ_{вн4}$ – образование, достижения в работе; $Пэ_{вн5}$ – стаж работы; $Пэ_{вн6}$ – количество обращений; $Пэ_{вн7}$ – оценка полезности; $Пэ_{вн8}$ – способы связи;

$$Э_{внеш} = <Пэ_{внеш1}, Пэ_{внеш2}, Пэ_{внеш3}, Пэ_{внеш4}, Пэ_{внеш5}, Пэ_{внеш6}, Пэ_{внеш7}, Пэ_{внеш8}>,$$

где $Пэ_{внеш1}$ – место в рейтинге; $Пэ_{внеш2}$ – должность, место работы; $Пэ_{внеш3}$ – фамилия, имя, отчество; $Пэ_{внеш4}$ – образование, достижения в работе; $Пэ_{внеш5}$ – стаж работы; $Пэ_{внеш6}$ – количество обращений; $Пэ_{внеш7}$ – оценка полезности; $Пэ_{внеш8}$ – ссылки на источники, выражающие мнение эксперта (таблицы 5.2.1 – 5.2.4).

Таблица 5.2.1

Реестр внутренних источников информации в информационных резервах системы

_____

(название предметной области, технической системы (изделия))

Название источника (файл, ключевое слово)	Место в информационных резервах системы		История обращений	Количество обращений	Оценка полезности
	БД основных сведений	Архив			
…	…	…	…	…	…

Таблица 5.2.2

Реестр внешних источников информации

_____

(название предметной области, технической системы (изделия))

Название источника	Интернет	Другие источники	История обращений	Количество обращений	Оценка полезности	Правила доступа
…	…	…	…	…	…	…

Таблица 5.2.3

Реестр экспертов из числа сотрудников организации

_____
(название предметной области, технической системы (изделия))

Место в рейтинге	Должность	Фамилия, имя, отчество	Образование, достижения в работе	Стаж работы	Количество обращений	Оценка полезности	Способы связи (№ АРМ в ЛВС)
…	…	…	…	…	…	…	…

Таблица 5.2.4

Реестр внешних экспертов

_____
(название предметной области, технической системы (изделия))

Место в рейтинге	Должность место работы	Фамилия, имя, отчество	Образование, достижения в работе	Стаж работы	Количество обращений	Оценка полезности	Ссылки на источники, выражающие мнение эксперта
…	…	…	…	…	…	…	…

Схема реализации способа рациональной организации сбора и обработки информации представлена на рисунке 5.2.4. В данной схеме рутинные задачи по сбору и обработке информации решаются последовательно в два этапа [40].

Первый этап – работа с ИР БТС: задача решается путем обращения к ИР (рис. 5.2.6). При этом запрос вначале приходит в БД основных сведений о системе (рис. 5.2.4), а затем в архив. В большинстве случаев ЛПР (должностных лиц) удовлетворяет ответ из БД основных сведений о системе. В противном случае, как было указано выше, происходит обращение в архив.

При выполнении задачи за счет ИР БТС работа оканчивается с завершением первого этапа. При этом происходит пополнение информационных резервов системы сведениями о выполненной задаче.

Второй этап – обращение к внешним информационным ресурсам [20, с.121].

Если в информационных резервах системы в полном объеме не имеется необходимой информации, то далее, по решению должностного лица (ЛПР), происходит поиск информации в информационных ресурсах сети Интернет, и (или) запрос направляется в другие ведомства и организации.

Аналогично первому этапу, в случае выполнения задачи происходит пополнение информационных резервов системы сведениями о выполненной задаче в виде добавления в БД и (или) архив новых сведений – пример на рисунке 5.2.8.

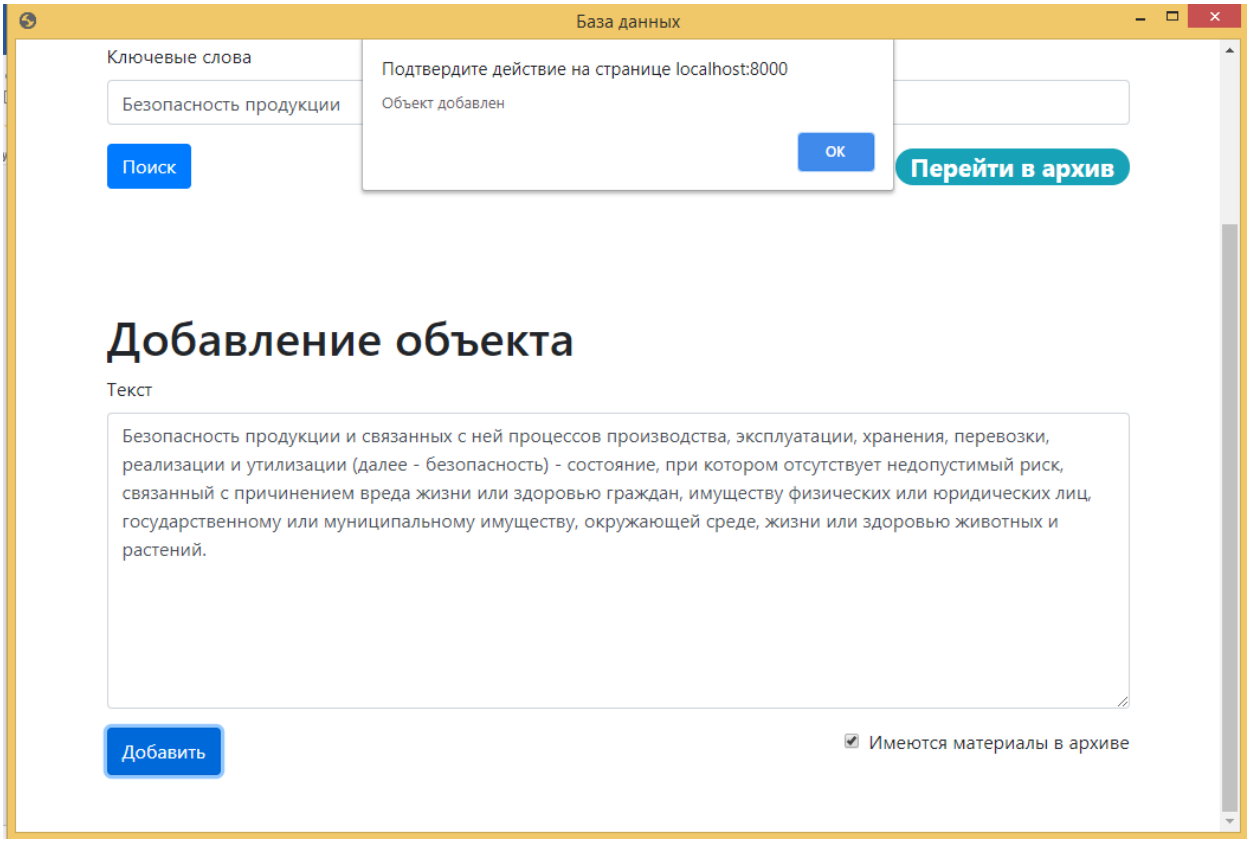


Рисунок 5.2.8. Пример работы с программой для ЭВМ:
добавление сведений в БД и архив

В противном случае о невыполненной задаче извещается соответствующее должностное лицо. Далее происходит пополнение информационных резервов системы информацией о невыполненной задаче. Эта информация включает в себя следующие сведения: содержание задачи, время выполнения, причина невыполнения, ссылки на источники информации (экспертов), которые использовались (привлекались) при выполнении задачи. Удаление информации в ИР происходит по той же схеме, что и добавление БТС в ИР системы.

Модели и Способ (рис. 5.2.9) позволяют более рационально использовать технологии работы с большими данными, которые хранятся и обрабатываются с

помощью облачных серверов и распределённых вычислительных мощностей. Благодаря этому при помощи компьютерных сетей с ИР БТС одновременно могут работать значительное количество пользователей, находящихся на значительном удалении друг от друга – в различных городах страны.

Рисунок 5.2.9. Формирование, хранение, обработка и анализ информации в ИР БТС с использованием технологий работы с большими данными

В этом случае применение алгоритмов работы с информационными ресурсами и ведения реестров источников информации (рис. 5.2.4 и 5.2.7) создают предпосылки значительного снижения пиковой нагрузки на системы передачи данных, которое может вызывать одновременное использование аналитических сервисов (рис. 5.2.9) для разработки интерактивных графических отчётов и

презентаций, например, например, Power BI Microsoft, который собирает данные из CRM, Excel-таблиц и других источников информации.

В этой связи важно отметить, что программа для ЭВМ [45] может функционировать как кросс-платформенное приложение, дающее возможность разграничения доступа пользователей к источникам информации, включая сеть Интернет. Язык программирования: Python, JavaScript. Объём программы: 275 Кб.

Основной положительный эффект от внедрения Способа и программы для ЭВМ [45] – это снижение времени и затрат ресурсов на поиск информации для оценки качества систем и подготовки управленческих решений.

При этом важно отметить, что на практике Способ и программа для ЭВМ показывают свою максимальную эффективность при совместном применении с комплексной методикой оценки качества технических систем за счет простоты сопряжения в архиве взаимосвязанных ячеек таблиц методики (параграф № 4.2 диссертации) и БД (реестров) источников информации (таблицы 5.2.1 – 5.2.4), что дает возможности наиболее рациональной организации оценки качества систем в процессе эксплуатации [55].

Кроме того, разработанные Способ и программа для ЭВМ дают ЛПР и должностным лицам органов управления возможность эффективного применения дискурсивного анализа [23, с. 223-224] с целью наиболее рациональной организации информационного обеспечения управления эксплуатацией и ТО БТС.

На практике данное обстоятельство дополнительно усиливает возможности применения представленных методов и способов для достижения цели диссертационного исследования, что доказывают результаты внедрения методов и способов, представленные в следующем параграфе № 5.3 диссертации.

Таким образом, Способ (программа для ЭВМ) являются новым научно обоснованным технологическим решением (программа для ЭВМ – техническим решением) в сфере повышения эффективности управления эксплуатацией БТС.

5.3. Анализ результатов внедрения методов и способов и рекомендации по их применению

Внедрение методов и способов было организовано в экспериментальных группах (далее – ЭГ), как организованных совокупностей персонала и технических средств, включая средства связи и АСУ. В задачи ЭГ входила эксплуатация и ТО систем, обучение персонала, оценка качества систем и (или) подготовка управленческих решений. На основе полученных актов внедрения результатов диссертационного исследования (приложение Б к диссертации) оценка результатов внедрения методов и способов в ЭГ проводилась путем сравнения с результатами контрольных групп (далее – КГ), в которых методы и способы не применялись. ЭГ и КГ имели одинаковый состав, решали одинаковые задачи в одинаковых условиях.

В распоряжении ЭГ и КГ были одинаковые ресурсы и одинаковое качество и количество этих ресурсов.

При этом было определено, что в целях наиболее полного достижения цели исследования, оценка качества проводилась в отношении систем, имеющих значительное количество аналогов и, соответственно, для оценки их качества в ЭГ и КГ необходимо было использовать большое количество общедоступной информации из разнообразных источников, включая сеть Интернет.

Для наиболее объективной оценки результатов внедрение проходило в соответствии с Принципами (параграф № 2.1) по трем направлениям:

1. Повышение эффективности управления эксплуатацией и ТО систем и БТС, что в основном нашло отражение в научных трудах автора [21, 22, 59, 62, 63, 64, 65].

2. Повышение качества НИОКР по созданию и модернизации систем.
Было описано в научных и учебно-методических работах автора [22, 23, 49, 58, 61, 81, 83].

3. Повышение качества подготовки персонала в сфере эксплуатации и ТО систем, входящих в состав БТС, было реализована в сборниках трудов научных конференций и в учебно-методических работах автора [54, 56, 57, 60, 74-83].

По всем трем направлениям основной положительный результат заключался в том, что в условиях увеличения объемов используемой информации (объем информации на компьютерах и серверах ЭГ увеличился на 73 - 78%) время оценки качества (подготовки отчетов) и принятия управленческих решений по результатам оценки качества уменьшилось на 16,5 - 17%.

Внедрение методов и способов позволило существенно уменьшить время оценки эффективности и качества систем и, как следствие, уменьшилось время принятия управленческих решений, а также время эксплуатации АРМ и средств связи для этих целей (рис. 5.3.1 и 5.3.2).

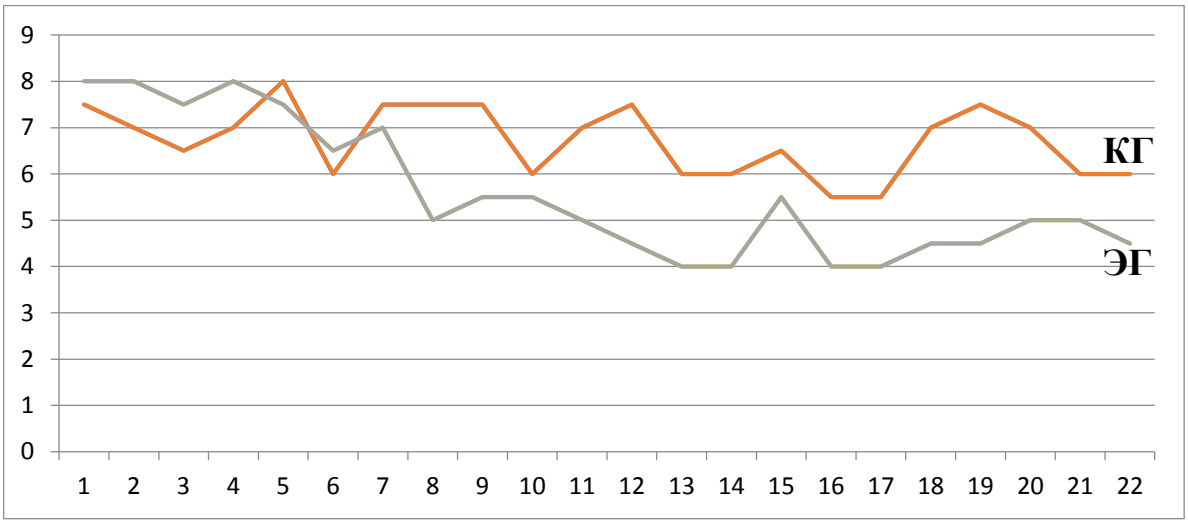


Рисунок 5.3.1. Графики времени эксплуатации АРМ для оценки качества систем и принятия управленческих решений, за месяц (22 рабочих дня по 8 часов)

Среднее значение выигрыша во времени принятия управленческих решений по трем направлениям применения методов и способов в ЭГ по сравнению с КГ составило 16,892 % – график на рисунке 5.3.1. При этом время эксплуатации одного АРМ в ЭГ по сравнению с КГ уменьшилось в среднем на 01 час 09 минут за один 8 часовой рабочий день, то есть наблюдалось существенное уменьшение расхода ресурсов на эксплуатацию средств связи и АСУ.

Таким образом, можно сделать обоснованный вывод, что разработка и внедрение методов и способов является одним из важнейших и наиболее рациональных путей достижения цели исследования.

Цель диссертации достигнута. Гипотеза подтверждена.

Однако, при этом важно отметить, что через 10 рабочих дней после внедрения методов и способов в среднем в 1,74 раза (на 74%, то есть в среднем на АРМ с 25,2 Гб до 43,848 Гб) увеличилось количество информации, хранящейся в памяти ПЭВМ и серверах ЭГ на всех трех направлениях применения методов и способов.

В дальнейшем это увеличение происходило незначительно, практически так же, как и до внедрения методов и способов. Столь резкое увеличение количества информации, хранящейся в памяти ПЭВМ и серверах ЭГ, происходило вследствие формирования основных информационных резервов. По этой же причине в первые пять рабочих дней в ЭГ увеличилось время выполнения задач сбора и обработки информации, что отражено на графике (рис. 5.3.1).

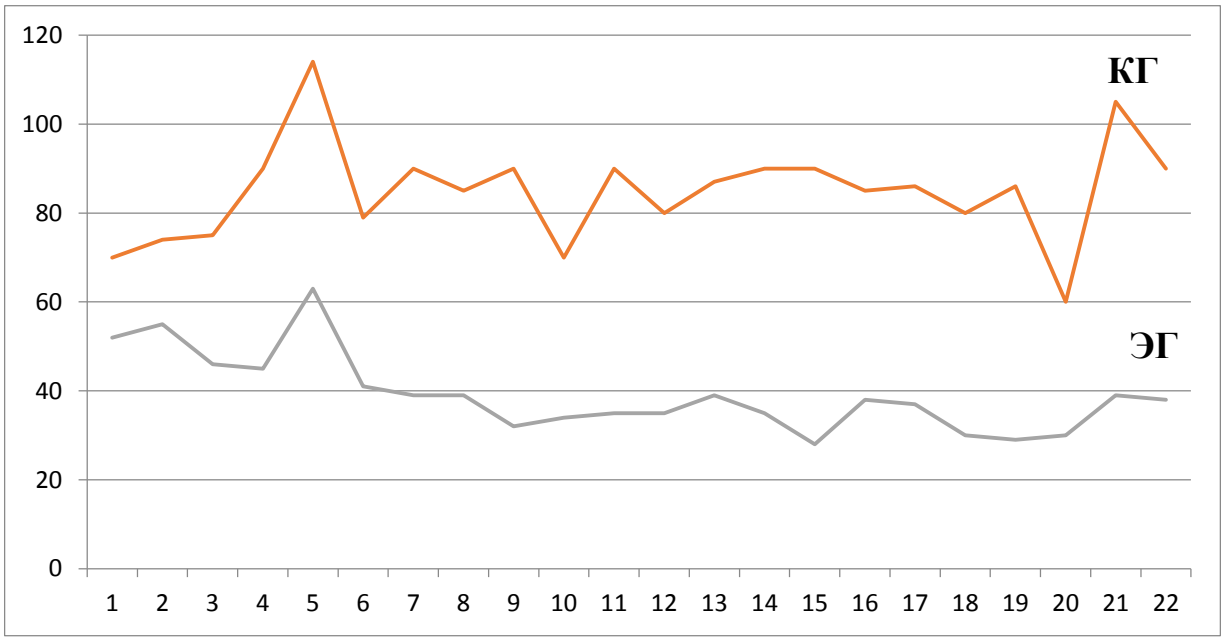


Рисунок 5.3.2. Графики времени доступа к сети Интернет с АРМ, предназначенных для обработки не конфиденциальной информации в ЛВС с выходом в Интернет, за месяц (22 рабочих дня по 8 часов)

При этом в течении 15-20 рабочих дней после начала внедрения методов и способов наблюдалось снижение времени доступа к сети Интернет в среднем на 46% (с 84,8 минут до 39 минут). В дальнейшем время работы в сети Интернет не снижалась и составила в среднем 39 минут на АРМ, имеющем доступ к сети Интернет, за один рабочий день (смену) 8 часов – график на рисунке 5.3.2.

Важно отметить, что положительный эффект на АРМ, предназначенных для обработки конфиденциальной информации, был гораздо меньше и составил в среднем на 11,364% уменьшение времени принятия управленческих решений – график на рисунке 5.3.3.

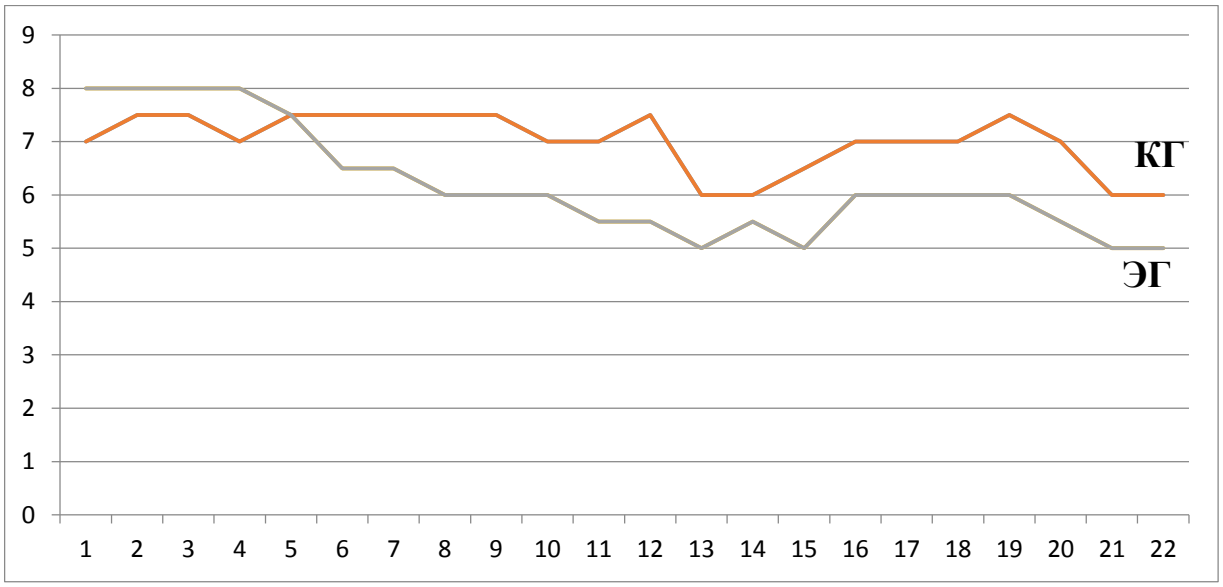


Рисунок 5.3.3. Графики времени принятия управленческих решений и эксплуатации АРМ, предназначенных для обработки конфиденциальной информации, за месяц (22 рабочих дня по 8 часов)

Время эксплуатации одного АРМ, предназначенного для обработки конфиденциальной информации, в ЭГ по сравнению с КГ уменьшилось в среднем на 47 минут за один 8 часовой рабочий день. Снижение положительного эффекта при использовании конфиденциальной информации объясняется соблюдением требований по информационной безопасности.

Соответственно, на данные АРМ не устанавливались разработанные автором программы для ЭВМ, реализующие методики и Способ. Поэтому все расчеты выполнялись в программе Excel, разрешенной к использованию на данных АРМ.

Важнейший положительный эффект от внедрения методов и способов заключается в существенном сокращении времени принятия правильных управленческих решений в процессе эксплуатации и ТО. Это, в свою очередь, уменьшает вероятность выхода из строя системы (элемента) ($P(1)$), что, соответственно, увеличивает вероятность достижения цели функционирования БТС (системы) в неблагоприятных условиях, то есть повышает устойчивость БТС – пример, график на рисунке 5.3.4. Сформулированное обстоятельство обосновывает практическую значимость диссертационного исследования.

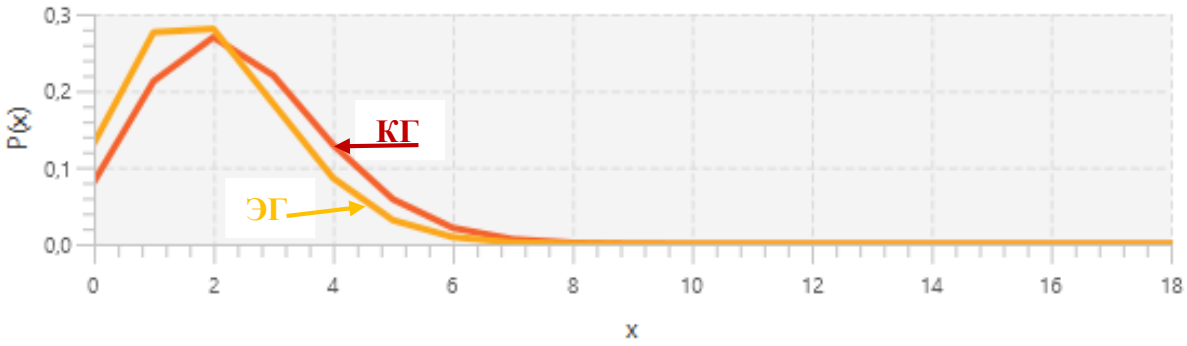


Рисунок 5.3.4. Распределение вероятностей выхода из строя x систем БТС в зависимости от $P(1)$ в КГ и ЭГ

Например, на графике изображены вероятности выхода из строя заданного количества одного типа систем. В КГ: $P_{КГ}(1)=0{,}086$ – до внедрения методов и способов. После внедрения вероятность выхода из строя одной системы этого типа уменьшилась почти на 0,016 и составила $P_{ЭГ}(1)=0{,}07$. Это произошло за счет принятия правильных решений в сфере эксплуатации и ТО в более короткие сроки. При одновременном выходе из строя 8 таких систем цель функционирования БТС достигнута не будет. Поэтому в КГ вероятность достижения цели составляла:

$$P_{ц} = 1 - P_{КГ}(8) = 1 - 0{,}0015 = 0{,}9985.$$

В ЭГ вероятность достижения цели увеличилась и составила:

$$P_{ц} = 1 - P_{ЭГ}(8) = 1 - 0{,}0004 = 0{,}9996.$$

То есть за счет применения методов и способов выигрыш в вероятности достижения цели системы составил $\Delta P_{ц} = 0{,}0011$.

Кроме того, достижение данного результата в значительной мере обусловлено тем, что методы и способы позволяют обеспечивать своевременный правильный выбор по задаваемым для оценки показателям качества наилучших систем, изделий, приборов, ЗИПов и расходных материалов для эксплуатации и ТО. Это обстоятельство при эксплуатации и ТО является важным условием рациональной организации управления ресурсами БТС, что в целом подтверждается результатами современных научных исследований [201, 215, 217].

Как было рассмотрено в первой главе диссертации, исследуемые БТС представляют собой иерархические системы [58, 91, 97, 121, 205]. Эффективность данных систем в значительной степени зависит от оперативности управления [97, 121, 209, 216]. Данное утверждение подтверждает тот факт, что внедрение методов и способов привело к экономии бюджетных средств в процессе эксплуатации и ТО в ЭГ в среднем на 2,4% больше, чем в КГ при одинаковых достигнутых результатах функционирования систем за один квартал (3 месяца) – рисунок 5.3.5.

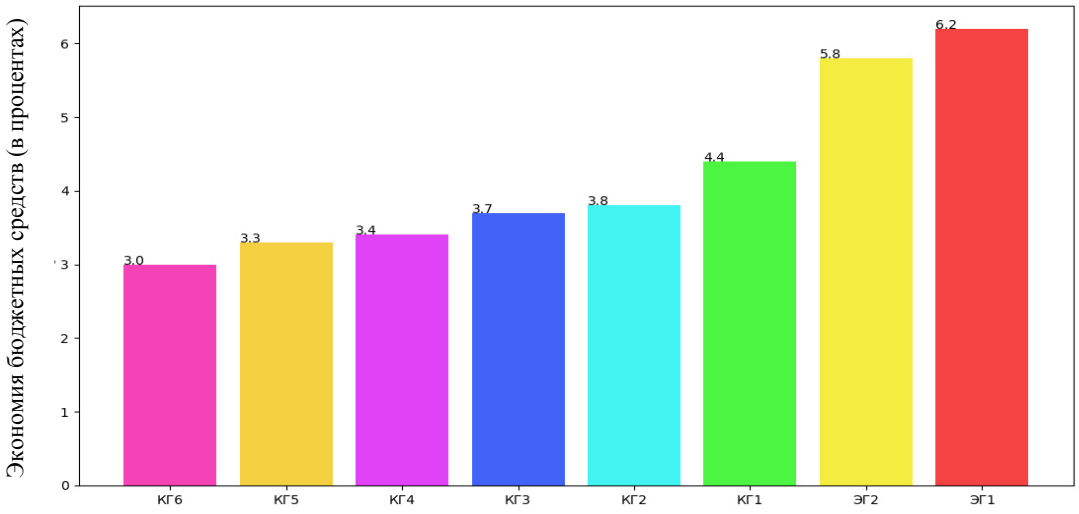


Рисунок 5.3.5. Экономия бюджетных средств в процессе эксплуатации и ТО систем в ЭГ и КГ по первому направлению применения методов и способов

При этом использование при расчетах формул (3.1.9) и (3.1.10) позволяет оценить существенную экономию в ЭГ на подготовку и проведение практических занятий и деловых игр с использованием различных аппаратно-программных комплексов. На объектах информатизации и связи за 5 лет эксплуатации в зависимости от типа систем, экономия может составить от 1560 тыс. рублей до 28422,4 тыс. рублей [78, 79].

В дополнение к рисунку 5.4.5 важно заметить, что за тот же оцениваемый квартал и в тех же ЭГ первого направления применения методов и способов в среднем на 16,7% уменьшились трудозатраты в расчете на одного сотрудника органов управления организации [78, 79].

В этих трудозатратах была учтена подготовка и оформление управленческих решений, отчетов, докладных записок и справок по результатам оценки качества систем в процессе эксплуатации – рисунок 5.3.6.

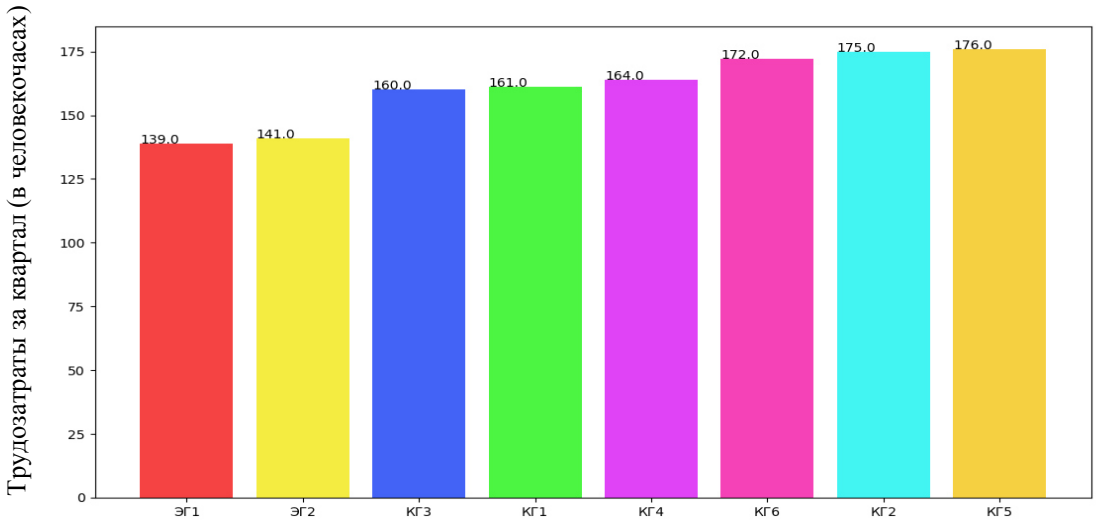


Рисунок 5.3.6. Средние трудозатраты одного сотрудника в ЭГ и КГ на подготовку управленческих решений, отчетов, докладных записок и справок по результатам оценки качества систем в процессе эксплуатации

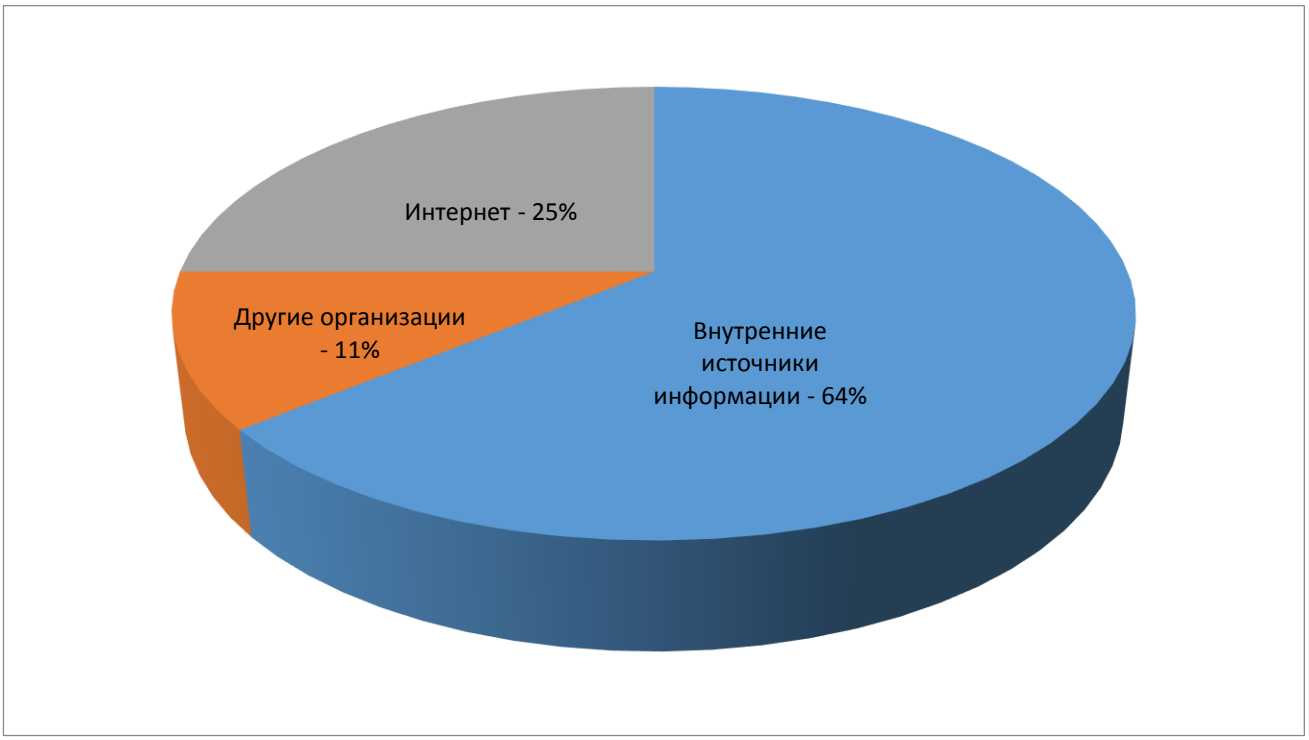


Рисунок 5.3.7. Диаграмма распределения обращений к информационным ресурсам для ответов на запросы и решения задач сбора и обработки информации до внедрения методов и способов

Другим результатом внедрения методов и способов стало существенное изменение распределения обращений к информационным ресурсам для ответов на запросы и решения задач сбора и обработки информации (рисунки 5.3.7 и 5.3.8).

Анализ диаграмм на этих рисунках показывает, что на 15% увеличилось количество обращений к внутренним информационным ресурсам (информационным резервам системы) при резком сокращении количества обращений к внешним источникам информации. Здесь важно отметить, что частично за счет этого факта произошло снижение времени оценки качества систем. В перспективе данные условия могут способствовать формированию дополнительных интеграционных резервов повышения эффективности проактивного управления БТС [21, 51].

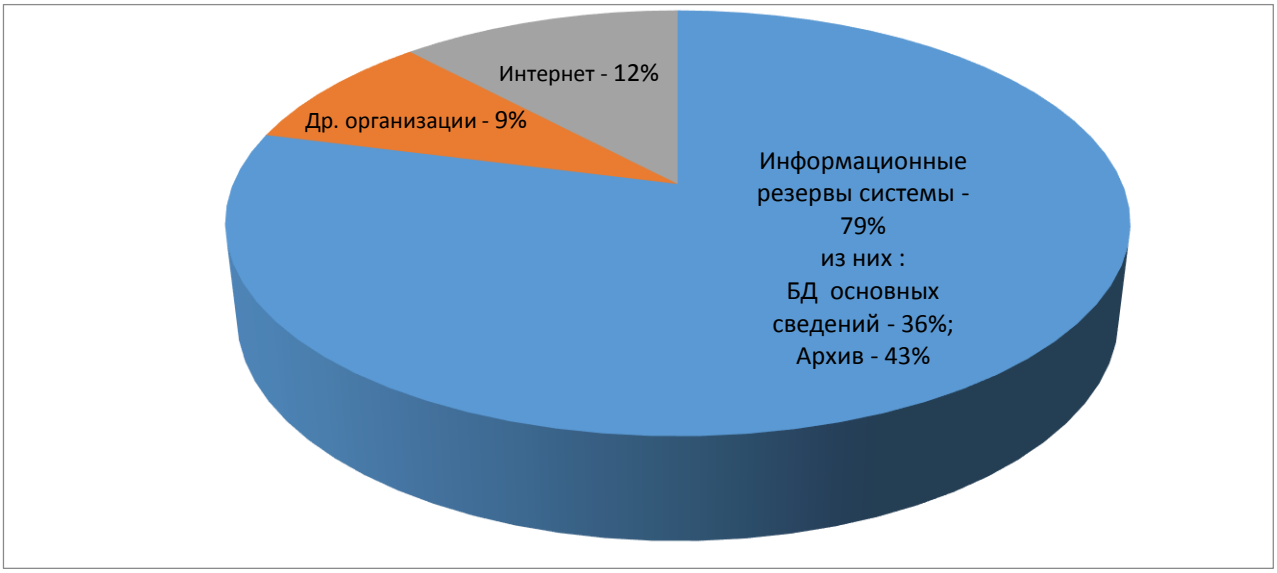


Рисунок 5.3.8. Диаграмма распределения обращений к информационным ресурсам для ответов на запросы и решения задач сбора и обработки информации через месяц после внедрения методов и способов

Произошло снижение на 13% обращений к источникам информации в сети Интернет и на 2% – в другие организации – рисунок 5.3.8.

В дополнение к вышеизложенному анализу будет целесообразным провести систематизацию результатов внедрения методов и способов в процессе эксплуатации БТС, с точки зрения влияния информационных процессов на эффективность функционирования БТС (табл. 5.3.1).

Для этого рационально выполнить следующие действия, используя сведения из актов внедрения методов и способов (Приложение Б диссертации):

- представить БТС в виде информационной системы;

- определить взаимосвязанные информационные процессы, на которые оказало существенное влияние внедрение методов и способов;

- дать характеристику этим информационным процессам;

- для каждого информационного процесса сделать выводы о влиянии методов и способов на эффективность функционирования БТС (табл. 5.3.1).

Таблица 5.3.1

Систематизация обобщенных сведений о результатах внедрения методов и способов в информационной системе

№ п/п	Взаимосвязанные информационные процессы	Основные характеристики информационных процессов		Влияние на эффективность функционирования БТС положительное / отрицательное
		до внедрения методов и способов	добавились после внедрения методов и способов	
1	Принятие и обоснование управленческих решений	На основании мнения ЛПР и технических регламентов	На основании результатов оценки качества и эффективности	Повышение обоснованности своевременных управленческих решений / –
2	Оценка качества и эффективности технических систем	На основании мнения ДЛ и решения ЛПР	По решению ЛПР на организацию оценки качества с использованием методов и способов	Повышение объективности оценки и снижение вероятности ошибок / –
3	Сбор (поиск) информации	На основании опыта ДЛ и возможностей ИС	С использованием алгоритмов и программ в подготовленных информационных ресурсах	Существенное сокращение времени поиска информации / увеличение объема информации внутренних ИР
4	Обработка информации	На основании опыта ДЛ и возможностей ИС	С использованием программного обеспечения с учётом фактора времени и идентификации источников информации	Сокращение времени обработки информации / увеличение объема информации внутренних ИР в особенности при возникновении новых задач
5	Оформление решений, отчётов, планов, справок и других документов	В соответствии с требованиями и решениями ЛПР	На основе заданной детализации с использованием программного обеспечения и визуализации результатов оценки	Сокращение затрат времени и ресурсов / –
6	Реализация контроля и обратной связи в ИЦУ БТС	В соответствии с требованиями и решениями ЛПР, возможностями ИС	С использованием методов и способов, включая разработанное программное обеспечение	Сокращение времени ИЦУ, экономия ресурсов БТС / –

Анализ применения методов, способов и полученных результатов (табл. 5.3.1) позволяет обоснованно сформулировать рекомендации по эффективному применению разработанных методов и способов как важнейшей части интеграционного резерва повышения эффективности БТС в процессе эксплуатации (параграф № 1.3 и пример, подраздел А.3.2 Приложения А).

1. Методы и способы наиболее эффективны при оценке качества систем, имеющих аналоги, и информация о значениях показателей качества, которых размещена в открытом доступе.

2. Максимальное снижение времени происходит при применении моделей, методик и программ для ЭВМ при подготовки отчетов, докладных записок, справок и презентаций по результатам оценки качества БТС и систем в процессе эксплуатации за отчетные периоды: месяц, квартал, год и т.д.

3. Рекомендуется применять методы и способы для выбора лучшей системы (изделия) по требуемым показателям и подготовки предложений по повышению эффективности БТС, за счет совершенствования эксплуатации и ТО систем.

4. Применение методов, способов и накопленных с их помощью систематизированных информационных резервов снижает время вступления в должность сотрудников органов управления организации, что в значительной степени снижает негативные последствия частой смены кадров в организации и назначения на должности в сфере управления эксплуатацией и ТО сотрудников без требуемого уровня квалификации [51].

5. Полученные в результате оценки качества значения времени устойчивого функционирования БТС (Δt_y), времени приведения в установленные режимы эксплуатации, расхода времени и ресурсов (бюджета) по типам систем на эксплуатацию и ТО, минимально необходимого количества систем заданного типа в составе БТС, необходимого для достижения цели (N_{min}), коэффициентов устойчивости (U), времени восстановления ($t_в$), вероятности выхода из строя систем (элемента) ($P(1)$) и вероятности достижении цели функционирования БТС (системы) в неблагоприятных условиях ($P_ц$) рационально использовать по следующим направлениям:

- при определении базовых значений показателей качества для оценки устойчивости БТС и систем в его составе;

-при подготовке и обосновании управленческих решений второго типа, принимаемых для совершенствования эксплуатации и ТО систем;

- при подготовке персонала БТС и для выбора лучших БТС (систем в ее составе) в сфере устойчивости.

6. Применение методов и способов в СППР. В том числе в СППР БТС, функционирующих с использованием технологии МАС, где агентами выступают подсистемы (элементы) в составе БТС, взаимодействующие с внешней средой – рисунок 5.3.9.

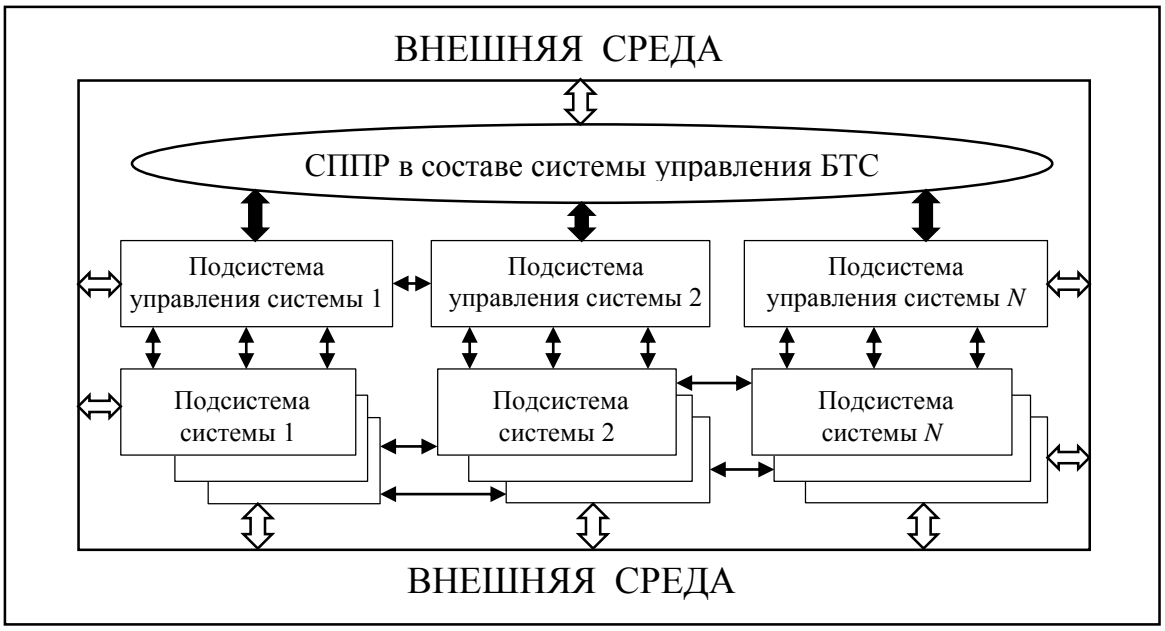


Рисунок 5.3.9. Схема реализации СППР
в составе системы управления БТС
по принципу МАС

В этом случае СППР будет выступать как система обеспечения целенаправленных воздействий, в которой посредством управляющих решений ЛПР реализуют мероприятия по повышению эффективности БТС на основе оценки качества БТС в процессе эксплуатации.

Место и роль разработанных методов и способов в СППР (рис. 5.3.9) определяется тем, что современные концепции управления сложными системами основаны на человеко-машинной организации процессов управления БТС, в которой роль принятия решений отводится человеку, а ЭВМ обеспечивают информационную поддержку этапов выработки и генерации альтернативных вариантов решений.

В рекомендуемой схеме (рис.5.3.9) результаты диссертации будут способствовать преодолению высокого уровня неопределенности при решении задач управления БТС в процессе эксплуатации.

7. На основе результатов моделирования состояний устойчивости БТС и оценки эффективности целесообразно разрабатывать рекомендации по повышению устойчивости БТС исходя из специфики его эксплуатации.

8. Методы и способы могут быть применимы для формирования требований к системам (изделиям, ЗИПам, расходным материалам и т.д.) для оформления документации (в технических заданиях) при организации поставок в рамках государственного заказа, а также для разработки специальных технических условий, применимых при проектировании систем и БТС.

9. Методы и способы, а также накопленные с их помощью систематизированные информационные резервы рекомендуются к использованию в качестве учебных материалов на занятиях по технической подготовке персонала БТС и в высших учебных заведениях. Базовые рекомендации по развитию и совершенствованию компетенций студентов высших технических учебных заведений в рамках существующих образовательных программ и направлений подготовки приведены в таблице 5.3.2 [68, с. 123].

Таблица 5.3.2

Рекомендации по применению методов и способов
в образовательных программах

Образовательные программы	Практические занятия	Лабораторные работы	Производственная практика	Выпускная квалификационная работа
Бакалавриат				
09.03.02 Информационные системы и технологии	Оценка качества программно-аппаратных средств	Оценка эффективности систем и технологий	Сравнение результатов применения технологий связи	Обоснование выбора лучшей телекоммуникационной системы
09.03.03 Прикладная информатика	Оценка качества программных систем	Оценка эффективности программных систем	Оценка эффективности функционирования программных систем	Оценка качества аппаратно-программных средств
11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи	Оценка качества средств связи	Экспертная оценка систем и технологий связи	Оценка эффективности функционирования оператора связи	Оценка качества систем и средств связи
Магистратура				
09.04.01 Информатика и вычислительная техника	Обоснование отдельных требований технического задания на разработку программных систем	Обоснование базовых требований к значений показателей качества программных систем	Оценка эффективности функционирования программных систем	Разработка программного обеспечения. Оценка эффективности внедрения результатов ВКР
09.04.02 Информационные системы и технологии	Оценка эффективности источников информации	Моделирование состояний устойчивости систем связи	Оценка эффективности систем связи	Оценка эффективности результатов ВКР
09.04.03 Прикладная информатика	Обоснование технического задания на разработку программного обеспечения	Моделирование состояний устойчивости программных систем	Оценка эффективности программных систем	Разработка программного обеспечения. Оценка эффективности результатов.
27.04.03 Системный анализ и управление	Анализ корреляционной зависимости значений переменных	Анализ и синтез структурно-функциональных моделей	Рациональное использование мнений экспертов	Обоснование рекомендаций. Оценка эффективности систем.

В диссертационных исследованиях разработанное методическое обеспечение может быть применимо для разработки и совершенствования квалиметрических методов оценки качества объектов, а также для выполнения задач анализа и синтеза архитектуры сложных систем, моделирования динамики значений показателей качества систем, для оценки эффективности внедрения научных результатов и (или) оценки качества разработанных (исследуемых) систем.

10. Рекомендуется применение методов и способов при планировании эксплуатации и ТО систем в БТС, а также при планировании использования отдельных систем в учебных целях на занятиях по обеспечению устойчивости БТС.

11. Для обеспечения рационального достижения цели при выполнении задач в области системной инженерии и для формирования интеграционных резервов повышения эффективности БТС в процессе эксплуатации (рис. 5.3.10) [68, с. 122].

Предлагаемый математический аппарат пригоден для обоснования своевременных управленческих решений в интересах обеспечения выполнения ряда важных практических задач [113] в сфере реализации современных подходов, основанных на системной инженерии [110, 114, 117]:

- «повышение качества и безопасности, снижение или удержание на допустимом уровне рисков и/или снижение затрат (в т.ч. непроизводительных) на создание и эксплуатацию систем различной области приложения» [113];

- применение апробированные вероятностных моделей для прогнозирования рисков при обеспечении качества информации в сложных системах (являющихся системами высокой доступности) [114];

- для реализации применения риск-ориентированного подхода в жизненном цикле сложных систем [110];

- для развития системной инженерии, как междисциплинарной теоретической основы БТС, которые в будущем должны быть «более разумными, самоорганизующимися, ресурсоэффективными, безопасными и устойчивыми» [35, 117].

Рекомендуемая схема применения методов и способов как важнейшей части интеграционных резервов повышения эффективности БТС в процессе эксплуатации представлена на рисунке 5.3.10 – пример, подраздел А.3.2 Приложения А.

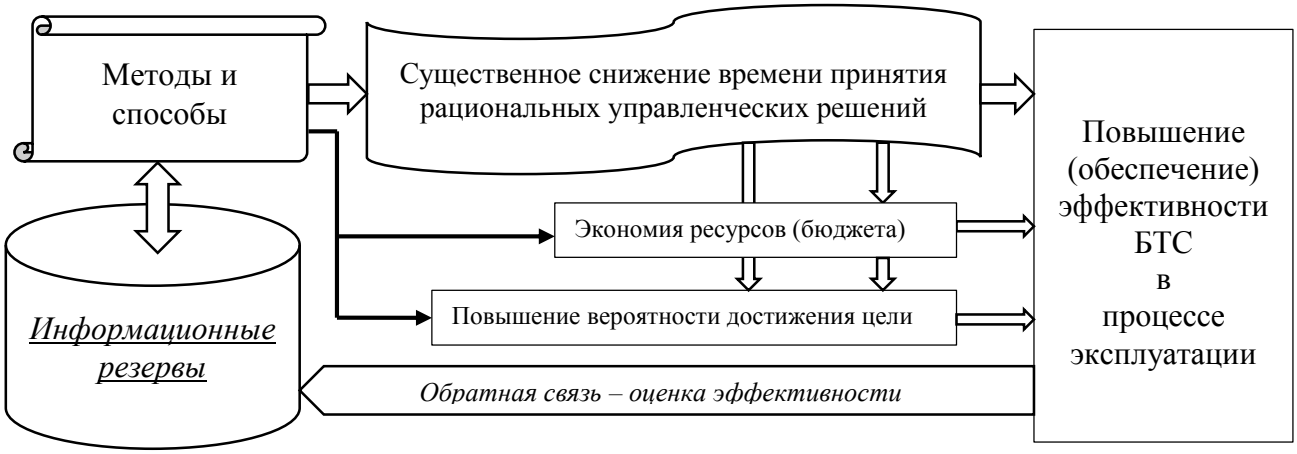


Рисунок 5.3.10. Схема применения методов и способов как интеграционного резерва повышения эффективности функционирования БТС

Диссертационное исследование позволило установить, что по результатам применения методов и способов (рис. 5.3.10) интеграционные резервы БТС становятся более доступными, систематизированными и существенно повышают качество своего содержания за счёт пополнения своевременными, полными и достоверными результатами оценки эффективности и качества систем, а также мнениями большого количества квалифицированных экспертов, которые возможно классифицировать по оцениваемым системам.

Таким образом, сформулированные рекомендации позволят обоснованно использовать имеющийся опыт и накопленные за десятилетия эксплуатации БТС информационные ресурсы (параграф 1.1 диссертации) с целью дальнейшего усиления положительного эффекта от внедрения результатов диссертационного исследования.

Выводы по пятой главе

Модели и алгоритмическое обеспечение систем принятия решений при сопровождении БТС включают динамическую модель БТС, модель взаимодействия элементов, модель сопровождения систем, алгоритмы и Способ.

В модели сопровождения систем в процессе эксплуатации предложена рациональная схема применения результатов оценки качества систем для повышения эффективности управления эксплуатацией и ТО БТС путем принятия своевременных и обоснованных управленческих решений.

Способ усиливает практическую часть работы и способствует решению актуальных задач информационного обеспечения при сопровождении систем в процессе эксплуатации. Разработанные алгоритмы, Способ и программа для ЭВМ его реализующая может применяться самостоятельно в рамках модели сопровождения систем в процессе эксплуатации.

Основные результаты оценки внедрения методов и способов доказывают высокую их практическую применимость для достижения цели исследования.

Произошло существенное снижение времени оценки качества и подготовки управленческих решений по результатам этой оценки без затрат дополнительных ресурсов и в условиях значительного повышения объема используемой информации и количества источников получения этой информации.

Данный положительный эффект привел к экономии бюджета эксплуатации и ТО систем. При этом важно отметить, что снижение времени принятия управленческих решений повышает устойчивость БТС.

Таким образом, цель диссертации была достигнута.

Гипотеза исследования подтверждена.

Резервы дальнейшего повышения эффективности внедрения разработанных методов и способов состоят в рекомендациях по ее применению, направленных в первую очередь на рациональное использование практической части исследования и систематизированных информационных резервов для подготовки управленческих решений и отчетов за периоды эксплуатации систем, а также в сфере обеспечения эффективного функционирования БТС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Доказано, что в современных условиях эффективность БТС зависит от качества систем в их составе. В свою очередь обеспечение и повышение эффективного функционирования БТС во многом зависит от своевременных и обоснованных управленческих решений, принимаемых по результатам оценки качества систем в процессе эксплуатации. Развитие современных технологий обуславливает необходимость разработки и совершенствования методов и способов оценки качества, обеспечивающей оценку качества с использованием больших объемов разнообразной информации из различных источников.

2. Для обеспечения разработки и совершенствования методов и способов, а также для постановки задачи исследования выполнены анализ предметной области, анализ методов оценки качества. Уточнены понятийный аппарата и показатели оценки качества. Проведен анализ проблемы исследования во взаимосвязи с противоречиями управления эксплуатацией БТС. Установлены ограничения и допущения при разработке методов и способов с учетом специфики эксплуатации различных БТС.

3. На основе обобщения и анализа отечественного и зарубежного опыта оценки качества сформулированы Принципы, а также разработаны и усовершенствованы методы оценки качества систем, как теоретическая основа для разработки и внедрения моделей, методик, Способа и программ для ЭВМ.

Принципы позволяют рационально организовывать оценку и использовать результаты оценки качества. Разработан метод оценки качества БТС путем составления правил и формул вычитания Матриц, формируемых на основе построения базовой и реальных структурно-функциональных моделей БТС.

Для рациональной программной реализации автоматической обработки информации усовершенствован метод парных сравнений.

Модифицированный метод DEA усилен введением базовых значений и расчетом корреляционной зависимости переменных, что повышает обоснованность управленческих решений за счет более детального анализа возможностей БТС.

Для обеспечения универсальности применения методов и методик, а также для учета специфических требований к обеспечению эффективного функционирования каждой конкретной БТС предусмотрена возможность установления параметров, снижение (увеличение) которых категорически недопустимо при эксплуатации систем в составе оцениваемой БТС.

На основе методов создана методика оценки эффективности систем совместно с программой для ЭВМ «Анализ и оценка эффективности систем», предназначенная для детальной оценки эффективности систем.

С использованием кибернетического подхода для рациональной оценки качества систем разработана динамическая модель БТС, позволяющая учитывать воздействие внешней среды и динамику пространства метрик универсальных показателей для оценки качества и эффективности систем.

4. Разработана и внедрена модель сопровождения систем в процессе эксплуатации как основа эффективной работы ЛПР и ДЛ органов управления БТС по рациональной организации оценки качества и сопровождения систем.

5. Для анализа динамики процесса обеспечения устойчивости БТС создана модель обеспечения устойчивости. Разработанная модель позволяет моделировать изменения количественных значений основных показателей оценки качества БТС в зависимости от результатов деструктивных воздействий, а также исследовать устойчивость систем в неблагоприятных условиях, которые не рационально (невозможно) создать при реальной эксплуатации БТС.

6. Методика для анализа и оценки процессов обеспечения устойчивости БТС реализует возможность расчета коэффициента устойчивости БТС, что в комплексе с моделью обеспечения устойчивости БТС предоставляет ЛПР широкие возможности оценки процессов обеспечения устойчивости выполнения системами своих функций в неблагоприятных условиях эксплуатации.

7. Разработана и внедрена методика оценки качества компонентов большой технической системы на базе комплексных показателей и правил логического вывода при их экспертном парном сравнении. Методика позволяет наиболее рационально использовать статистическую и экспертную информацию из разных

источников. В методике предусмотрена возможность представления ЛПР результатов оценки в различных вариантах, учитывающих специфику БТС.

8. Разработаны и внедрены методики оценки вероятностных характеристик эффективного функционирования БТС, в том числе в зависимости от вероятности выхода из строя систем (элементов) в их составе. Созданы программы для ЭВМ, применение которых доказало эффективность методик.

9. С целью повышения эффективности оценки качества за счет наиболее рационального применения моделей, методик и программ для ЭВМ, а также для создания ИР оценки качества и принятия обоснованных решений разработан Способ совместно с программой для ЭВМ «Реализация способа рациональной работы с информационными ресурсами и формирования информационных резервов системы», включающие в себя схему организации рациональной работы с ИР, оригинальную схему формирования ИР БТС и системотехнические решения в виде комплексного применения программ для ЭВМ, разработанных автором.

10. Оценка результатов внедрения разработанных методов и способов, как теоретической и практической частей диссертационного исследования, показала:

10.1 Разработка и внедрение Принципов и методов (теоретическая часть) и способов, в виде системного применения алгоритмов, моделей, методик, Способа и программ для ЭВМ (практическая часть), как комплекса новых научно обоснованных методологических, технологических и технических решений привело к существенному снижению расхода времени и ресурсов на оценку качества систем и принятие обоснованных управленческих решений по результатам этой оценки в процессе эксплуатации систем в условиях повышения объемов используемой информации из различных источников.

Таким образом, доказано, что разработка и внедрение представленных в диссертации методов и способов является важнейшим и наиболее рациональным путем достижения цели исследования.

Цель диссертации достигнута.

Гипотеза научного исследования подтверждена.

10.2. Внедрение разработанных методов и способов не требует затрат

дополнительных ресурсов и существенных затрат времени на обучение персонала.

10.3. В настоящее время разработанные Принципы, методы, модели, методики, алгоритмы, Способ и программы для ЭВМ в достаточной степени универсальны и применимы для совершенствования эксплуатации и ТО систем, НИОКР и для подготовки кадров.

10.4. Методы и способы, как комплекс новых научно обоснованных методологических, технологических и технических решений в сфере совершенствования управления и принятии обоснованных управленческих решений на основе оценки эффективности и качества систем, являются важнейшей частью интеграционных резервов повышения эффективности функционирования БТС и вносят значительный вклад в развитие страны.

Результаты диссертационного исследования рекомендуются для дальнейшего совершенствования управления БТС, для синтеза структур систем управления, для рациональной обработки информации, для обеспечения импортозамещения и технологической безопасности в Российской Федерации.

Перспективы дальнейшей разработки темы диссертации заключаются в следующем:

- создание методологии развития и совершенствования БТС;

- разработка методик и алгоритмов повышения эффективности функционирования БТС и снижения риска принятия не правильного решения;

- разработка моделей в CALS-технологиях и методик решения прикладных задач системной инженерии;

- формирование и поддержание в актуальном состоянии ИР подготовки высококвалифицированных кадров для эксплуатации и ТО БТС;

- разработка моделей подготовки специалистов для эксплуатации и ТО систем в составе БТС;

- разработка способов регистрации сложных событий (в пределах видимости на горизонте событий) и выявление сценариев их развития в интересах повышения эффективности проактивного управления БТС.

Список сокращений и условных обозначений

АРМ - автоматизированное рабочее место;
АКБ - аккумуляторная батарея;
АСУ - автоматизированная система управления;
АСФ - анализ среды функционирования;
БТС - большая техническая система;
ВВХ - вероятностно-временные характеристики;
ГСМ - горюче-смазочные материалы;
ДЛ - должностные лица органов управления БТС;
ЗИП - запасные инструменты и принадлежности;
КГ - контрольная группа;
МАС - мультиагентная система;
ИКУ - информационный контур управления;
ИР - информационные резервы;
ИЦУ -информационный цикл управления;
ЛПР - лицо, принимающее решение;
МТО - материально-техническое обеспечение;
ОУ - органы управления;
РВР - ремонтно-восстановительные работы;
СППР - системы поддержки принятия решений;
СУ - система управления;
СФМ - структурно-функциональная модель;
ТС - техническая система;
ТО - техническое обеспечение;
ТСО - техническая система охраны;
ЭГ - экспериментальная группа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдукаримов В.И. Моделирование процесса поиска качественной информации // Математические и инструментальные методы экономического анализа: управление качеством: Сб. науч. тр. Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов, 2004. Вып. 13. – С. 31-40.
2. Азаров Г.И. Способы повышения оперативности передачи информации в системах управления и связи. Москва: Академия ГПС МЧС РФ, 2012. – 110 с.
3. Азаров Г.И. Теоретические основы анализа оперативности передачи информации в системах управления и связи. Москва: Академия ГПС МЧС РФ, 2012. – 80 с.
4. Азгальдов Г.Г. Практическая квалиметрия в системе качества: ошибки и заблуждения // Методы менеджмента качества. – 2001. - № 3. [Электронный ресурс]. URL: http://www.ria-stk.ru/mmq/adtail.php?ID=76&spase_id=1767610 (дата обращения: 14.10.2019).
5. Акофф Р.Л. О целеустремленных системах. М.: Сов. радио, 1974. – 272 с.
6. Александров А.Ю., Соколов С.В. О построении функций Ляпунова для некоторых классов нелинейных систем // Труды Средневолжского математического общества. 2004. Т. 6, № 1. – С. 69-74.
7. Александров А.Ю., Соколов С.В. Устойчивость и оценки решений некоторых классов нелинейных систем // Труды Средневолжского математического общества. 2005. Т. 7, № 1. – С. 113-123.
8. Аляев Ю.А., Тюрин С.Ф. Дискретная математика и математическая логика. М.: Финансы и статистика, 2006. – 361 с.
9. Анализ эффективности функционирования систем / В. Е. Кривоножко, А. И. Пропой, Р. В. Сеньков, И. В. Родченков, П. М. Анохин // Автоматизация проектирования. 1999. № 1. – С. 2–7.
10. Андреева Е.А., Гольянова (Дмитриева) О.Н. Двойственный метод в задачах оптимального управления. Тверь, 2004. – 46 с.

11. Андрианов В.И., Красов А.В., Липатников В.А. Инновационное управление рисками информационной безопасности (учебное пособие) / Федеральное гос. образовательное бюджетное учреждение высш. проф. образования «Санкт-Петербургский гос. ун-т телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича». Санкт-Петербург, 2012. – 159 с.
12. Антамошкин А.Н. Методика исследования эффективности иерархических систем // Вестник Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та. 2006. Вып. 2 (9). – С. 9–14.
13. Анфилатов В.С. и др. Системный анализ в управлении / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин; Под ред. А.А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
14. Ашманов С.А. Теория оптимизации в задачах и упражнениях. М.: Наука, 1991. – 448 с.
15. Барановская Т.П. Моделирование и оценка организационных структур систем управления Методические указания по проведения практических занятий ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет». Краснодар. 2015. – 84с.
16. Барсегян А. А. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. СПб.: БХВ– Петербург, 2004. – 336 с.
17. Белолипецкий А.А. Экономико-математические методы: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Академия, 2010. – 368 с.
18. Бешелев С.Д., Гурвич, Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1980 – 260 с.
19. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Экспертные оценки. М.: Наука, 1973. – 263 с.
20. Билятдинов К.З. Информационные ресурсы и динамическая модель оценки качества инфокоммуникационных систем // Вестник воздушно-космической обороны - 2022. - № 3(35). - С. 118-123.
21. Билятдинов К.З., Алейников А.А., Красов А.В., Кривчун Е.А., Крысанов А.В. Технические аспекты управления с использованием сети Интернет. Санкт-Петербург: Астерион, 2016. – 305 с.

22. Билятдинов, К.З., Алейников, А.А., Красов, А.В., Левин, М.В. Контроль, измерение и интеллектуальное управление трафиком. Монография. Санкт-Петербург: Астерион, 2016. – 92 с.
23. Билятдинов, К.З., Красов, А.В., Меняйло, В.В. Исследование систем и анализ результатов испытаний. Монография. СПб: Астерион, 2019. – 362 с.
24. Билятдинов К.З., Кривчун Е.А. Оценка качества управления организационно-техническими системами // Записки Горного института. Санкт-Петербург, 2014, Т. 209. - С. 152-155.
25. Билятдинов К.З. О формировании основ повышения качества управленческой деятельности // European Social Science Journal (Европейский журнал социальных наук). 2014. № 8. Том 3. - С. 428-434.
26. Билятдинов К.З., Кривчун Е.А. Типы управленческих решений при контроле качества изделий // Век качества №4 / Издательство: НИИ экономики связи и информатики "Интерэкомс" (Москва), 2014. – С. 24-27.
27. Билятдинов К.З., Кривчун Е.А. К вопросу создания модели управленческой деятельности руководителей системы менеджмента качества // В мире научных открытий № 7.2 (55). Красноярск, 2014. – С. 1038-1052.
28. Билятдинов К.З. Противоречия процесса управления в современном мире // Век качества №3 / НИИ экономики связи и информатики "Интерэкомс" (Москва), 2014. - С.40-43.
29. Билятдинов К.З., Алейников А.А., Кривчун Е.А. Управление техническим обеспечением: методология контроля качества // Научно-технический вестник Поволжья. №6, 2016. – С. 76 -78.
30. Билятдинов К.З., Алейников А.А. Модель оценки качества управления // Научно-технический вестник Поволжья. №1, 2017. – С. 63 – 65.
31. Билятдинов К.З., Алейников А.А., Кривчун Е.А. Диаграмма разброса и расчет корреляции зависимости при оценке качества управления // Качество и жизнь №1 (13), 2017. - С. 48- 50.

32. Билятдинов К.З., Шлянцев И.В., Меняйло В.В. Применение структурно-функциональной модели в методе и методике оценки качества систем // Вестник воздушно-космической обороны, вып. 3(27), 2020. С. 5-13.
33. Билятдинов К.З., Меняйло В.В. Методика оценки эффективности систем на основе модифицированного метода DEA // Вестник воздушно-космической обороны», выпуск 3(27), 2020. С. 66-74.
34. Билятдинов К.З., Меняйло В.В. Методика оценки вероятности своевременного достижения цели функционирования системы // Вестник воздушно-космической обороны, выпуск 4(28), 2020. С. 102-107.
35. Билятдинов К.З., Шлянцев И. Меняйло В.В. О повышении эффективности управления эксплуатацией технических систем // Вестник воздушно-космической обороны, вып. 4(28), 2020. С. 18-25.
36. Билятдинов К.З., Меняйло В.В. Методология оценки качества систем в сфере устойчивости больших технических объектов // Век качества. №2. 2020. С. 198-214. ISSN: 2219-8210.
37. Билятдинов К.З., Меняйло В.В. Модифицированный метод DEA и методика оценки эффективности технических систем // Информационные технологии, выпуск 11, 2020. С. 611-617.
38. Билятдинов К.З., Андрианов В.И., Меняйло В.В. Модель устойчивости автоматизированной системы управления // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2020. № 4. С. 43-47.
39. Билятдинов К.З. Модель обеспечения устойчивости больших технических систем // Научно-технический вестник Поволжья. №12, 2020. – С. 17 – 20.
40. Билятдинов К.З., Шестаков А.В. Создание и использование информационных резервов при сопровождении больших технических систем // Труды учебных заведений связи. Т.6. № 4. 2020. С. 104-110.
41. Билятдинов К.З. Методика оценки вероятностных характеристик технических систем в процессе эксплуатации // Научно-технический вестник Поволжья. №12, 2020. – С. 21 – 24.

42. Билятдинов К.З. Комплексная методика оценки качества технических систем в процессе эксплуатации // Научно-технический вестник Поволжья. №11, 2020. – С. 20 – 23.
43. Билятдинов К.З. Расчет вероятности своевременного достижения цели функционирования системы в неблагоприятных условиях в зависимости от времени принятия и доведения управленческих решений в информационном цикле управления / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019661734, дата государственной регистрации 06.09.2019.
44. Билятдинов К.З. Расчет и анализ вероятностных характеристик системы / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020610203, дата государственной регистрации 10.01.2020.
45. Билятдинов К.З. Реализация способа рациональной работы с информационными ресурсами и формирования информационных резервов системы / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020610335, дата государственной регистрации 13.01.2020.
46. Билятдинов К.З. Анализ и оценка эффективности систем / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020610389, дата государственной регистрации 14.01.2020.
47. Билятдинов К.З. Оценка устойчивости систем / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020615328, дата государственной регистрации 21.05.2020.
48. Билятдинов К.З. Модель сопровождения технических систем в процессе эксплуатации // Научно-технический вестник Поволжья. №10, 2020. С. 22 – 24.
49. Билятдинов К.З. Совершенствование процедур обработки информации в комплексной методике оценки качества технических систем // Вестник воздушно-космической обороны - 2022. - № 1(33). С. 95-100.
50. Билятдинов К.З Методика оценки устойчивости технических систем // Научно-технический вестник Поволжья. №10, 2020. С. 25 – 28.

51. Билятдинов К.З., Мордвинцев М.В. Об основах методологии оценки качества больших технических систем в процессе эксплуатации // International Journal of Open Information Technologies - 2022. - Т. 10. - № 5. - С. 91 - 98.
52. Билятдинов К.З., Кривчун Е.А. Обоснование выбора при контроле изделий // European Applied Sciences, November-December, 2013, 1 (2). - С. 204-206.
53. Билятдинов К.З. Оценка качества систем с помощью структурно-функционального моделирования и вычитания матриц значений показателей качества / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2022619306, дата государственной регистрации 19.05.2022.
54. Билятдинов К.З., Кривчун Е.А. Методические основы переподготовки специалистов в национальных исследовательских университетах // XX МНПК «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах» 28 февраля - 1 марта 2013. С.28-30.
55. Билятдинов К.З. Совершенствование и развитие информационных резервов больших технических систем в процессе эксплуатации // Научно-технический вестник Поволжья. №11, 2020. С. 16 – 19.
56. Билятдинов К.З. Оценка качества управления метрологическим обеспечением // Инновационные системы планирования и управления в машиностроении. Сборник трудов II МНПК. Том II – СПб: Национальный минерально-сырьевой университет "Горный", 2014. - С. 121-124.
57. Билятдинов К.З., Кривчун Е.А. К вопросу повышения качества подготовки специалистов в ВУЗе // Материалы XX международной научно-методической конференции "Современное образование: содержание, технологии, качество", Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, 23 апреля 2014 г. Том 2. С.65-67.
58. Билятдинов К.З., Кривчун Е.А. Методология оценки качества как инструмент повышения эффективности управления // Наука и бизнес: пути развития № 5 (119), 2021. – С. 105-109.

59. Билятдинов К.З., Плахотнюк В.А., Королев В.В. Применение модифицированного метода DEA для оценки эффективности оператора связи / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2022619316, дата государственной регистрации 20.05.2022.
60. Билятдинов К.З., Кривчун Е.А. О формировании компетенций принятия решений в менеджменте качества // VIII Санкт-Петербургский конгресс «Профессиональное образование, наука, инновации в XXI веке»: Сборник трудов / Национальный минерально-сырьевой университет "Горный". СПб, 2014. - С. 24-27.
61. Билятдинов К.З. О формировании предложений по организации контроля качества изделий // VIII Санкт-Петербургский конгресс «Профессиональное образование, наука, инновации в XXI веке»: Сборник трудов / Национальный минерально-сырьевой университет "Горный". СПб, 2014. - С. 28-31.
62. Билятдинов К.З., Кривчун Е.А. Об инновационных путях повышения эффективности проактивного управления эксплуатацией технических систем // В сборнике: Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности. сборник научных статей V международной научной конференции в 2-х частях. НПП МЕДПРОМДЕТАЛЬ ООО Газпром трансгаз Казань. 2021. С. 17-20.
63. Билятдинов К.З. Методика оценки компетентности экспертов / Деп. в ЦВНИ МО РФ Инв.№ В6878. Справка 15967. Серия Б. Вып. № 84. М., 2008. 20с.
64. Билятдинов К.З. Фортинский А.Г. Применение комбинированного метода оценки компетентности экспертов / Научно-технический сборник, посвященный 85-летию 16 ЦНИИ, г. Мытищи, 2008. – С. 121 - 128.
65. Билятдинов К.З., Кривчун Е.А. Контроль качества на основе жизненного цикла изделия // Инновационные системы планирования и управления в машиностроении. Сборник трудов IV МНПК. Том IV – СПб: Национальный минерально-сырьевой университет "Горный", 2016. – С. 14-17.

66. Билятдинов К.З., Дородницкий А.Б. Оценка качества управленческих решений на основе количественных показателей // Новая наука: современное состояние и пути развития. Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции (9 мая 2016 г., г. Оренбург). Ч.2 - Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2016. – С. 155-157.
67. Билятдинов К.З. Практические аспекты совершенствования управления телекоммуникационными системами при использовании матриц значений показателей качества // Вестник воздушно-космической обороны. 2022. № 2 (34). С. 98 - 105.
68. Билятдинов К.З., Досиков В.С. Опыт разработки методического обеспечения инновационной оценки качества функционирования одного класса сложных систем // Современные информационные технологии и ИТ-образование - 2022. - Т.18. - № 1. - С. 119 - 133.
69. Билятдинов К.З. Модель и методика оценки устойчивости функционирования телекоммуникационных систем // Вестник воздушно-космической обороны - 2022. - № 4(36). - С. 85-90.
70. Билятдинов К.З. Методика оценки вероятностных характеристик инфокоммуникационных систем на основе биноминального закона распределения в выборках с возвратом // Вестник воздушно-космической обороны - 2022. - № 4(36). - С. 79-84.
71. Билятдинов К.З., Алейников А.А., Гвозд К.И., Реджепов И.В. Некоторые аспекты применения алгоритмов и моделей адаптивного управления // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем». Часть 8. ФГКВОУ ВПО «Военная академия РВСН им. Петра Великого» Министерства обороны Российской Федерации. г. Серпухов. 2017. – С. 52-56.

72. Билятдинов К.З., Дородницкий А.Б., Цыбуляева А.А., Потапов С.Е. Основы оценки эффективности управления // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем». Часть 8. ФГКВОУ ВПО «Военная академия РВСН им. Петра Великого» Министерства обороны Российской Федерации. г. Серпухов. 2017. – С. 70-77.
73. Билятдинов К.З., Кривчун Е.А. Принципы оценки качества технических систем в процессе эксплуатации // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2021. № 3. С. 27-30.
74. Билятдинов К.З. Методика оценки качества технических систем на основе усовершенствованного метода парных сравнений // Вестник воздушно-космической обороны - 2021. - № 4 (32). - С. 102-107.
75. Билятдинов К.З., Кривчун Е.А. Управление процессами. Учебно-методический комплекс / Национальный минерально-сырьевой университет "Горный". СПб, 2013. – 125 с.
76. Билятдинов К.З., Кривчун Е.А. Интеграция методологических решений по оценке устойчивости функционирования больших технических систем // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2021. 9(4). С. 1-10. DOI: 10.26102/2310-6018/2021.35.4.003.
77. Билятдинов К.З., Червонецкий А.В., Ануфриев А.О. Экспертная оценка систем усовершенствованным методом парных сравнений / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2022660655, дата государственной регистрации 08.06.2022.
78. Билятдинов К.З. Кривчун Е.А. Правила составления и вычитания матриц значений по двум группам показателей для оценки качества больших технических систем // International Journal of Open Information Technologies - 2022. - Т. 10. - № 7. - С. 29 - 37.
79. Билятдинов К.З. Сети мобильной связи (Часть 2). Учебное пособие, Часть 2 / СЗИПК ФСКН России. Ленинградская область. 2013. – 84 с.

80. Билятдинов К.З. Усовершенствованный метод парных сравнений для оценки качества технических систем в процессе эксплуатации // Вестник воздушно-космической обороны - 2021. - № 3. - С. 39-44.
81. Билятдинов К.З., Досиков Д.В. Оценка вероятностных характеристик сложных радиотехнических систем в зависимости от количества и качества электронных элементов в их составе // Прикладная физика [Applied Physics] - 2021. - № 4. - С. 87-92.
82. Билятдинов К.З. Модель обеспечения и методика оценки устойчивости больших технических систем в процессе эксплуатации // International Journal of Open Information Technologies - 2022. - Т. 10. - № 9. - С. 32 - 40.
83. Билятдинов, К.З., Красов, А.В., Меняйло, В.В., Пешков, А.И., Карпов А.Н. Теория информационных процессов и систем. Учебник. Санкт-Петербург: Астерион, 2019. – 145 с.
84. Буссофиане А., Дайсон Р. Дж., Танасулис Э. Прикладной анализ свертки данных // Российский журнал менеджмента, 10 (2). 2012. – С. 63–88.
85. Вапник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. М.: Наука, 1979. – 449 с.
86. Вапник В.Н. Теория распознавания образов. Статистические проблемы обучения. М.: Наука, 1974. – 415 с.
87. Василевский С.Н. Измерение процессов СМК в строительстве // Методы менеджмента качества. Москва (2). 2010. – С. 41-45.
88. Васильев Ф.П. Методы оптимизации. М.: Факториал Пресс, 2002. – 824 с.
89. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач. М.: Наука, 1988. – 552 с.
90. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Системный анализ и управление». Изд. 3-е., перераб. СПб.: Изд. Политех. ун-та, 2005. – 520 с.
91. Воронин А.А. Оптимальные иерархические структуры. М.: ИПУ РАН, 2003. – 214 с.
92. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. Издание 5-е. М.: Физматлит, 2006.–560с.

93. Голуб Дж. Матричные вычисления. М.: Мир, 1999. – 548 с.
94. Голубков Е.П. Технология принятия управленческих решений. М.: Дело и сервис, 2005. – 544с.
95. Гольянова (Дмитриева) О.Н. Задача об оптимальном использовании и восстановлении лесонасаждений // Современные методы теории функций и смежные проблемы: Материалы конференции. Воронеж: ВГУ, 2005. – С. 77.
96. Гольянова (Дмитриева) О.Н. Оптимальное управление в модели использования лесонасаждений // Применение функционального анализа в теории приближений: Сб. научн. тр. Тверь: ТвГУ, 2005. – С. 172-178.
97. Горелова В.Л. Основы прогнозирования систем: учеб. пособие для инж.-экон. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1986. – 287 с.
98. Горский Ю.М., Урсул А.Д. Информация в управлении большими системами (методологические аспекты) // Оптимизация и управление в больших системах энергетики. Иркутск: СЭИ СО АН СССР, 1970. Т. 3. – 82 с.
99. Гражданкин А.И. Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов // Безопасность жизнедеятельности, 2001. №2. – С. 6-10.
100. Деминг Э. Выход из кризиса: Новая парадигма управления людьми, системами и процессами. М.: Альпина Паблишерз, 2007. - 349 с.
101. Дмитриева О.Н. Математическое моделирование процесса развития лесонасаждений. Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. Специальность 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. М., 2008. – 100 с.
102. Дмитриева О.Н. Стохастическая модель динамики развития лесонасаждений // Сборник научных трудов «Многоуровневая система подготовки специалистов на основе информационных и коммуникационных технологий образования». Тверь: ТвГУ, 2006. – С. 41–49.
103. Дородницын А.А. Проблемы математического моделирования в описательных науках // Кибернетика. 1983. № 4. – С. 6–10.

104. Душин С.Е., Красов А.В., Кузьмин Н.Н. Моделирование систем управления. Учебное пособие; под ред. С. Е. Душина. Москва, 2012. – 134 с.

105. Душин С.Е., Красов А.В., Литвинов Ю.В. Моделирование систем и комплексов. Учебное пособие. СПб: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2010. – 177 с.

106. Дэвид А. Марка, Клемент Л. МакГоуэн Методология структурного анализа и проектирования SADT. М.: 1993. 240 с.

107. Ерохин С.Д., Петухов А.Н., Пилюгин П.Л. Событийно-ориентированная политика безопасности и формальная модель механизма защиты критических информационных инфраструктур // ТУЗС Т.5. №4, 2019 - С. 99-105. DOI:10.31854/1813-324X-2019-5-4-99-105.

108. Изергин Н.Д., Таров А.Г. Оценка состояния технических объектов и их классификация методом парных сравнений // Известия Тульского гос. университета. Технические науки. Выпуск 5. 2017. С.164-168.

109. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. – 595 с.

110. Зацаринный А.А., Костогрызов А.И., Нистратов А.А. Приоритетные направления развития системной инженерии, предусматривающие применение риск-ориентированного подхода // ИТ-Стандарт. 2021. № 4 (29). С. 23-37.

111. Исаев Р.А. Модифицированный метод парных сравнений для экспертной оценки параметров нечеткой когнитивной модели. // Международный научный журнал «Современные информационные технологии и ИТ-образование». Выпуск 12. Номер 2. 2016. стр. 35-42.

112. Капица С.П. Синергетика и прогнозы будущего. 3-е изд. М.: Едиториал УРСС, 2003. – 288 с.

113. Костогрызов А.И., Нистратов Г.А., Нистратов А.А., Довбня А.Б., Тимченко А.Н. Стандарты, методы и технологии системной инженерии // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2013. № 9. С. 14-33.

114. Костогрызов А.И., Степанов П.В., Нистратов А.А., Григорьев Л.И., Червяков Л.М. Прогнозирование рисков для обеспечения качества

информации в сложных системах // Системы высокой доступности. 2016. Т. 12. № 3. С. 25-38.

115. Кучерова К.Н. Прогнозирование ресурсов облачных сервисов на основе мониторинговой системы с открытым кодом // ТУЗС Т.6. №3, 2020 - С. 100-106. DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-3-100-106.

116. Крылова М.В., Дикусар В.В., Зубов Н.В. Критерий полной управляемости для нестационарных дискретных систем управления. Труды ИСА РАН Динамика неоднородных систем, Т. 42(2). М: Изд. Либроком, 2009. – С. 35–39.

117. Костогрызов А.И., Нистратов А.А. О приоритетных направлениях развития системной инженерии // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2021. Т. 17. № 2. С. 223-240.

118. Кривулин Н.К., Агеев В.А., Методы тропической оптимизации в многокритериальных задачах оценки альтернатив на основе парных сравнений // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. Том 15. Выпуск 4. 2019. стр. 472–488.

119. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. М.; Л.: ОНТИ, 1935. – 386 с.

120. Математические и инструментальные методы экономического анализа: управление качеством: Сб. науч. тр. / Под науч. ред. д-ра экон. наук, проф. Б.И. Герасимова. Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов. 2004. Вып.13. – 240 с.

121. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. – 344 с.

122. Местецкий Л.М. Математические методы распознавания образов: курс лекций [Электронный ресурс] / Л.М. Местецкий. – Режим доступа: http://www.ccas.ru/frc/papers/mestetskii04course.pdf (дата обращения 22.10.2019).

123. Могилевский В.Д. Методология систем: вербальный подход. М.: Экономика, 1999. – 251 с.

124. Моргунов Е. П. Многомерная классификация объектов на основе оценки их эффективности // Вестник НИИ СУВПТ: сб. науч. тр. Красноярск: НИИ СУВПТ, 2003. Вып. 14. – С. 222–240.

125. Моргунов Е.П. Формирование искусственной границы эффективности в методе Data Envelopment Analysis // Вестник Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. академика М.Ф. Решетнева: сб. науч. тр. / Красноярск: СибГАУ, 2003. – С. 385 – 386.

126. Моргунова О. Н. Информационная система как источник данных для оценки уровня эффективности объектов и процессов в сфере высшего образования // VI Всероссийская научно-техническая конференция «Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий», 25–31 июля 2005 г. (г. Улан-Удэ). Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2005. Ч. 2. – С. 286–289.

127. Моргунова О. Н. Теория эффективности систем: некоторые вопросы и предложения // X Международная научно-практическая конференция «Системный анализ в проектировании и управлении». Санкт-Петербург. 2006. Ч. 1. – С. 119–122.

128. Моргунова О.Н. Модели и алгоритмы исследования эффективности иерархических систем. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации. Красноярск, 2006. – 153 с.

129. Надежность и эффективность в технике: справочник / Ред. совет: В.С. Авдуевский (пред.) и др. Т. 1. Методология. Организация. Терминология / Под ред. А.И. Рембезы. М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.

130. Надежность и эффективность в технике: справочник / Ред. совет: В.С. Авдуевский (пред.) и др. Т. 3. Эффективность технических систем / Под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.

131. Нив Г.Р. Пространство доктора Деминга: Принципы построения устойчивого бизнеса. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 268 с.

132. Овсянникова Н.И. Задача оптимального управления в модели эпидемии Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. Специальность 01.01.09 – «Дискретная математика и математическая кибернетика». Москва, 2010. – 132 с.

133. Овсянникова Н.И. Поиск оптимального управления эпидемией путём вакцинации // Оптимальное управление динамическими системами: Вестник ОГУ №5, 2006. – С.37–45.

134. Пантелеев А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 2002. – 544 с.

135. Петров Д.В., Петров М.В. Методы анализа альтернатив в системах поддержки принятия решений // Информационно-измерительные и управляющие системы. - ГОУВПО СамГТУ, 2008. – С. 99–107.

136. Петухов Г.Б. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М.: АСТ, 2006. – 504 с.

137. Пономарев С.В. Причины и мотивы, побуждающие бизнесменов внедрять на своих предприятиях системы менеджмента качества // Математические и инструментальные методы экономического анализа: управление качеством: Сб. науч. тр. Тамбов, 2004. Вып. 13. – 240 с.

138. Прангишвили И.В. Системный подход и повышение эффективности управления. М.: Наука, 2005. – 422 с.

139. Путивцева Н.П., Пусная О.П., Игрунова С.В., Зайцева Т.В., Нестерова Е.В Сравнительный анализ применения многокритериальных методов // Научный результат. Информационные технологии. Том 2. Выпуск №1. 2017. стр. 40-47.

140. Росин М.Ф. Статистическая динамика и теория эффективности систем управления. М.: Машиностроение, 1980. – 312 с.

141. Саати Т. Принятие решений: Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. – 92 с.

142. Савин К.Н., Хамханова Д.Н. Аттестация алгоритмов обработки весовых коэффициентов показателей качества // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. – 7 с.

143. Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов в условиях риска и неопределенности (теория ожидаемого эффекта). М.: Наука, 2002. – 182 с.

144. Синицын И.Н. Шаламов А.С. Стохастические CALS-технологии для послепродажного сопровождения систем высокой доступности // Системы высокой доступности. 2016. Т. 12. № 2. С. 13−26.

145. Старинец Д.В. Задача оптимального управления ресурсами промышленного предприятия с учетом взаимодействия со смежными предприятиями. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Специальность 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации. Москва, 2009. – 128 с.

146. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. М.: Мир, 1978. – 412 с.

147. Управление – это наука и искусство / А. Файоль, Г. Эмерсон, Ф. Тэйлор, Г. Форд. М.: Республика, 1992. – 289 с.

148. Тихомирова А.Н., Сидоренко Е.В. Модификация метода анализа иерархий Т. Саати для расчета весов критериев при оценке инновационных проектов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2.; URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=6009 (дата обращения: 25.10.2020).

149. Федотов Ю.В. Методы и модели построения эмпирических производственных функций. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 1997. – 74 с.

150. Федотов Ю.В. Оценка эффективности производственной деятельности фирмы с помощью производственной функции // Вестник С.-Петербургского ун-та. Серия Экономика (3), 1992. – С. 112–118.

151. Флейшман Б.С. Основы системологии. М.: Радио и связь, 1982. – 368 с.

152. Флейшман Б.С. Элементы теории потенциальной эффективности систем. М.: Сов. радио, 1971. – 224 с.

153. Хенли Дж. Надежность технических систем и оценка риска. М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.

154. Черепанов В.С. Экспертные оценки в педагогических исследованиях. М.: Педагогика, 1989. – 152 с.

155. Черкашин А.К. Математические аспекты реализации метода анализа иерархий // Информационные и математические технологии в науке и управлении. № 1 (17). 2020. стр. 5-24.

156. Шестаков А.Л. Назначение СМК и ее процессов // Методы менеджмента качества. 2010. N 1. – С. 10–13.

157. Шишкин И.Ф., Хамханова Д.Н. Контроль. Качество однократного решения // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2012. № 11. – С. 41–43.

158. Шишкин И.Ф. Контроль: учебное пособие. – СПб.: СЗПИ. 1992. – 62с.

159. Azgaldov G., Kostin A. Applied Qualimetry: Its origins, errors and misconceptions // Benchmarking: An International Journal, Volume 18, Number 3, 2011. P. 428-444.

160. Anderson T.R. Extending Productivity Research Frontiers: DEA Resource of Datasets and Errata // Journal of Productivity Analysis. 2003. Vol. 19, № 2–3. – P. 271–275.

161. Biliatdinov K.Z., Dosikov V.S., Meniailo V.V. Improvement of the paired comparison method for implementation in computer programs used in assessment of technical systems' quality // Computer Research and Modeling, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 1125-1135. DOI: 10.20537/2076-7633-2021-13-6-1125-1135 (URL: http://crm.ics.org.ru/journal/article/3145/).

162. Bilyatdinov K.Z., Krivchun E.A. Development and improvement of assessment means of technical systems quality in the process of maintenance // CEUR Workshop Proceedings. July 5-9, 2021. Vol. 3041, pp. 579-583.

163. Bilyatdinov K.Z., Krivchun E.A. About the method of assessing the quality of big technical systems based on the rules of subtraction of matrices of values of indicators // Journal of Physics: Conference Series - 2022, Vol. 2373, pp. 052009.

164. Banker R.D. Hypothesis Tests Using Data Envelopment Analysis // The Journal of Productivity Analysis. 1996. Vol. 7. – P. 139–159.

165. Banker R.D. Maximum Likelihood, Consistency and Data Envelopment Analysis: A Statistical Foundation // Management Science. 1993. Vol. 39, № 10. – P. 1265 – 1273.

166. Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W. Some models for estimating technical and scale efficiency in data envelopment analysis // Management Science. 1984. Vol. 30, № 9. – P. 1078 – 1092.

167. Banker R.D., Morey R.C. Efficiency analysis for exogenously fixed inputs and outputs // Operations Research. 1986. № 4. – P. 513 – 521.

168. Barr R.S. Parallel and hierarchical decomposition approaches for solving large-scale Data Envelopment Analysis models // Annals of Operations Research. 1997. Vol. 73. – P. 339 – 372.

169. Boles J.N. Efficiency Squared – Efficiency Computation of Efficiency Indexes // Proceedings of the 39th Annual Meeting of the Western Farm Economics Association. 1966. – P. 137 – 142.

170. Calabrese R., Osmetti S.A. A new approach to measure systemic risk: A bivariate copula model for dependent censored data // European Journal of Operational Research. 2019. Vol. 279(3). - P. 1053-1064.

171. Charnes A., Cooper W.W. Programming with linear fractional functionals // Naval Research Logistics Quarterly. 1962. № 9. – P. 181-185.

172. Chen J.-X. Overall performance evaluation: new bounded DEA models against unreachability of efficiency // The Journal of the Operational Research Society. 2014. Vol. 65. № 7. - P. 1120-1132.

173. Cooper W.W. Data Envelopment Analysis. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. – 318 p.

174. Cooper W.W., Charnes A., Golany B., Seiford L., Stutz J. Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-Koopmans Efficient Empirical Production Functions // Journal of Econometrics. l985. Vol 30. – P. 91-l07.

175. Duddy C., Piggins A. A foundation for Pareto optimality // Journal of Mathematical Economics. 2020. 88. P. 25-30.

176. Downes C. Strategic Blind–Spots on Cyber Threats, Vectors and Campaigns // The Cyber Defense Review. 2018. Vol. 3. № 1. - P. 79-104.

177. Duer S. Assessment of the operation process of wind power plant's equipment with the use of an artificial neural network // Energies. 2020. № 13(10). Article 2437.

178. Dulá J.H. Computations in DEA // Pesquisa Operacional. 2002. Vol. 22, № 2. – P. 165–182.

179. Efficiency and Productivity Analysis in the 21st Century // Proceedings of International DEA Symposium (24–26 June 2002, Moscow, Russia). Moscow: International Research Institute of Management Sciences, 2002. – 178 p.

180. Farrell M.J. The Measurement of Productive Efficiency // Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General), Part III. 1957. Vol. 120. – P. 253–281.

181. Filz M., Herrmann C., Thiede S. Simulation-based Assessment of Quality Inspection Strategies on Manufacturing Systems // Procedia CIRP. 2020. Vol. 93. – P. 777-782.

182. Gerami J. An interactive procedure to improve estimate of value efficiency in DEA // Expert Systems with Applications. 2019. № 137. - P. 29-45.

183. Golabchi A., Han S., AbouRizk S. A simulation and visualization-based framework of labor efficiency and safety analysis for prevention through design and planning // Automation in Construction. 2018. Vol. 96. - P. 310-323.

184. Han P., Wang L., Song P. Doubly robust and locally efficient estimation with missing outcomes // Statistica Sinica. 2016. Vol. 26. № 2. - P. 691-719.

185. Hund L., Schroeder B., Rumsey K., Huerta G. Distinguishing between model- and data-driven inferences for high reliability statistical predictions // Reliability Engineering and System Safety. 2018. Vol. 180. - P. 201-210.

186. Jabbour K., Poisson J. Cyber Risk Assessment in Distributed Information Systems // The Cyber Defense Review. 2016. Vol. 1. № 1. - P. 91-112.

187. Petchrompo S., Coit D. W., Brintrup A., Wannakrairot A., Kumar Parlikad A. A review of Pareto pruning methods for multi-objective optimization // Computers & Industrial Engineering. 2022. 167. 108022.

188. Karagiannis G. On structural and average technical efficiency // Journal of Productivity Analysis. 2015. Vol. 43. № 3. - P. 259-267.

189. Kuritsyna V.V., Kuritsyn D.N., Shahrivar S.M., Kazantsev S.A. Automation of scientific and technical expertise procedures in the methodology of technological audit of aircraft manufacturing // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 868(1). Article 012004.

190. Lemmerling P. Fast structured total least squares algorithm for solving the basic deconvolution problem // SIAM J. Matrix Anal. Appl., 2000. – 104p.

191. Li Y., Huang Sh., Li, H. Application of phase sequence exchange in emergency control of a multi-machine system // International journal of electrical power & energy systems. 2020. Vol. 121. Article 106136.

192. Liang Ya., Gao Zh., Gao J. A new method for multivariable nonlinear coupling relations analysis in complex electromechanical system // Applied soft computing. 2020. Vol. 94. Article 106457.

193. Luetje A., Wohlgemuth V. Tracking Sustainability Targets with Quantitative Indicator Systems for Performance Measurement of Industrial Symbiosis in Industrial Parks // Administrative sciences. 2020. Vol. 10. № 1. Article 3.

194. Minnullina A., Minnullin R., Kopytova A., Savoskina E. Production strategy development for an energy company based on SADT // E3S Web of Conferences. "International Scientific and Practical Conference "Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering", ERSME 2020", 2020. 07015.

195. Men J., Chen G., Zhou L., Chen P. A pareto-based multi-objective network design approach for mitigating the risk of hazardous materials transportation // Process Safety and Environmental Protection. 2022. 161. 860-875.

196. Neumann G.K., Grace P., Burns D., Surridge M. Pseudonymization risk analysis in distributed systems // Journal of Internet Services and Applications. 2019. Vol. 10(1). Article 1.

197. Pačaiová H., Sinay J., Nagyová A. Development of GRAM – A risk measurement tool using risk based thinking principles // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation. 2017. № 100. - P. 288-296.

198. Popova L.F. The practical application of the methodology for the QMS effectiveness assessment // Quality - Access to Success. 2018. Vol. 19(167). - P. 43-47.

199. Putz M., Wiene T., Pierer A. A multi-sensor approach for failure identification during production enabled by parallel datamonitoring // CIRP annals-manufacturing technology. 2018. Vol. 67. № 1. - P. 491-494.

200. Ratner S., Ratner P. Developing a strategy of environmental management for electric generating companies using DEA-methodology // Advances in Systems Science and Applications. 2017. Vol. 17(4). - P. 78-92.

201. Shreelekhya G., Yazhini, Senthilkumaran U., Manikandan N. Methods for evaluating software architecture-A survey // International Journal of Pharmacy and Technology, December 2016. Vol. 8 (4). - Pp.25720-25733.

202. Shafik M.B., Chen H., Rashed G. Planning and reliability assessment to integrate distributed automation system into distribution networks utilizing binary hybrid PSO and GSA algorithms considering uncertainties // International Transactions on Electrical Energy Systems. 2020. Article e12594.

203. Skrypnik I.L., Ksenofontov Yu.G., Kaverzneva T.T., Rumyantseva N.V., Kiss V.V. Assessment of technical level of new, promising models of equipment at the stage of their development in modern engineering practice // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 862(4). Article 042031.

204. Tortorella G.L., Vergara L.G.L., Ferreira E.P. Lean manufacturing implementation: an assessment method with regards to socio-technical and ergonomics practices adoption // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2017. № 89(9-12). - P. 3407-3418.

205. Tran V.P., Shcherbakov M., Nguyen T.A. Yet another method for heterogeneous data fusion and preprocessing in proactive decision support systems: distributed architecture approach // International Conference on Distributed Computer and Communication Networks – DCCN 2017 : 20th International Conference (Moscow, Russia, September 25-29, 2017). Springer International Publishing AG, 2017. – Pp. 319-330. DOI: 10.1007/978-3-319-66836-9_27.

206. Wang Y., You S., Zhang H., Zheng X., Wei S., Miao Q., Zheng W. Operation stability analysis of district heating substation from the control perspective // Energy and Buildings. 2017. № 154. - P. 373-390.

207. Wildauer R., Kapeller J. Tracing the invisible rich: A new approach to modelling Pareto tails in survey data // Labour Economics. 2022. 75. 102145.

208. Yang R., Zheng W. Output-Based Event-Triggered Predictive Control for Networked Control Systems // IEEE transactions on industrial electronics. 2020. Vol. 67. № 12. - P.10631-10640.

209. Yazdi M. Introducing a heuristic approach to enhance the reliability of system safety assessment // Quality and Reliability Engineering International. 2019. Vol. 35(8). - P. 2612-2638.

210. Yan, Y., Liu, Y., Fang, J., (...), Sanjeevikumar, P., Jiang, X. Application of random matrix model in multiple abnormal sources detection and location based on PMU monitoring data in distribution network // IET Generation, Transmission and Distribution. 2020. 14(26).- P. 6476-6483.

211. Yizhen P., Yu W., Jingsong X., Yanyang Z. Adaptive stochastic-filter-based failure prediction model for complex repairable systems under uncertainty conditions // Reliability Engineering and System Safety. 2020. Vol. 204. Article 107190.

212. Yin, X., Qian, J., Guo, X., Lin, G. An optimized algorithm to construct QC-LDPC matrix in compressed sensing // Journal of Web Engineering. 2020. 19 (7-8). -P. 999-1016.

213. Yu L., Xu X., Li C., Li S., Cao D. Health Management Quality Assessment of Complex Communication System // Journal of Physics: Conference Series. 2021. 1738(1). 012036.

214. Zhang L., Chen S., Cen,Y., (...), Wang,H., Zeng M. Block sparse low-rank matrix decomposition based visual defect inspection of rail track surfaces // KSII Transactions on Internet and Information Systems. 2019. 13(12). -P. 6043-6062.

215. Zhang Z., David J. Structural order measure of manufacturing systems based on an information-theoretic approach // Expert Systems with Applications. 2020. Vol. 158. Article 113636.

216. Zhao X., Barber S., Taylor C., Milan Z. Interval forecasts based on regression trees for streaming data // Advances in Data Analysis and Classification. 2021. Vol. 15.- P. 5 - 36.

217. Zou G., Faber M.H., Gonzalez A. A holistic approach to risk-based decision on inspection and design of fatigue-sensitive structures // Engineering structures. 2020. Vol. 221. Article 110949.

Приложение А. Примеры расчетов и применения программ для ЭВМ

Раздел А.1. Пример программной реализации метода оценки качества БТС на основе вычитания матриц значений показателей [53]

Особенности: в представленном примере Метод может быть применён совместно с комплексной методикой оценки качества технической систем (р. А.6 Приложения А) и методикой оценки вероятностных характеристик систем (р. А.4 Приложения А) согласно алгоритма принятия решения на основе результатов оценки качества систем в процессе эксплуатации (Рис. 5.1.3).

В примере Метод реализован с помощью программы для ЭВМ «Оценка качества систем с помощью структурно-функционального моделирования и вычитания матриц значений показателей качества» [53] (рис. А.1.1 – А.1.7). Представлен расчёт значений комплексных показателей качества (Q_i) для обоснованного выбора лучшего периода времени (квартал) функционирования оцениваемой БТС, имеющей в своем составе три производственные подсистемы.

I этап Метода представлен на рисунке А.1.1.

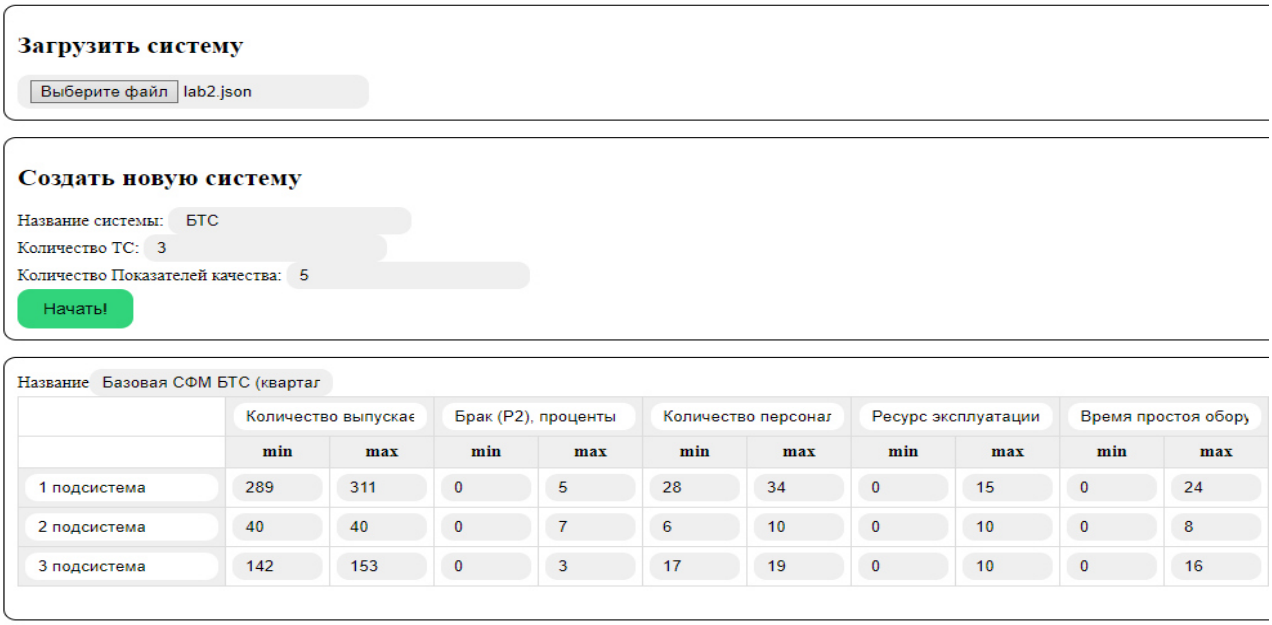


Рисунок А.1.1. Базовая структурно-функциональная модель БТС (определение базовых требований к качеству функционирования БТС в оцениваемом квартале)

В примере применяются в достаточной степени универсальные показатели качества (P_1, P_2, P_3, P_4, P_5), пригодные для комплексной оценки качества функционирования большинства БТС: промышленных предприятий, объектов транспортной инфраструктуры, объектов связи, различных информационных систем, объектов топливно-энергетического комплекса и др.

II этап Метода – рис. А.1.2 – А.1.5.

Название Реальная СФМ БТС в I квар

	Количество выпускаемой продукции (P1), комплект		Брак (P2), проценты		Количество персонала (P3), специалист		Ресурс эксплуатации оборудования (P4), проценты		Время простоя оборудования (P5), часы	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1 подсистема	294	294	0	4	28	30	0	11	0	0
2 подсистема	40	40	0	6	8	8	0	9	0	2
3 подсистема	150	150	0	1	17	17	0	9	0	5

Q1=3.5892

Рисунок А.1.2. Реальная структурно-функциональная модель БТС в I квартале

Название Реальная СФМ БТС во II кв

	Количество выпускаемой продукции (P1), комплект		Брак (P2), проценты		Количество персонала (P3), специалист		Ресурс эксплуатации оборудования (P4), проценты		Время простоя оборудования (P5), часы	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1 подсистема	302	302	0	7	29	33	0	9	0	4
2 подсистема	40	40	0	7	6	8	0	5	0	6
3 подсистема	144	144	0	3	17	17	0	7	0	5

Система Реальная СФМ БТС во II квартале не участвует в рейтинге, так как не соответствует базовым требованиям

Рисунок А.1.3. Реальная структурно-функциональная модель БТС во II квартале с выводами о несоответствии базовым требованиям согласно правил составления матриц (процент брака в выпускаемой продукции 1-й производственной подсистемы выше установленным требованиям в базовой СФМ БТС на I этапе Метода)

Название Реальная СФМ БТС в III ква

	Количество выпускаемой продукции (P1), комплект		Брак (P2), проценты		Количество персонала (P3), специалист		Ресурс эксплуатации оборудования (P4), проценты		Время простоя оборудования (P5), часы	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1 подсистема	310	310	0	2	28	34	0	14	0	20
2 подсистема	40	40	0	5	9	10	0	10	0	7
3 подсистема	150	150	0	2	18	18	0	10	0	15

Q3=2.2925

Рисунок А.1.4. Реальная структурно-функциональная модель БТС в III квартале

Название Реальная СФМ БТС в IV ква

	Количество выпускаемой продукции (P1), комплект		Брак (P2), проценты		Количество персонала (P3), специалист		Ресурс эксплуатации оборудования (P4), проценты		Время простоя оборудования (P5), часы	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1 подсистема	295	295	0	4	29	32	0	12	0	18
2 подсистема	40	40	0	3	9	9	0	6	0	4
3 подсистема	152	152	0	3	19	19	0	3	0	10

Q4=2.8323

Рисунок А.1.5. Реальная структурно-функциональная модель БТС в IV квартале

В структурно-функциональных моделях БТС показателями первой группы (где лучшим считается наименьшее значение показателя) являются:

- процент бракованной продукции (P_2);
- затраты ресурса эксплуатации оборудования (P_4);
- время простоя оборудования (P_5).

В примере отсутствуют показатели, которые могут входить только во вторую группу (где лучшим считается наибольшее значение показателя).

Показателями, значения которых будут входит в матрицы первой и второй группы являются: количество выпускаемой продукции (P_1) и количество персонала, задействованного в производстве этой продукции (P_3).

III этап Метода (рис. А.1.6 и А.1.7)

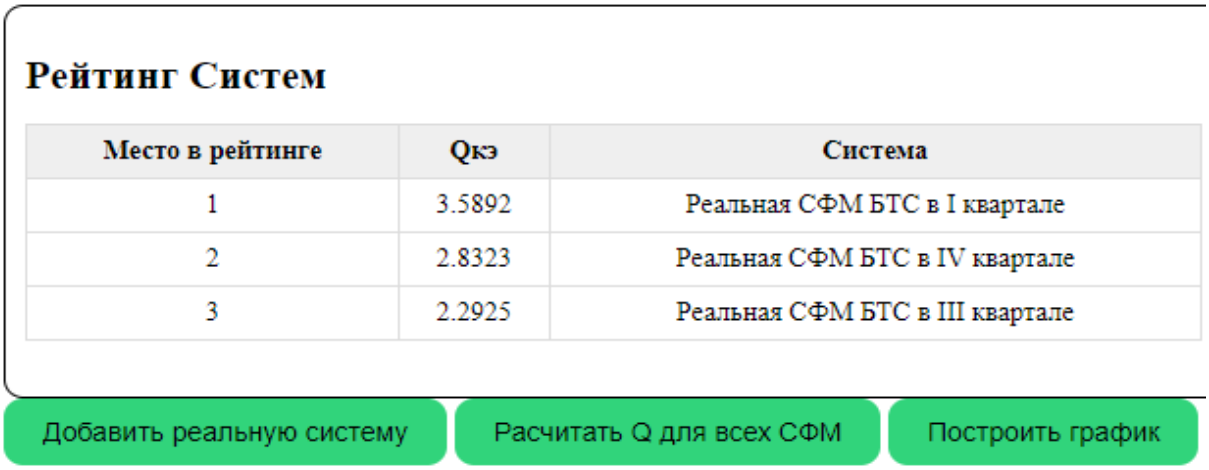


Рисунок А.1.6. Рейтинг качества БТС

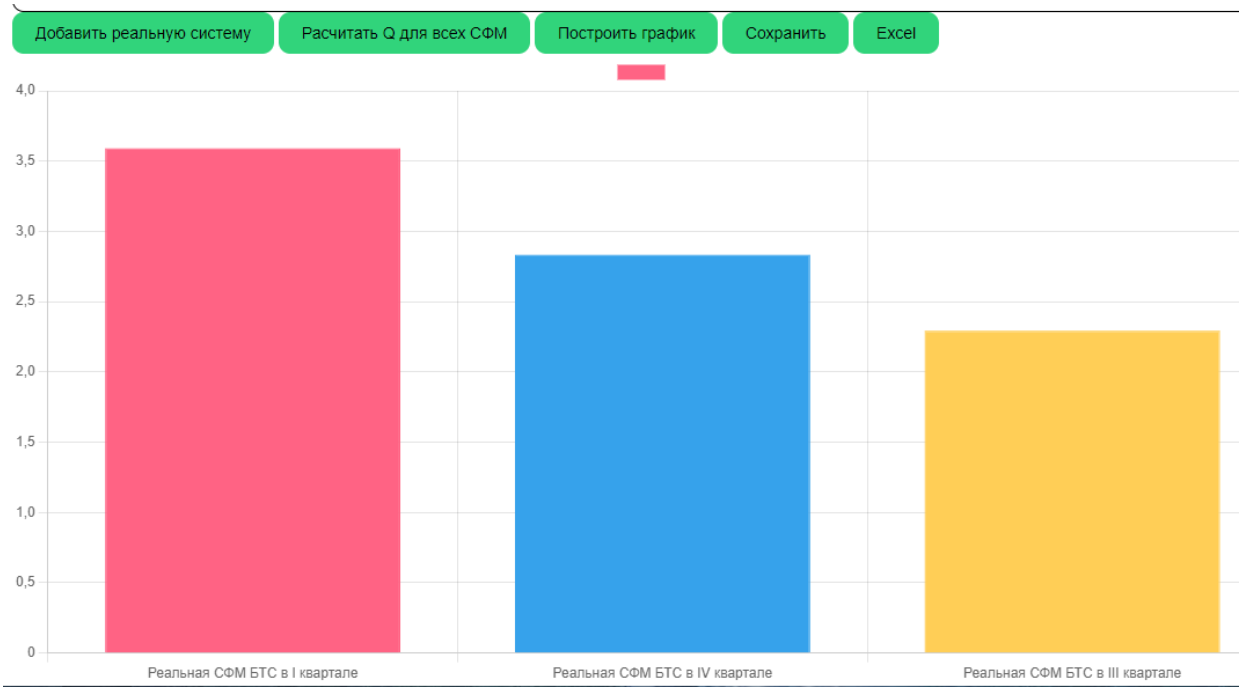


Рисунок А.1.7. Рейтинг качества БТС

Вывод: лучшие результаты по установленным показателям качества оцениваемая БТС показала в I квартале года.

Раздел А.2. Пример программной реализации усовершенствованного метода парных сравнений [77]

Представленная в примере программа для ЭВМ «Экспертная оценка систем усовершенствованным методом парных сравнений» [77] может быть применена на III этапе комплексной методики оценки качества технических систем (р. А.6 Приложения А) согласно алгоритмов на рис. 4.1.1 и 4.1.2.

Примеры расчётов и основное содержание программной реализации метода при оценке 11 систем в режиме «ОНЛАЙН» с привлечением большого количества экспертов представлены на рис. А.2.1 – А.2.9.

Рисунок А.2.1. Начало работы с программой: выбор способа опроса экспертов

Комментарии к рисунку А.2.1:

- «ЛОКАЛЬНО» – опрос экспертов с помощью одной ЭВМ, где установлена программа (может применяться при обработке конфиденциальной информации);

- «ОНЛАЙН» – для опроса большого количества экспертов в ЛВС и (или) в телекоммуникационной сети Интернет.

Рисунок А.2.2. Начало ввода данных 289 экспертом при сравнении системы 1 с системой 2, для накопления минимально необходимых данных для автоматического заполнения опросной таблицы (табл. 2.3.1) согласно систематизированных правил логических выводов (табл. 2.3.2)

Рисунок А.2.3. Результаты автоматического заполнения опросной таблицы 289 эксперта и ввод данных о внутренних и внешних источниках информации, на основании которой эксперт принимал решение при сравнении систем

Рисунок А.2.4. Продолжение ввода данных о внутренних и внешних источниках информации, на основании которой 289 эксперт принимал решение при сравнении систем

Рисунок А.2.5. Программная реализация автоматического заполнения опросной таблицы (табл. 2.3.1) согласно систематизированных правил логических выводов (табл. 2.3.2) и выбор 290 экспертом количества баллов при сравнении системы 1 с системой 8

Рисунок А.2.6. Результаты автоматического заполнения опросной таблицы (2.3.1) 1205 экспертом и ввод данных о внутренних и внешних источниках информации, на основании которой 1205 эксперт принимал решение при сравнении систем

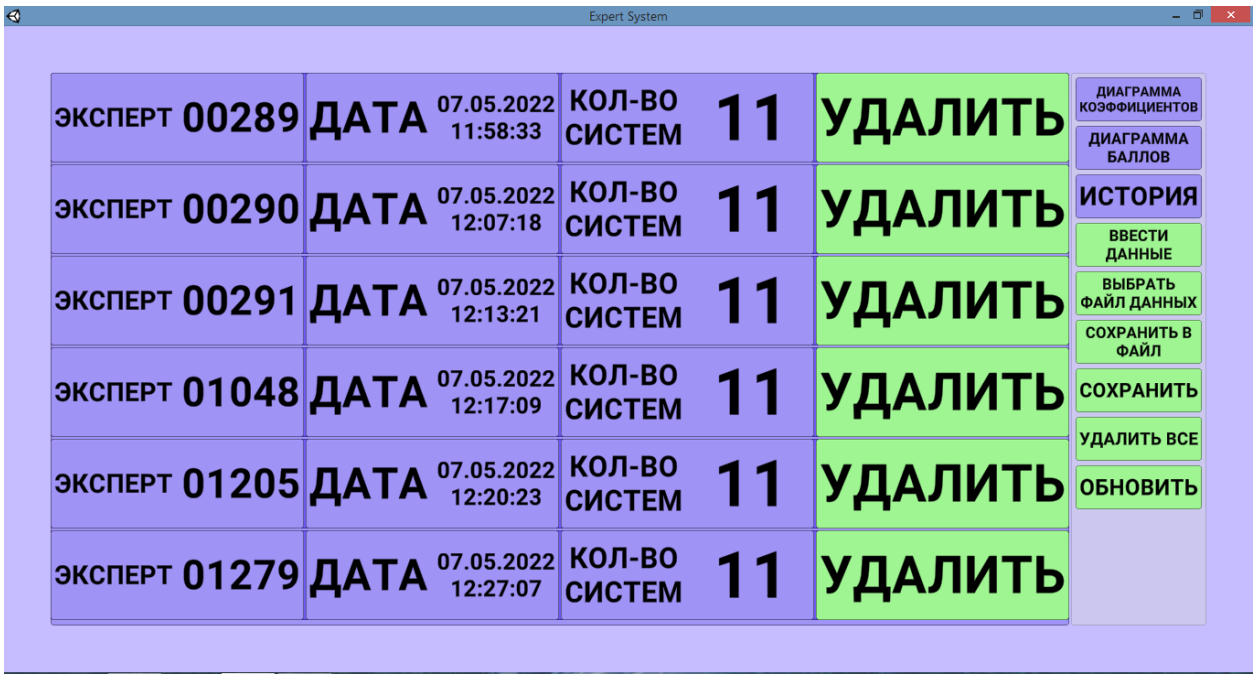


Рисунок А.2.7. Пример выборки экспертов, принимавших участие в онлайн сравнении 11 систем по дате и времени проведения оценки

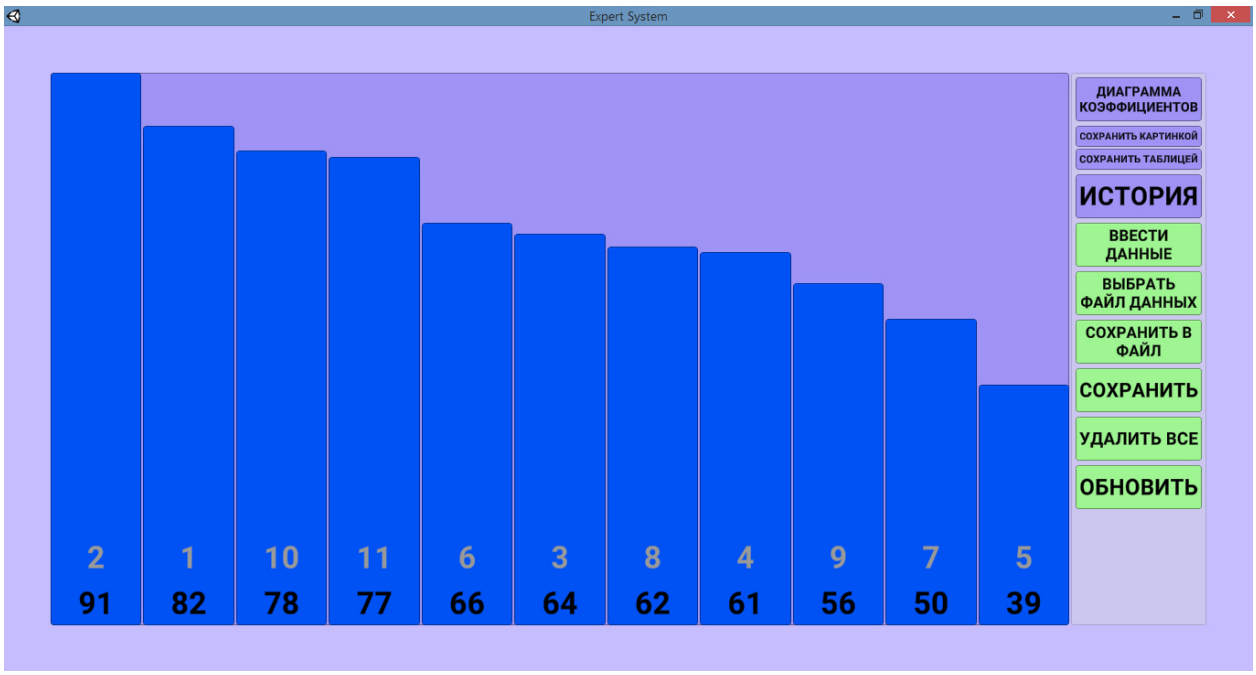


Рисунок А.2.8. Вариант составления рейтинга систем по наибольшему значению суммы баллов (B_z), набранной системами при экспертной оценки, – формула (2.3.9)

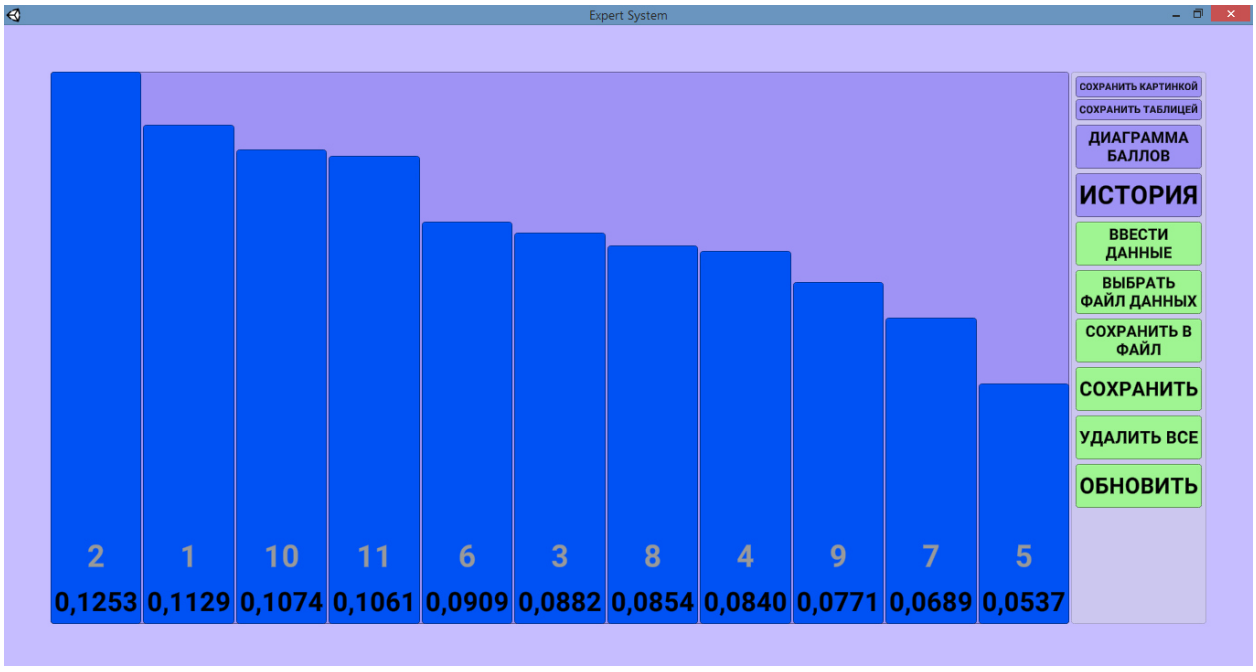


Рисунок А.2.9. Вариант составления рейтинга систем по наибольшему значению коэффициента качества систем (K_z) – формула (2.3.10)

Вывод: по результатам экспертной оценки 11 систем, проведённой в режиме онлайн 07 мая 2022 года лучшей системой является система 2 (рис. А.2.8 и А.2.9).

При этом ЛПР в результате применения в данном примере программы для ЭВМ «Экспертная оценка систем усовершенствованным методом парных сравнений» может использовать для анализа состояния дел в исследуемой предметной области следующую дополнительную информацию о ранжировании источников информации по их использованию экспертами при сравнении 11 систем (рис. А.2.3, А.2.4 и А.2.6):

1 место. Личный опыт и знания (в большинстве случаев сравнения систем эксперты не пользовались никакими источниками информации (не аргументировали своё решение).

2 место. Внешние источники информации – сайты сети Интернет, Сайт 2.

3 место. Внутренние источники информации – отчёты за 2021 год.

4 место. Внутренние источники информации – мнение специалиста 2.

5 место. Внешние источники информации – мнение внешнего специалиста 1.

Другим, по моему мнению, более важным положительным фактором является возможность снижения субъективности ДЛ органов управления БТС, которое может проявиться при обработке экспертной информации. Достижение этого эффекта обеспечивается в программе возможностью нумерации систем и источников информации (без указания их названий). Указание номеров и названий может высылаться экспертам и ЛПР отдельным файлом.

При этом в каждой опросной таблице эксперта (табл. 2.3.1) реализована возможность проверки вводимых данных на непротиворечивость (противодействие вводу ложной информации) с помощью применения формул (2.3.11), (2.3.12), (2.3.13), (2.3.14) и проверочной таблицы 2.3.3 (рис. А.2.3, А.2.4 и А.2.6).

На практике данная программа для ЭВМ может успешно применяться при рассмотрении коммерческих предложений в сфере государственных закупок, а также при составлении спецификаций оборудования при разработке проектной и (или) рабочей документации на объект капитального строительства.

Раздел А.3. Методика оценки эффективности систем совместно с программой для ЭВМ «Анализ и оценка эффективности систем» [46]

А.3.1. Оценка эффективности управленческого решения о выборе лучшей системы 6 в примере применения комплексной методики оценки качества систем в процессе эксплуатации (V этап методики), приведенном в разделе А.6 данного приложения

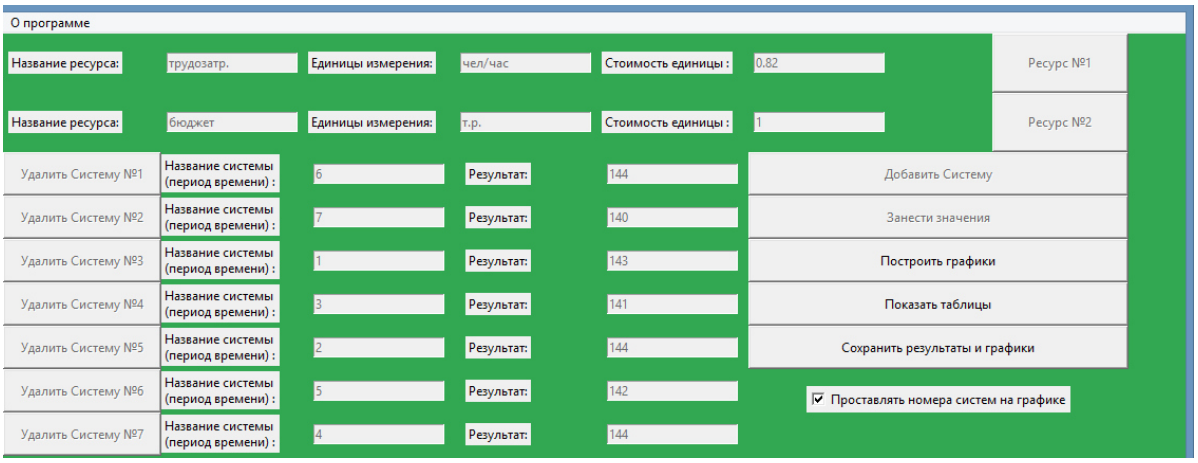


Рисунок А.3.1.1. Ввод исходных данных.

Система	Количество израсходованных ресурсов		Стоимость единицы измерения израсходованного ресурса в тыс. рублей		Стоимость затрат ресурсов на достижение результата	Количественное выражение полученного результата (y)	Стоимость единицы измерения полученного результата	Соотношение затрат ресурсов и результата	
	x1 (чел/час)	x2 (т.р.)	p1	p2				x1/y	x2/y
6	211.0	304.0	0.82	1	477.02	144	3.31264	1.46528	2.11111
7	211.0	305.0	0.82	1	478.02	140	3.41443	1.50714	2.17857
1	212.0	308.0	0.82	1	481.84	143	3.36951	1.48252	2.15385
3	215.0	308.0	0.82	1	484.3	141	3.43475	1.52482	2.1844
2	215.0	310.0	0.82	1	486.3	144	3.37708	1.49306	2.15278
5	217.0	311.0	0.82	1	488.94	142	3.44324	1.52817	2.19014
4	217.0	315.0	0.82	1	492.94	144	3.42319	1.50694	2.1875

Рисунок А.3.1.2. Результаты расчетов

На рисунке А.3.1.1 результат эксплуатации систем за год – это количество суток эксплуатации систем за оцениваемый год.

Степень корреляционной зависимости между парами значений показателей				
Очень слабая корреляция 0 < |r| <0,5	Слабая корреляция 0,5 < |r| < 0,7	Средняя корреляция 0,7 < |r| < 0,8	Высокая корреляция 0,8 < |r| < 0,9	Очень высокая корреляция 0,9 < |r| < 1
X1 И Y r = 0.19462473604038072			X1 И X2 r = 0.8953520263793189	X1/Y И X2/Y r = 0.9296121501893004
X2 И Y r = 0.3629819765739879				
Собщ. и У r = 0.3086625266515133				

Рисунок А.3.1.3. Систематизация корреляционной зависимости между показателями

Система	Количество набранных баллов по результату	Количество набранных баллов по стоимости общ	Количество набранных баллов по расходу x1	Количество набранных баллов по расходу x2	Количество набранных баллов по общ. ст. ед. изм. результата	Общее количество баллов
6	7	7	7	7	7	35
7	1	6	6	6	4	23
1	4	5	5	5	6	25
3	2	4	3	4	2	15
2	5	3	4	3	5	20
5	3	2	1	2	1	9
4	6	1	2	1	3	13

Рейтинг систем по наибольшему значению набранных баллов, при условии равных коэффициентов важности показателей оценки эффективности: :
1. 6 - 35
2. 1 - 25
3. 7 - 23

Рисунок А.3.1.4. Результаты расчетов рейтинга систем за год эксплуатации

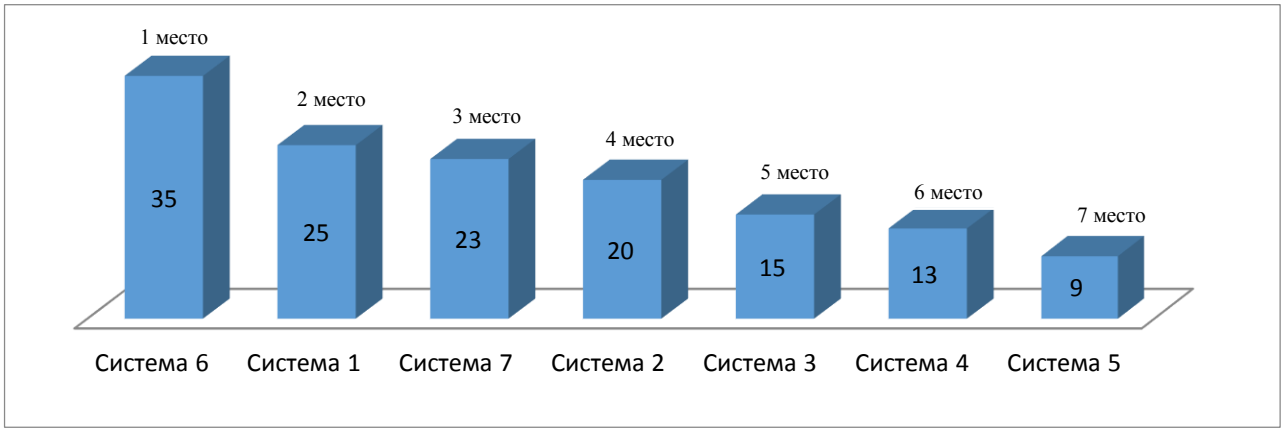


Рисунок А.3.1.5. Рейтинг систем за год эксплуатации

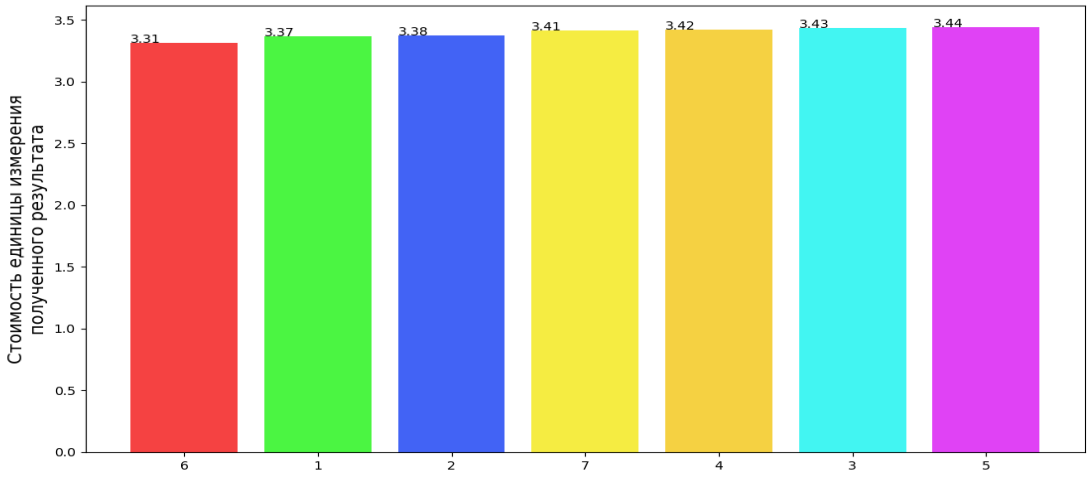


Рисунок А.3.1.6. Распределение по средней стоимости эксплуатации оцениваемых систем за одни сутки

Вывод: полученные результаты (рис. А.3.1.5 и рис. А.3.1.6) позволяют сделать обоснованный вывод о том, что ЛПР принял правильное решение о выборе для эксплуатации системы 6. Данное решение, принятое по результатам комплексной оценки качества, привело к экономии в среднем за год эксплуатации (140 суток) на одну систему 84 тысячи рублей по сравнению с системой 1, имеющей лучшие результаты среди оставшихся систем 2, 7, 4, 3 и 5, а по сравнению с худшей системой 5 экономия составила 182 тысячи рублей.

А.3.2. Пример применения агрегирования входных переменных ресурсов при оценке эффективности систем

В данном примере имеется одна входная переменная – это бюджеты эксплуатации четырех одинаковых систем (X_1) и один результат, выраженный в количестве суток устойчивой эксплуатации в одинаковых неблагоприятных условиях (Y). При этом в системе 1 применялись разработанные методы и способы, включая информационные резервы, созданные на их основе, то есть использовались интеграционные резервы системы (параграфы № 1.3 и № 5.3 диссертации). В системах 2, 3 и 4 – не применялись.

Система	Количество израсходованных ресурсов		Стоимость единицы измерения израсходованного ресурса в тыс. рублей		Стоимость затрат ресурсов на достижение результата	Количественное выражение полученного результата (y)	Стоимость единицы измерения полученного результата	Соотношение затрат ресурсов и результата	
	x1 (т.р.)	x2 (0)	p1	p2				x1/y	x2/y
1	362.0	0.0	1	0	362.0	11.8	30.67797	30.67797	0.0
2	367.0	0.0	1	0	367.0	11.1	33.06306	33.06306	0.0
3	367.5	0.0	1	0	367.5	10.7	34.34579	34.34579	0.0
4	368.0	0.0	1	0	368.0	10.2	36.07843	36.07843	0.0

Рисунок А.3.2.1. Результаты расчетов

Система	Количество набранных баллов по результату	Количество набранных баллов по стоимости общ	Количество набранных баллов по расходу x1	Количество набранных баллов по расходу x2	Количество набранных баллов по общ. ст. ед. изм. результата	Общее количество баллов
1	4	4	4	4	4	20
2	3	3	3	3	3	15
3	2	2	2	2	2	10
4	1	1	1	1	1	5

Рейтинг систем по наибольшему значению набранных баллов, при условии равных коэффициентов важности показателей оценки эффективности: :
1. 1 - 20
2. 2 - 15
3. 3 - 10

Рисунок А.3.2.2. Результаты расчетов рейтинга систем за период эксплуатации в неблагоприятных условиях

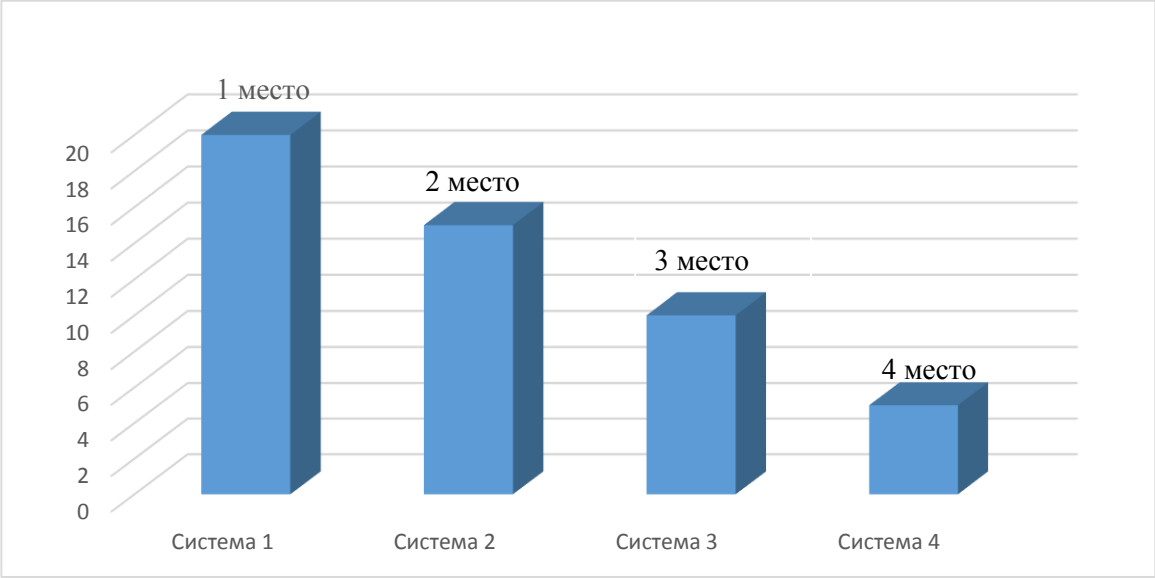


Рисунок А.3.2.3. Рейтинг эффективности систем за период эксплуатации в неблагоприятных условиях

Степень корреляционной зависимости между парами значений показателей				
Очень слабая корреляция 0 < |r| <0,5	Слабая корреляция 0,5 < |r| < 0,7	Средняя корреляция 0,7 < |r| < 0,8	Высокая корреляция 0,8 < |r| < 0,9	Очень высокая корреляция 0,9 < |r| < 1
X1/Y И X2/Y r = nan				X1 И Y r = -0.9092988098824766
X1 И X2 r = nan				Собщ. и У r = -0.9092988098824766

Рисунок А.3.2.4. Корреляционная зависимость между бюджетом и результатом

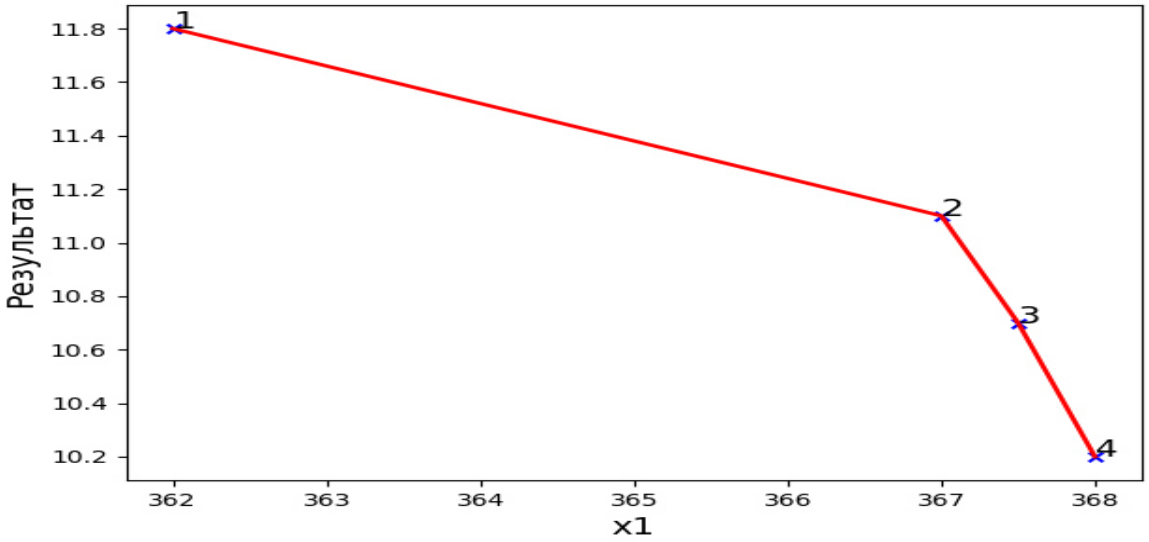


Рисунок А.3.2.5. График зависимости между бюджетом и результатом: в системе 1 меньше бюджет – больше результат

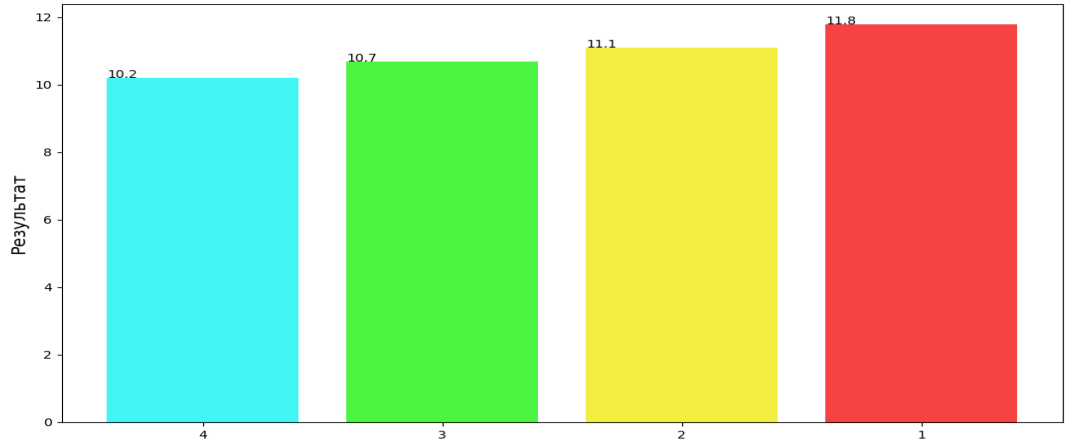


Рисунок А.3.2.6. Количество суток устойчивого функционирования систем

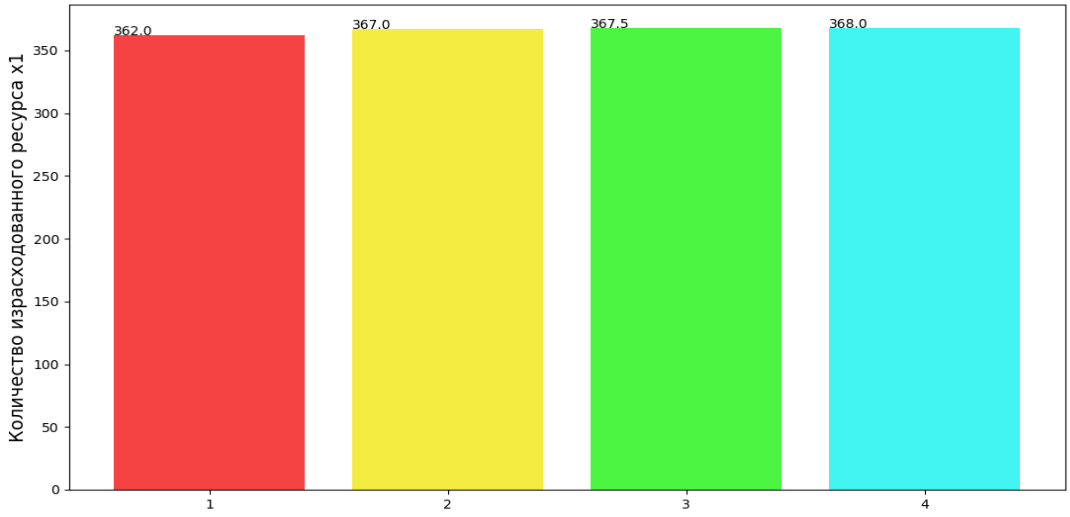


Рисунок А.3.2.7. Распределение бюджета по оцениваемым системам за период эксплуатации в неблагоприятных условиях

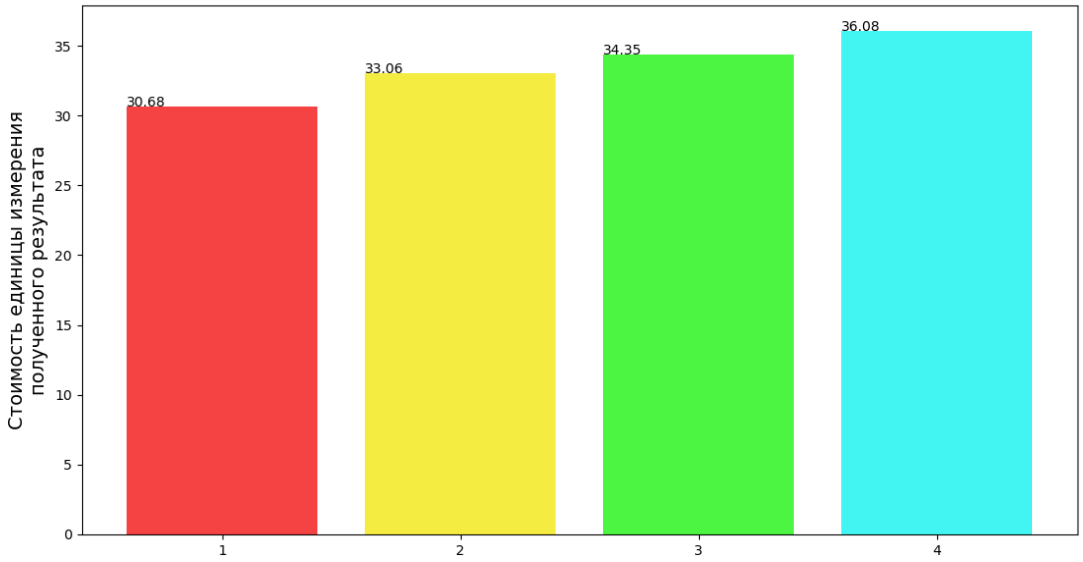


Рисунок А.3.2.8. Стоимость одних суток эксплуатации оцениваемых систем в неблагоприятных условиях

Вывод: система 1, где применялись методы, способы и ИР в качестве интеграционных резервов системы (рис. 5.3.10) показала лучший результат при существенно меньшем расходе бюджетных средств. При этом в других системах наблюдалось незначительное изменение результата от потраченного бюджета.

Раздел А.4. Методика для анализа и оценки вероятности не выполнения БТС своих функций в процессе эксплуатации совместно с программой для ЭВМ «Расчет и анализ вероятностных характеристик системы» [44]

В примере требуется определить:

Часть 1. В какой из двух систем связи аварийно-восстановительных формирований, имеющих по штату радиостанции двух разных типов вероятность потери устойчивого управления аварийно-восстановительными формированиями, будут выше: $P_1(9)$ или $P_2(10)$.

Часть 2. Значения вероятностей выхода из строя радиостанций первого и второго типов $P_1(1)$ и $P_2(1)$ в системах 1 и 2 для того, чтобы значения $P_1(9)$ и $P_2(10)$ были равны нулю с заданной точностью шесть знаков после запятой.

Исходные данные:

В первой системе связи аварийно-восстановительных формирований (далее – система 1) эксплуатируется количество радиостанций n_1=63. Определено, что одновременный отказ (неисправность, уничтожение и т.д.) x_1 =9 и более числа радиостанций приведет к потере устойчивого управления аварийно-восстановительными формированиями. При этом для системы 1 вероятность отказа (неисправности, уничтожения и т.д.) одной радиостанции первого типа, функционирующей в системе 1, будет равна $P_1(1)$=0,038.

Во второй системе связи аварийно-восстановительных формирований (далее – система 2) даны значения показателей n_2 = 56, x_2 = 10 и радиостанции второго типа, функционирующей во второй системе $P_2(1)$=0,044.

Часть 1

Расчет вероятности потери устойчивого управления в системах 1 и 2.

По результатам расчетов получаем для системы 1 значение $P_1(9)$ = 0,000483 (табл. А.4.1, рис. А.4.1, А.4.2 и А.4.3), а для системы $P_2(10)$ = 0,000122 (табл. А.4.2, рис. А.4.4, А.4.5 и А.4.6).

Таким образом, вероятность потери устойчивого управления меньше в системе 2, чем в системе 1 на $\Delta P_{1,2}$ = 0,000361.

Таблица А.4.1

Результаты расчета вероятностных характеристик системы 1

X	$F_1(x)$	$P_1(x)$
0	0.08710228302444337	0.08710228302444337
1	0.3038620185343367	0.21675973550989336
2	0.569291299647283	0.26542928111294634
3	0.7824808608461082	0.21318956119882523
4	0.9087990000179693	0.1263181391718611
5	0.9676774341184501	0.058878434100480784
6	0.9901597745130204	0.02248234039457028
7	0.9973912490147488	0.007231474501728427
8	0.9993908043343536	0.0019995553196047416
9	**0.9998734874734126**	**0.000483**

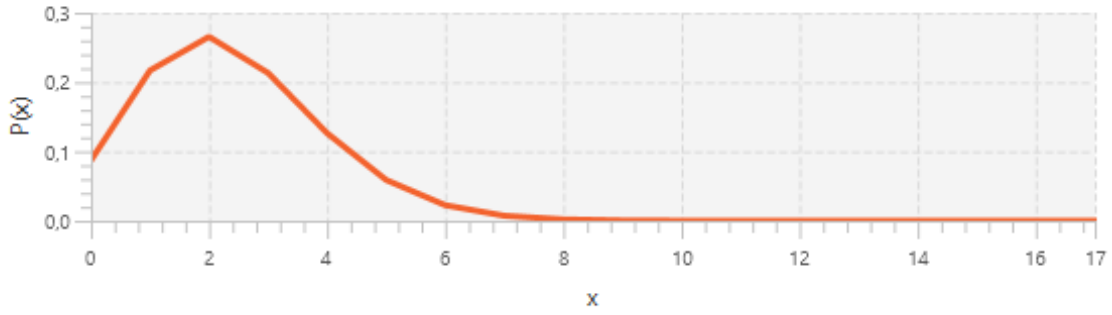


Рисунок А.4.1. График вероятности выхода из строя радиостанций первого типа в системе 1

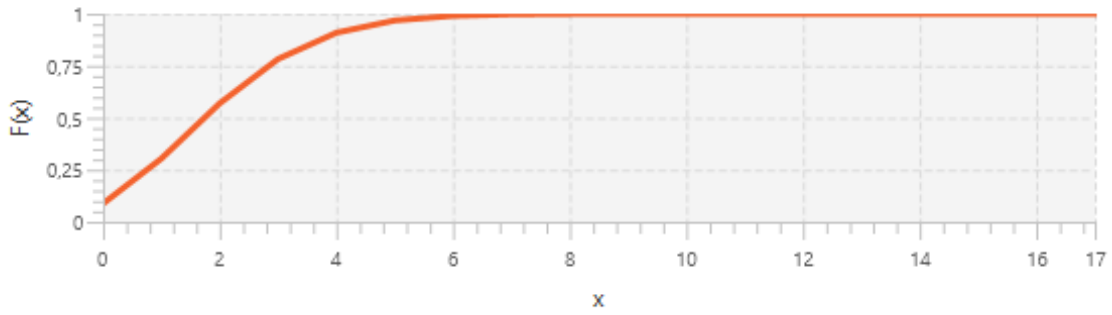


Рисунок А.4.2. Кумулятивная вероятность выхода из строя радиостанций первого типа в системе 1

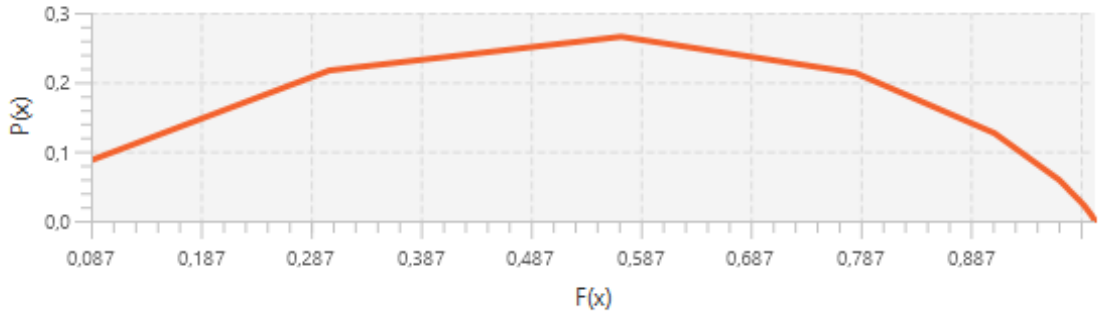


Рисунок А.4.3. График зависимости $P_1(x)$ от $F_1(x)$ в системе 1

Таблица А.4.2

Результаты расчета вероятностных характеристик системы 2

X	$F_2(x)$	$P_2(x)$
0	0.08047147605083911	0.08047147605083911
1	0.2878791298053031	0.207407653754464
2	0.5503930011890912	0.2625138713837881
3	0.76787311220997	0.21748011102087886
4	0.9004995815877654	0.13262646937779538
5	0.9639827116999822	0.06348313011221669
6	0.9888181621832134	0.024835450483231217
7	0.9969828350856504	0.008164672902437041
8	0.9992844871224776	0.0023016520368271784
9	0.9998494672598299	5.649801373522781E-4
10	**0.9999716826284538**	**1.2221536862390284E-4**

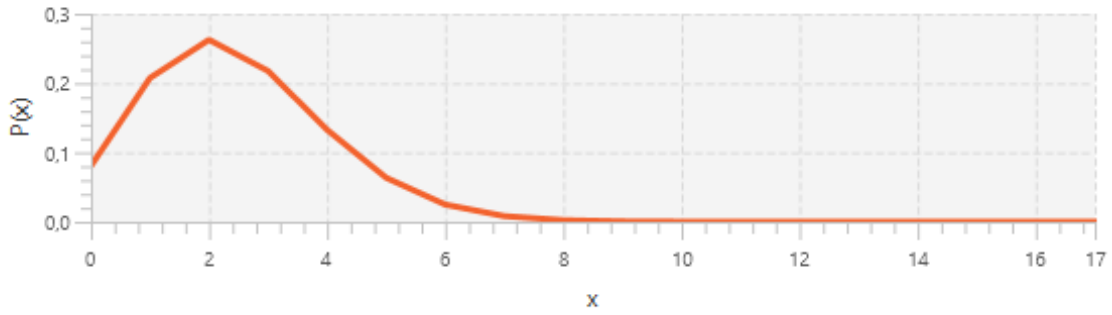


Рисунок А.4.4. График вероятности выхода из строя радиостанций второго типа в системе 2

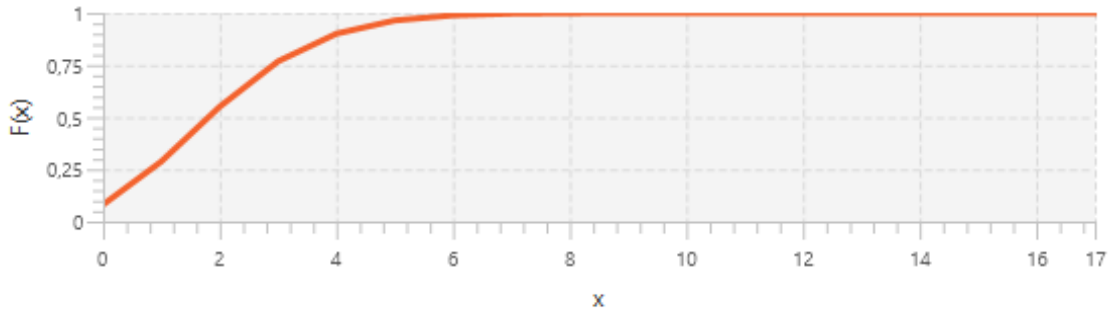


Рисунок А.4.5. Кумулятивная вероятность выхода из строя радиостанций второго типа в системе 2

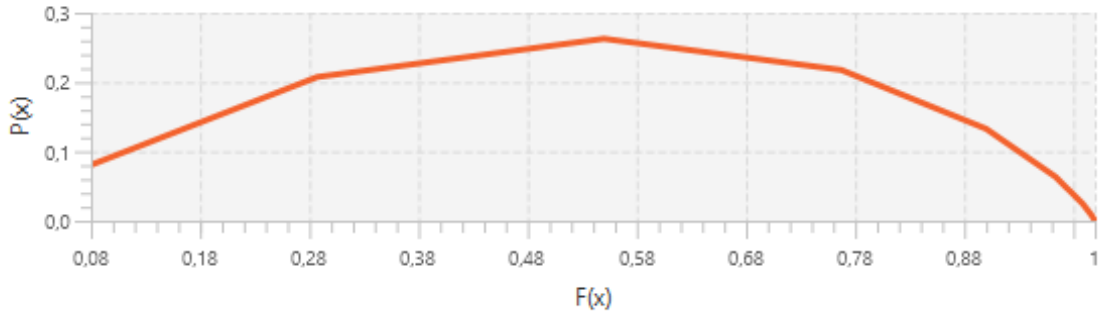


Рисунок А.4.6. График зависимости $P_2(x)$ от $F_2(x)$ в системе 2

Часть 2

Рассчитать требуемые вероятности выхода из строя радиостанций первого и второго типов $P_1(1)$ и $P_2(1)$ в системах 1 и 2 для того, чтобы значения $P_1(9)$ и $P_2(10)$ были равны нулю с заданной точностью шесть знаков после запятой.

В результате расчетов установлено (рисунки А.4.7 и А.4.8):

2.1. В системе 1 вероятность потери устойчивого управления $P_1(9) = 0$ при заданной точности шести знаков после запятой будет при значении вероятности выхода из строя одной радиостанции первого типа $P_1(1) \leq 0{,}015404$ (рис. А.4.7).

2.2. В системе 2 вероятность потери устойчивого управления $P_2(10) = 0$ при заданной точности шести знаков после запятой будет при значении вероятности выхода из строя одной радиостанции второго типа $P_2(1) \leq 0{,}0229703$ (рис. А.4.8).

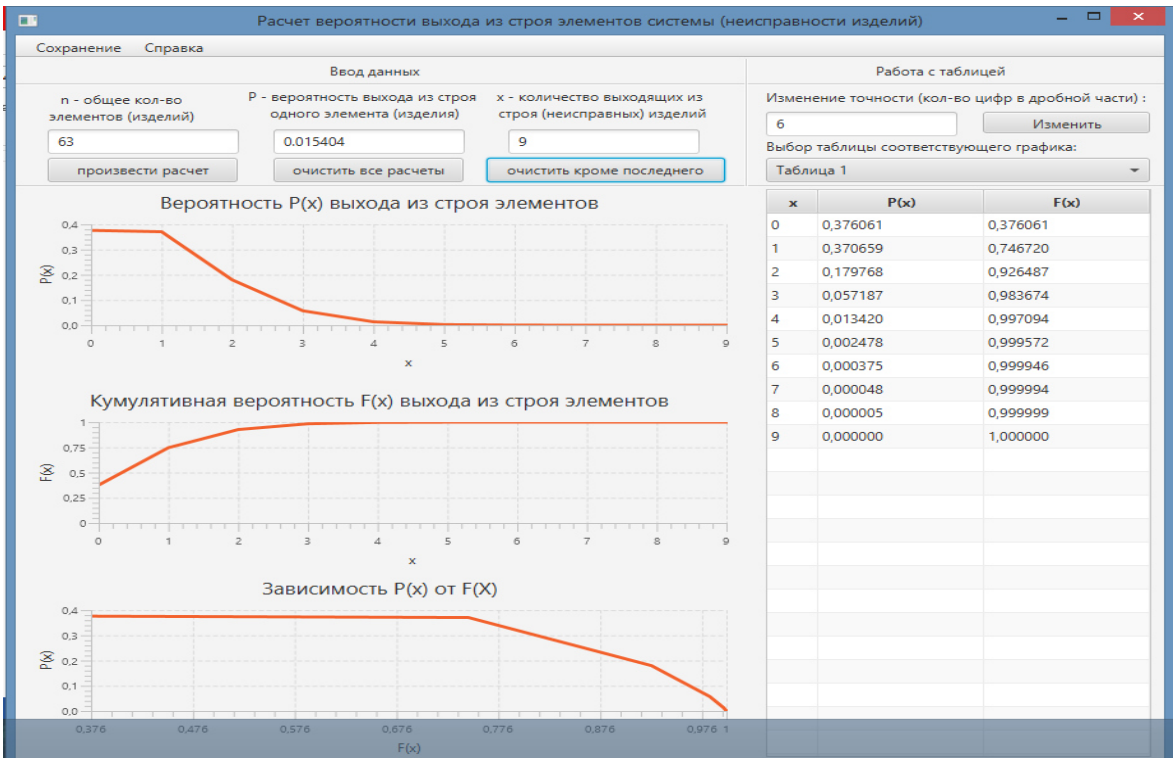


Рисунок А.4.7. Результаты расчета вероятности выхода из строя радиостанции первого типа $P_1(1)$ в системе 1, при $P_1(9) = 0$ с заданной точностью шесть знаков после запятой

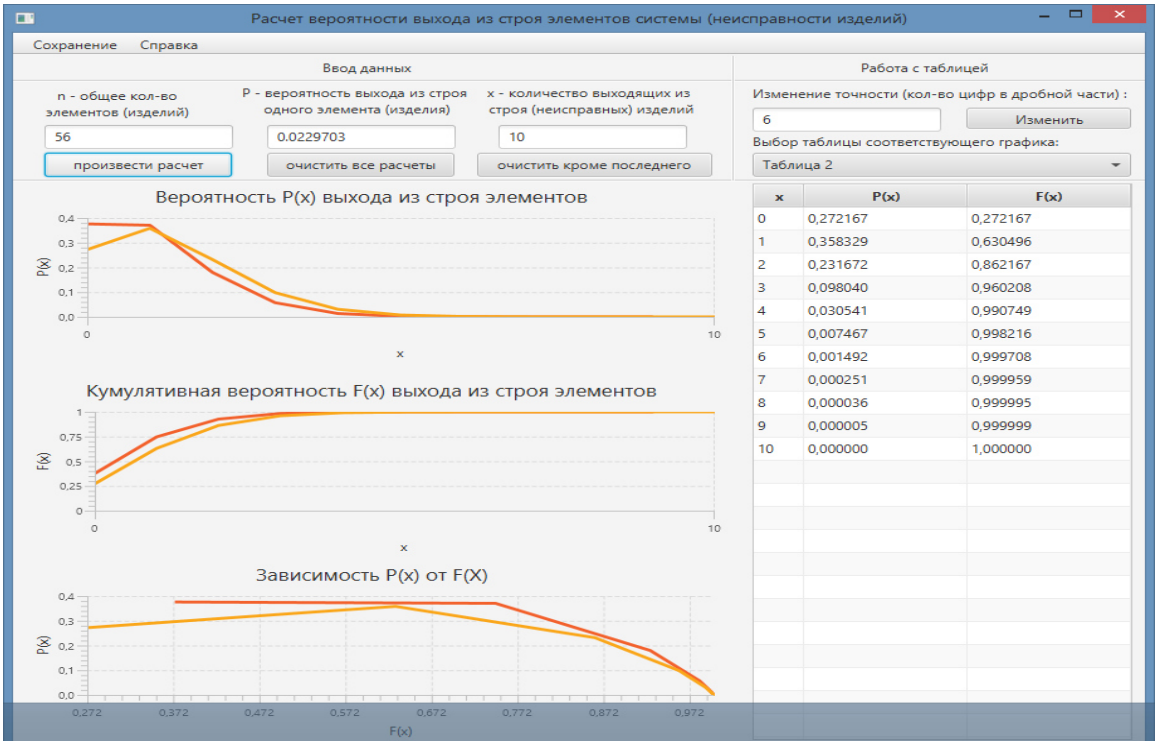


Рисунок А.4.8. Результаты расчета вероятности выхода из строя радиостанции второго типа $P_2(1)$ в системе 2, при $P_2(10) = 0$ с заданной точностью шесть знаков после запятой

Раздел А.5. Методика для анализа и оценки процессов обеспечения устойчивости большой технической системы совместно с программой для ЭВМ «Оценка устойчивости систем» [47]

Оценка устойчивости функционирования системы «test3» в неблагоприятных условиях

Таблица А.5.1

Исходные параметры функционирования системы

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение, ед. измер.	Значение показателя	Заданное ограничение
1	Период устойчивой эксплуатации системы	ΔT, сутки	10	≥ 10
2	Количество элементов, вводимых в эксплуатацию, 1 группа	N_1 , шт.	26	> 0
3	Количество элементов, выполняющих функции системы, 2 группа	N_2, шт.	38	≥ 38
4	Количество других элементов: подсистема обеспечения, резерв, неисправных и др., 3 группа	N_3, шт.	45	> 0
5	Количество элементов 1 группы, введенных (восстановленных) в эксплуатацию	P_1, шт.	11	> 0
6	Количество элементов 1 группы, не перешедших во 2 группу из-за недостатков ресурсов	A_1, шт.	1	> 0
7	Количество неисправных элементов 1 группы	B_1, шт.	2	> 0
8	Количество элементов 1 группы, перешедших во 2 группу	F_1, шт.	8	> 0
9	Количество элементов 2 группы, перешедших в 3 группу (неисправных, но еще подлежащих восстановлению или пригодных для использования)	Q_2, шт.	7	> 0
10	Количество не подлежащих восстановлению элементов 2 группы	D_2, шт.	4	> 0

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение, ед. измер.	Значение показателя	Заданное ограничение
11	Количество элементов 3 группы, перешедших в 1 группу	H_3, шт.	9	> 0
12	Количество смен в сутках	Lc, шт.	2	= 2
13	Время одной смены	T_c, в часах	12	= 12
14	Максимальный расход ресурсов на 1 элемент 1 группы (Стоимость) в сутки	R_1, в тыс. руб.	10	> 0
15	Макс. расход ресурсов на восстановление (ремонт) элемента 2 группы (Стоимость) в сутки	$R_{в2}$, в тыс. руб.	145	145≤
16	Максимальный расход ресурсов на 1 элемент 2 группы (Стоимость) в сутки	R_2, в тыс. руб.	56	> 0
17	Максимальный расход ресурсов на 1 элемент 3 группы (Стоимость) в сутки	R_3, в тыс. руб.	4	4 ≤
18	Максимальный расход человеко-часов на 1 элемент 1 группы в сутки	W_1, чел/час	10	10 ≤
19	Максимальный расход человеко-часов на восстановление (ремонт) элемента 2 группы (Стоимость) в сутки	$W_{в2}$, чел/час	145	145 ≤
20	Максимальный расход человеко-часов на 1 элемент 2 группы в сутки	W_2, чел/час	56	56 ≤
21	Максимальный расход человеко-часов на 1 элемент 3 группы в сутки	W_3, чел/час	4	4 ≤
22	Прогнозируемое количество потерь специалистов 1 группы за одну смену	$S_{п1}$, человек	4	> 0
23	Прогнозируемое кол-во потерь специалистов 2 группы за одну смену	$S_{п2}$, человек	1	> 0
24	Прогнозируемое кол-во потерь специалистов 3 группы за одну смену	$S_{п3}$, человек	2	> 0

Таблица А.5.2

Расчетные параметры функционирования системы

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение, ед. измер.	Значение показателя	Заданное ограничение
1	Расход ресурсов на 1 группу (Стоимость) в сутки	$R_{сут1}$, в тыс. руб.	1855	> 0
2	Расход ресурсов на 1 группу (Стоимость) за период функционирования	$R_{ф1}$, в тыс. руб.	18550	> 0
3	Расход ресурсов на 2 группу (Стоимость) в сутки	$R_{сут2}$, в тыс. руб.	2128	> 0
4	Расход ресурсов на 2 группу (Стоимость) за период функционирования	$R_{ф2}$, в тыс. руб.	21280	> 0
5	Расход ресурсов на 3 группу (Стоимость) в сутки	$R_{сут3}$, в тыс. руб.	180	> 0
6	Расход ресурсов на 3 группу (Стоимость) за период функционирования	$R_{ф3}$, в тыс. руб.	1800	> 0
7	Расход ресурсов (Стоимость) функционирования системы за сутки	$R_{сут}$, в тыс. руб.	4163	> 0
8	Стоимость функционирования системы в период функционирования	R, в тыс. руб.	41630	> 0
9	Расход человеко-часов на 1 группу в сутки	$W_{сут1}$, чел/час	1855	> 0
10	Расход человеко-часов на 1 группу за период функционирования	$W_{ф1}$, чел/час	18550	> 0
11	Расход человеко-часов на 2 группу в сутки	$W_{сут2}$, чел/час	2128	> 0
12	Расход человеко-часов на 2 группу за период функционирования	$W_{ф2}$, чел/час	21280	> 0
13	Расход человеко-часов на 3 группу в сутки	$W_{сут3}$, чел/час	180	> 0

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение, ед. измер.	Значение показателя	Заданное ограничение
14	Расход человеко-часов на 3 группу за период функционирования	$W_{ф3}$, чел/час	1800	> 0
15	Расход человеко-часов на функционирование системы за сутки	$W_{сут}$, чел/час	4163	> 0
16	Расход человеко-часов на функционирование системы за период функционирования	W, чел/час	41630	> 0
17	Минимально необходимое количество специалистов в 1 смене для 1 группы	S_{min1}, человек	78	> 0
18	Минимально необходимое количество специалистов в 1 смене для 2 группы	S_{min2}, человек	89	> 0
19	Минимально необходимое количество специалистов в 1 смене для 3 группы	S_{min3}, человек	8	> 0
20	Минимально необходимое количество персонала в 1 смене для всей системы	S_{minC}, человек	175	> 0
21	Минимально необходимое кол-во персонала для всей системы на период функционирования	S_{min}, человек	350	> 0
22	Необходимое количество специалистов в одной смене для 1 группы	S_1, человек	82	> 0
23	Необходимое количество специалистов в одной смене для 2 группы	S_2, человек	90	> 0
24	Необходимое количество специалистов в одной смене для 3 группы	S_3, человек	10	> 0
25	Необходимое количество персонала в одной смене для всей системы	Sc, человек	182	> 0
26	Необходимое количество персонала для всей системы на период функционирования	S, человек	490	> 0

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение, ед. измер.	Значение показателя	Заданное ограничение
27	Необходимое количество персонала в ремонтно-восстановительные формирования на период функционирования	S_{N1}, человек	236	> 0
28	Необходимое количество персонала непосредственно для обеспечения функционирования (выполнения основных функций) системы на период функционирования	S_{N2}, человек	198	> 0
29	Необходимое количество персонала для обеспечения подсистемы хранения запасов и резервирования на период функционирования	S_{N3}, человек	56	> 0

Таблица А.5.3

Оценка процессов обеспечения устойчивости системы

Коэффициенты функционирования системы			
№ п/п	Наименование коэффициента	Обозначение	Значение
1	Коэффициент ввода новых элементов (1 группы) в эксплуатацию	ρ	0.4230769230769231
2	Коэффициент учета влияния недостатка ресурсов на первую группу элементов	a	0.038461538461538464
3	Коэффициент уничтожения элементов первой группы	b	0.07692307692307693
4	Коэффициент интенсивности восстановления (перехода элементов 1 группы во 2-ю)	f	0.3076923076923077
5	Коэффициент интенсивности перехода элементов 2 группы в 3-ю группу	q	0.18421052631578946
6	Коэффициент уничтожения (неисправности) элементов второй группы	d	0.10526315789473684
7	Коэффициент использования (убыли) элементов третьей группы в интересах 1-й группы	h	0.2

Коэффициент обеспечения устойчивости системы: $U = 1.0688551565053004$.

Вывод:

Система "test3" устойчива в течении периода "10 суток"

при заданных условиях и ограничениях.

Раздел А.6. Методика оценки качества компонентов большой технической системы на базе комплексных показателей и правил логического вывода при их экспертном парном сравнении

I этап. ЛПР принято решение об оценке качества систем, выполняющих заданные функции в составе БТС. ЛПР выбраны следующие показателя оценки качества системы в сфере эксплуатации и ТО:

- время эксплуатации системы до проведения первого ТО (t_{mo});

- прогнозируемый расход дизельного топлива за 1 (один) час работы системы в заданных условиях эксплуатации (L_n), (в литрах);

- количество регламентных ТО, которые возможно провести при использовании ЗИП, входящих в комплект поставки системы (C_{mo}), (кол-во ТО);

- приспособленность системы и прилагаемого комплекта запасных инструментов и принадлежностей (далее – ЗИП) для эксплуатации и проведения ТО системы в заданных условиях функционирования (K_c).

По решению ЛПР для оценки качества выбрано 7 (семь) систем из числа систем, эксплуатируемых в составе БТС, и аналогичных систем, выполняющих требуемые функции в заданных условиях. В примере, названия выбранных систем – это их порядковые номера: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Определено, что для t_{mo}, L_n и C_{mo} – это статистическая информация, содержащаяся в отчетах, техническом описании, паспортах на изделие. Внешними источниками для получения такой информации могут служить сайты предприятий изготовителей в сети Интернет. Наилучшие количественные значения данных показателей для лучшей системы:

- t_{mo} – это максимальное количество часов работ системы до ТО-1;

- L_n – это минимально потребляемое количество дизельного топлива в литрах;

- C_{mo} – это наибольшее количество регламентных ТО, которые возможно провести при использовании ЗИП, входящих в комплект поставки системы.

t_{mo}, L_n и C_{mo} - это основные показатели для оценки качества систем.

Для K_c – это экспертная информация, полученная в результате анкетирования экспертов, после изучения ими технического описания и паспорта на каждое оцениваемое изделие. При этом ЛПР определено, что значение K_c использовать для

дополнительной оценки качества, то есть III этап проводится, но не является основным. Соответственно, нормированный весовой коэффициент K_c решено не определять.

Назначено 11 экспертов из числа персонала, эксплуатирующего аналогичные системы. Рассчитаны весовые коэффициенты компетентности экспертов.

Для снижения степени взаимного влияния каждый эксперт получил свой порядковый номер (таблица А.6.1).

Таблица А.6.1.

Нормированные весовые коэффициенты компетентности экспертов

Номер эксперта	Количественные значения выбранных показателей оценки компетентности эксперта (*Pi*) (единица измерения)			Количественные значения весовых коэффициентов компетентности экспертов по выбранным показателям (*qpi*)			Коэффициент компетентности эксперта (q_j)
	Стаж работы по эксплуатации аналогичных систем (кол-во лет)	Количество аналогичных изделий, на которых работал эксперт (кол-во изделий)	Стаж работы эксперта на БТС (кол-во лет)	q_{ci}	q_{TOi}	q_{pi}	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	8	2	10	0,07692308	0,05	0,05714	0,06135531
2	11	5	15	0,10576923	0,125	0,08571	0,10549451
3	7	1	25	0,06730769	0,025	0,14286	0,07838828
4	11	8	25	0,10576923	0,2	0,14286	0,14954212
5	17	8	20	0,16346154	0,2	0,11429	0,15924908
6	14	2	15	0,13461538	0,05	0,08571	0,09010989
7	6	2	10	0,05769231	0,05	0,05714	0,05494505
8	9	4	10	0,08653846	0,1	0,05714	0,08122711
9	12	5	25	0,11538462	0,125	0,14286	0,12774725
10	9	3	20	0,08653846	0,075	0,11429	0,08419993
11	8	2	10	0,07692308	0,05	0,05714	0,06135531
Условие нормировки выполняется				1	1	1	1

Нормированные весовые коэффициенты экспертов (q_n) определены по трем равнозначным нормированным коэффициентам (таблица А.6.1), полученным на основе следующих количественных показателей:

- q_{ci} – коэффициент стажа работы по эксплуатации аналогичных систем;

- q_{TOi} – коэффициент аналогичных систем (изделий) различных типов, которые эксплуатировал и на которых проводил ТО эксперт;

- q_{pi} – коэффициент стажа работы непосредственно на объекте.

Нормированные весовые коэффициенты важности выбранных показателей были определены путем опроса данных 11 экспертов – таблица А.6.2.

Таблица А.6.2

Результаты расчета нормированных весовых коэффициентов важности выбранных показателей оценки систем на основе статистической информации (C_i)

Номер эксперта	Коэффициент компетентности эксперта, (q_j)	t_{mo}	L_n	C_{mo}
1	2	3	4	5
1	0,06135531	3	8	5
2	0,10549451	4	9	4
3	0,07838828	3	10	4
4	0,14954212	2	4	5
5	0,15924908	4	10	5
6	0,09010989	5	10	6
7	0,05494505	5	9	7
8	0,08122711	4	9	8
9	0,12774725	6	10	4
10	0,08419993	3	10	3
11	0,06135531	2	8	9
$C_j = c_j \Big/ \sum_{j=1}^{11} c_j$		C_t =0,2	C_L =0,5	C_{mo} =0,3
Условие нормировки $\sum_{j=1}^{3} C_j = 1$ выполняется			Согласие экспертов: W = 0,6	

II этап. Должностное лицо, назначенное ЛПР, по результатам изучения источников информации ввел на своем АРМ исходные данные для заполнения столбцов 1, 2, 10, 11, 12 таблиц А.6.3, А.6.4 и А.6.5. Далее программа на основе полученных исходных данных производит расчеты и заполняет представленные в примере таблицы:

- таблицу А.6.3 для 7 (семи) выбранных систем в целях оценки их качества по выбранному показателю: время эксплуатации системы до проведения первого ТО (t_{mo}), (единица измерения – часы);

- таблицу А.6.4 по показателю «расход дизельного топлива на 1 (один) час работы системы в условиях эксплуатации БТС (L_n), (в литрах)»;

- таблицу А.6.5 по другому выбранному показателю «количеству регламентных ТО, которые возможно провести при использовании расходных

материалов и запасных инструментов и принадлежностей (далее – ЗИП), входящих в комплект поставки системы (C_{mo}), (количество ТО)».

Таблица А.6.3

Статистическая информация для оценки качества систем
по выбранному показателю оценки качества
время эксплуатации системы до проведения первого ТО (t_{mo}), (в часах)
(название показателя, единица измерения показателя)

Системы	0,2	Системы							Источники информации о системах		Дата
		1	2	3	4	5	6	7			
	t_{mo} (часы)	240	342	330	370	400	252	380	Внутренние	Внешние	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	240	0	-102	-90	-130	-160	-12	-140		Сайт Инт-та 1	23.01.20
									Инструкция по экспл-ии		24.01.20
2	342	102	0	12	-28	-58	90	-38		Справочник	23.01.20
3	330	90	-12	0	-40	-70	78	-50	Инструкция по экспл-ии	Сайт Инт-та 4	24.01.20
										Сайт Инт-та 2	24.01.20
4	370	130	28	40	0	-30	118	-10		Сайт Инт-та 3	23.01.20
5	400	160	58	70	30	0	148	20	Инструкция по экспл-ии	Сайт Инт-та 4	24.01.20
6	252	12	-90	-78	-118	-148	0	-128		Сайт Инт-та 4	24.01.20
7	380	140	38	50	10	-20	128	0		Справочник	24.01.20
									Технич. описание изделия		24.01.20
Результаты проверки данных на непротиворечивость:		Норма									

В таблицах проведена проверка данных на непротиворечивость.

Далее также в электронном виде с помощью программных средств (MatLab, Excel или др.) были произведены расчеты на основе соответствующих выбранным показателям качества исходных данных, систематизированных в таблицах.

Таблица А.6.4

Статистическая информация для оценки качества систем
по выбранному показателю оценки качества
прогнозируемый расход дизельного топлива на 1 (один) час работы системы в заданных условиях эксплуатации (L_n), (в литрах)
(название показателя, единица измерения показателя)

Системы	0,5	Системы							Источники информации о системах		Дата
		1	2	3	4	5	6	7			
	L_n (литры)	32	36	34	40	38	33	35	Внутренние	Внешние	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	32	0	-4	-2	-8	-6	-1	-3	Инструкция по экспл-ии		24.01.20
2	36	4	0	2	-4	-2	3	1		Справочник	23.01.20
3	34	2	-2	0	-6	-4	1	-1	Инструкция по экспл-ии	Сайт Инт-та 4	24.01.20
										Сайт Инт-та 2	24.01.20
4	40	8	4	6	0	2	7	5		Сайт Инт-та 3	23.01.20
5	38	6	2	4	-2	0	5	3	Инструкция по экспл-ии	Сайт Инт-та 4	24.01.20
6	33	1	-3	-1	-7	-5	0	-2		Сайт Инт-та 4	24.01.20
7	35	3	-1	1	-5	-3	2	0	Технич. описание изделия		24.01.20
Результаты проверки данных на непротиворечивость:		Норма									

Результаты расчетов по оценке качества систем и рейтинги систем доступны на АРМ заинтересованных должностных лиц и АРМ ЛПР в виде следующих таблиц:

- таблица А.6.6, рейтинг составлен по наибольшему времени эксплуатации систем до проведения первого ТО (t_{mo});

- таблица А.6.7, рейтинг составлен по наименьшему прогнозируемому расходу дизельного топлива за 1 (один) час работы системы в условиях эксплуатации БТС (L_n), (в литрах);

Таблица А.6.5.

Статистическая информация для оценки качества систем
по выбранному показателю оценки качества
количество регламентных ТО, которые возможно провести при использовании ЗИП, входящих в комплект поставки системы (C_{mo}),
(количество ТО)

(название показателя, единица измерения показателя)

Системы	0,3	Системы							Источники информации о системах		Дата
		1	2	3	4	5	6	7			
	C_{mo} (кол-во ТО)	2	4	3	3	1	5	4	Внутренние	Внешние	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	0	-2	-1	-1	1	-3	-2	Инструкция по экспл-ии		24.01.20
2	4	2	0	1	1	3	-1	0		Сайт Инт-та 1	24.01.20
3	3	1	-1	0	0	2	-2	-1		Сайт Инт-та 4	24.01.20
4	3	1	-1	0	0	2	-2	-1		Сайт Инт-та 3	23.01.20
5	1	-1	-3	-2	-2	0	-4	-3	Инструкция по экспл-ии	Сайт Инт-та 4	24.01.20
6	5	3	1	2	2	4	0	1		Сайт Инт-та 4	24.01.20
7	4	2	0	1	1	3	-1	0	Технич. описание изделия		24.01.20
Результаты проверки данных на непротиворечивость:		Норма									

- таблица А.6.8, рейтинг составлен по наибольшему количеству регламентных ТО, которые возможно провести при использовании ЗИП, входящих в комплект поставки системы (C_{mo}), (количество ТО).

После ввода исходных данных все расчеты и представление результатов происходят в режиме реального времени вне зависимости от того, с помощью какой программы реализована данная методика. Далее для оценки качества на II этапе настоящей методики в данном примере – это систематизация результатов, полученных в таблицах А.6.6-8, и их представление ЛПР в виде сводных таблиц А.6.8.1, А.6.8.2, А.6.9.1 и А.6.9.2.

Таблица А.6.6

Результаты оценки качества систем
на основе статистической информации
по выбранному показателю оценки качества
время эксплуатации системы до проведения первого ТО (t_{mo}), (в часах)
(название показателя, единица измерения показателя)

Место в рейтинге	Система	t_{mo} (часы)	Коэффициент качества системы, полученный на основе статистических данных, D_n	Количество баллов, набранных системой по результатам парного сравнения, U_n
1	Система 5	400	0,172860847	486
2	Система 7	380	0,164217805	346
3	Система 4	370	0,159896283	276
4	Система 2	342	0,147796024	80
5	Система 3	330	0,142610199	-4
6	Система 6	252	0,108902334	-550
7	Система 1	240	0,103716508	-634
Сумма			1	0
Результаты проверки данных на непротиворечивость:			норма	норма

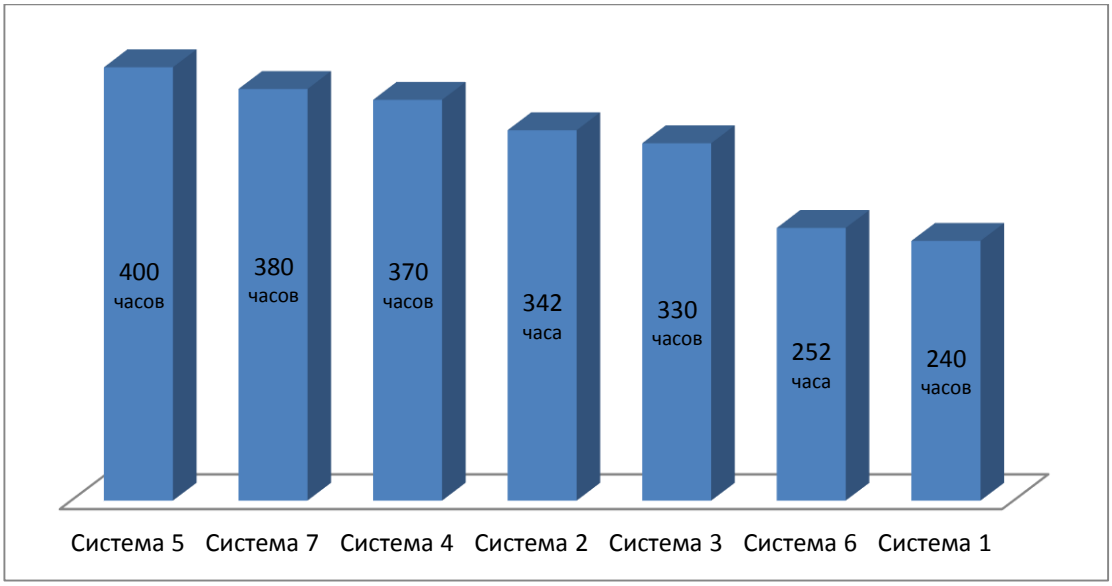


Рисунок А.6.1. Время эксплуатации системы до проведения первого ТО (t_{mo}), (в часах)

В данных таблицах расчеты произведены 4 различными способами:

- в таблице А.6.8.1, результаты оценки качества систем получены на основе статистической информации и рейтинга 7 (семи) систем по 3 (трем) показателям

оценки качества с учетом нормированных коэффициентов важности показателей оценки качества (g_i) в зависимости от рейтинга систем по каждому выбранному показателю;

Таблица А.6.7

Результаты оценки качества систем
на основе статистической информации
по выбранному показателю оценки качества
расход дизельного топлива на 1 (один) час работы системы в условиях эксплуатации БТС (L_n), (в литрах)
(название показателя, единица измерения показателя)

Место в рейтинге	Система	L_n (в литрах)	Коэффициент качества системы, полученный на основе статистических данных, D_n	Количество баллов, набранных системой по результатам попарного сравнения, U_n
1	Система 1	32	0,129032258	-24
2	Система 6	33	0,133064516	-17
3	Система 3	34	0,137096774	-10
4	Система 7	35	0,141129032	-3
5	Система 2	36	0,14516129	4
6	Система 5	38	0,153225806	18
7	Система 4	40	0,161290323	32
Сумма			1	0
Результаты проверки данных на непротиворечивость:			норма	норма

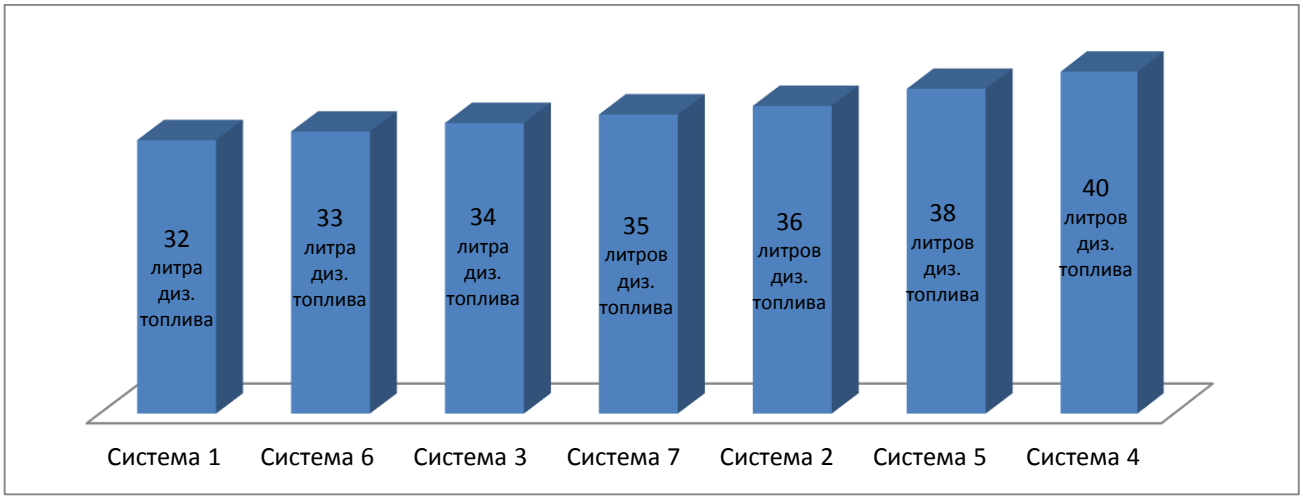


Рисунок А.6.2. Расход дизельного топлива на 1 (один) час работы системы в условиях эксплуатации БТС (L_n), (в литрах)

Таблица А.6.8

Результаты оценки качества систем
на основе статистической информации
по выбранному показателю оценки качества
количество регламентных ТО, которые возможно провести при использовании ЗИП, входящих в комплект поставки системы (C_{mo}),
(количество ТО)
(название показателя, единица измерения показателя)

Место в рейтинге	Система	C_{mo} (кол-во ТО)	Коэффициент качества системы, полученный на основе статистических данных, D_n	Количество баллов, набранных системой по результатам попарного сравнения, U_n
1	Система 6	5	0,227272727	13
2	Система 7	4	0,181818182	6
	Система 2	4	0,181818182	6
3	Система 3	3	0,136363636	-1
	Система 4	3	0,136363636	-1
4	Система 1	2	0,090909091	-8
5	Система 5	1	0,045454545	-15
Сумма			1	0
Результаты проверки данных на непротиворечивость:			норма	норма

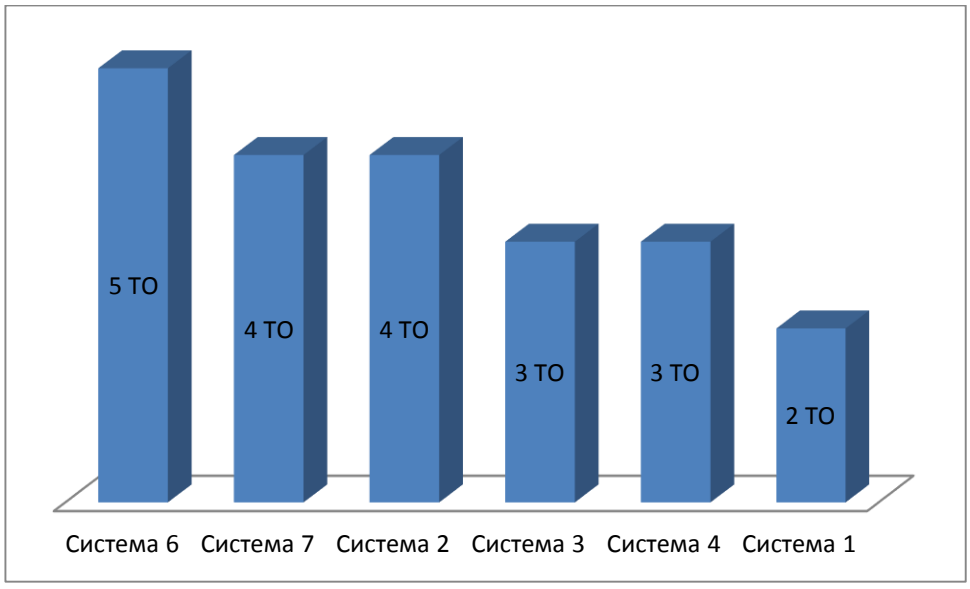


Рисунок А.6.3. Количество регламентных ТО, которые возможно провести при использовании ЗИП, входящих в комплект поставки системы (C_{mo}).

- в таблице А.6.8.2, результаты оценки качества систем получены на основе статистической информации и рейтинга 7 (семи) систем по 3 (трем) показателям оценки качества в зависимости от рейтинга систем по каждому выбранному показателю, но без учета нормированных коэффициентов важности показателей оценки качества;

Таблица А.6.8.1

Результаты оценки качества систем
на основе статистической информации и рейтинга 7 (семи) систем
по 3 (трем) показателям оценки качества с учетом нормированных
коэффициентов важности показателей оценки качества (g_i)
в зависимости от рейтинга систем по каждому выбранному показателю

Место в общем рейтинге	Система	Показатели оценки качества (g_i)						
		Q_{gn}	t_{mo} (g_t=0,2)		L_n (g_L=0,5)		C_{mo} (g_C =0,3)	
			часы	M_{tn}	литры	M_{Ln}	Кол-во ТО	M_{Cn}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Система 6	0,196429	252	6	33	2	5	1
2	Система 7	0,174286	380	2	35	4	4	2
3	Система 1	0,162143	240	1	32	1	2	3
4	Система 3	0,155714	330	5	34	3	3	4
5	Система 2	0,142143	342	4	36	5	4	2
6	Система 5	0,100714	400	1	38	6	1	5
7	Система 4	0,098571	370	3	40	7	3	4
Максимально допустимое значение показателя			отсутствует		отсутствует		отсутствует	
Минимально допустимое значение показателя			отсутствует		отсутствует		отсутствует	
Результаты проверки и действие			Проверка не проводилась		Проверка не проводилась		Проверка не проводилась	

- в таблице А.6.9.1, результаты оценки качества 7 (семи) систем получены на основе статистической информации о значениях 3 (трех) выбранных показателей оценки качества с учетом нормированных коэффициентов важности этих показателей (g_i);

- в таблице А.6.9.2, результаты оценки качества 7 (семи) систем получены на основе статистической информации о значениях 3 (трех) выбранных показателей

оценки качества без учета нормированных коэффициентов важности этих показателей.

Таблица А.6.8.2

Результаты оценки качества систем
на основе статистической информации и рейтинг 7 (семи) систем
по 3 (трем) показателям оценки качества без учета нормированных
коэффициентов важности показателей оценки качества
в зависимости от рейтинга систем по каждому выбранному показателю

Место в общем рейтинге	Система	Показатели оценки качества							
		Q_{gn}	t_{mo}		L_n		C_{mo}		
			часы	M_{tn}	литры	M_{Ln}	Кол-во ТО	M_{Cn}	
1	Система 7	0,557143	380	2	35	4	4	2	
2	Система 6	0,535714	252	6	33	2	5	1	
3	Система 2	0,45	342	4	36	5	4	2	
4	Система 3	0,435714	330	5	34	3	3	4	
5	Система 1	0,385714	240	1	32	1	2	3	
6	Система 5	0,364286	400	1	38	6	1	5	
7	Система 4	0,100714	370	3	40	7	3	4	
Максимально допустимое значение показателя			отсутствует		отсутствует		отсутствует		
Минимально допустимое значение показателя			отсутствует		отсутствует		отсутствует		
Результаты проверки и действие			Проверка не проводилась		Проверка не проводилась		Проверка не проводилась		

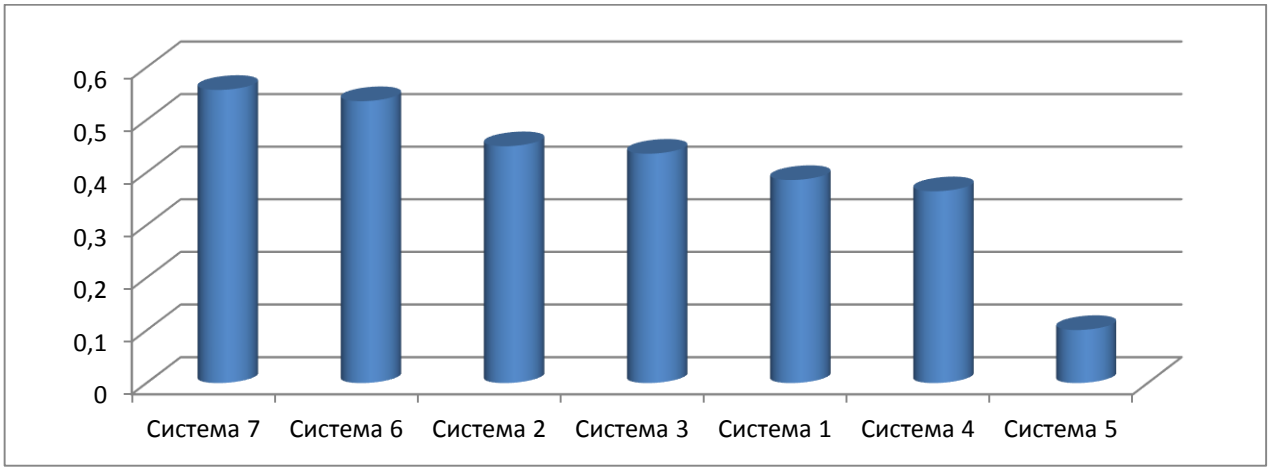


Рисунок А.6.4. Рейтинг систем по таблице А.6.8.2

Обобщение полученных результатов и вывод по результатам оценки качества систем представлены в таблице А.6.10. Таблица А.6.10 доступна на АРМ ЛПР и

заинтересованных должностных лиц. В этой таблице рейтинг систем составлен по наибольшему количеству полученных баллов при их оценке различными способами, представленными в таблицах А.6.8.1, А.6.8.2, А.6.9.1 и А.6.9.2.

Таблица А.6.9.1.

Результаты оценки качества 7 (семи) систем
на основе статистической информации о значениях 3 (трех) выбранных показателей оценки качества с учетом нормированных коэффициентов важности этих показателей (g_i)

Место в общем рейтинге	Система	Показатели оценки качества			
		Q_n	t_{mo} (g_t=0,2)	L_n (g_L=0,5)	C_{mo} (g_C =0,3)
			часы	литры	кол-во ТО
1	Система 6	0,199337	252	33	5
2	Система 1	0,173016	240	32	2
3	Система 7	0,165514	380	35	4
4	Система 3	0,163181	330	34	3
5	Система 2	0,146605	342	36	4
6	Система 5	0,079459	400	38	1
7	Система 4	0,072888	370	40	3
Максимальное допустимое значение показателя			отсутствует	отсутствует	отсутствует
Минимально допустимое значение показателя			отсутствует	отсутствует	отсутствует
Результаты проверки			Проверка не проводилась	Проверка не проводилась	Проверка не проводилась

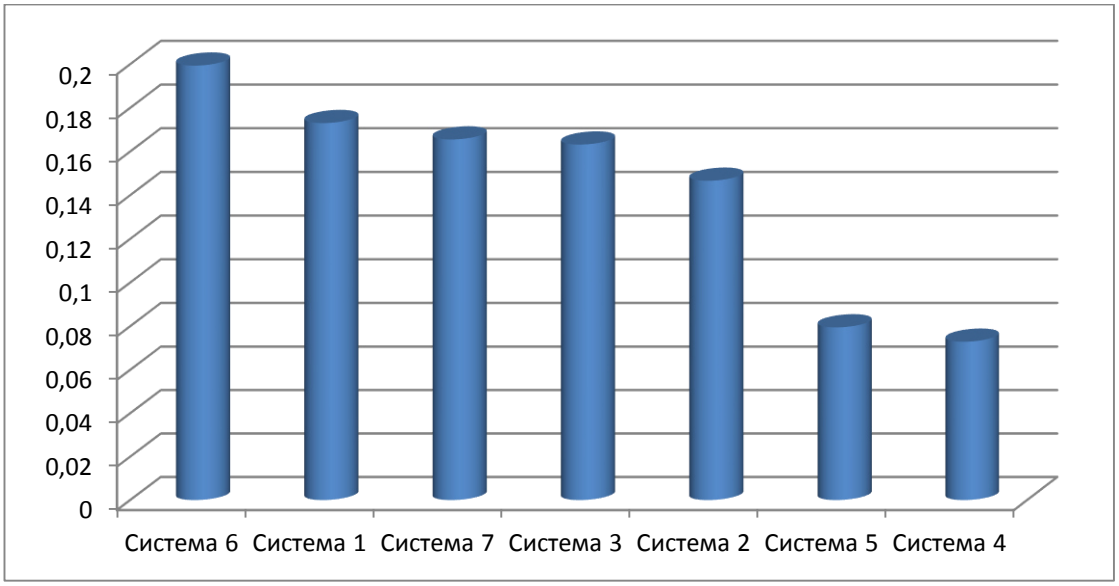


Рисунок А.6.5. Рейтинг систем по таблице А.6.9.1.

Таблица А.6.9.2.

Результаты оценки качества 7 (семи) систем
на основе статистической информации о значениях 3 (трех) выбранных показателей оценки качества без учета нормированных коэффициентов важности этих показателей

Место в общем рейтинге	Система	Показатели оценки качества			
		Q_n	t_{mo}	L_n	C_{mo}
			часы	литры	кол-во ТО
1	Система 6	0,554925	252	33	5
2	Система 7	0,502286	380	35	4
3	Система 3	0,466474	330	34	3
4	Система 2	0,454614	342	36	4
5	Система 1	0,444626	240	32	2
6	Система 4	0,29626	370	40	3
7	Система 5	0,280815	400	38	1
Максимальное допустимое значение показателя			отсутствует	отсутствует	отсутствует
Минимально допустимое значение показателя			отсутствует	отсутствует	отсутствует
Результаты проверки			Проверка не проводилась	Проверка не проводилась	Проверка не проводилась

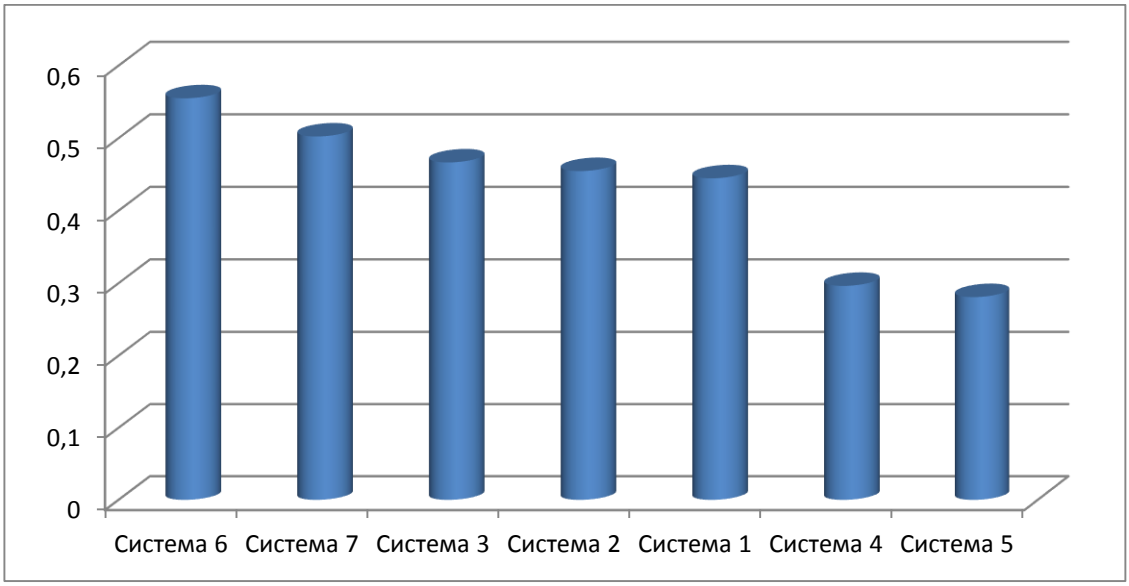


Рисунок А.6.6. Рейтинг систем по таблице А.6.9.2.

Для оценки и принятия решения ЛПР может выбрать любую из приведенных таблиц А.6.8.1, А.6.8.2, А.6.9.1 или А.6.9.2, исходя из специфики эксплуатации оцениваемой БТС.

Таблица А.6.10

Рейтинг систем по результатам оценки качества различными способами при использовании статистической информации

Место в общем рейтинге	Система	Сумма баллов по рейтингам	Место в рейтинге при оценке качества различными способами по результатам оценки, систематизированным в таблицах:			
			Табл.8.1	Табл.8.2	Табл.9.1	Табл.9.2
1	Система 6	27	1	2	1	1
2	Система 7	24	2	1	3	2
3	Система 1	17	3	5	2	5
3	Система 3	17	4	4	4	3
4	Система 2	15	5	3	5	4
5	Система 5	7	6	6	6	7
6	Система 4	5	7	7	7	6

При этом анализ данных в таблице А.6.10 позволяет ЛПР сделать следующие выводы:

1. В 3-х (трех) способах оценки (таблицы А.6.8.1, А.6.9.1 и А.6.9.2) из четырех применяемых способов лучшей является система 6. В четвертом способе (таблица А.6.8.2) система 6 занимает второе место.

2. При любом способе оценки худшими системами являются системы 4 и 5.

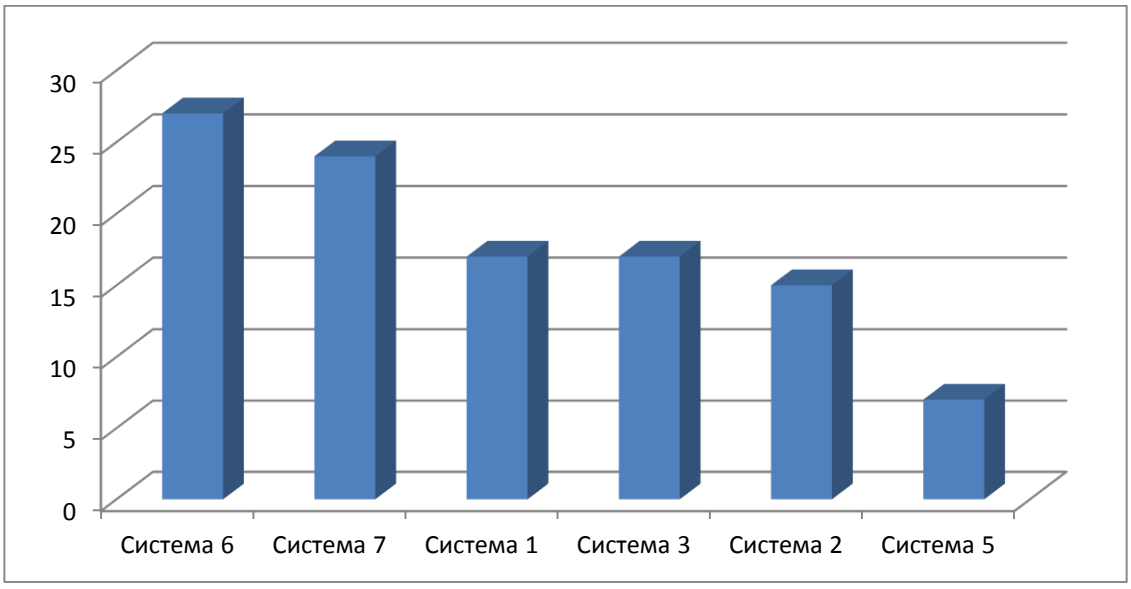


Рисунок А.6.7. Рейтинг систем по результатам оценки качества различными способами при использовании статистической информации

III этап. На основе I этапа данной методики с помощью программных средств для каждого эксперта создана таблица обработки и систематизации экспертной информации при оценке качества 7 (семи) выбранных систем (таблица А.6.11) усовершенствованным методом парных сравнений. В примере (таблицы А.6.11, А.6.12 и А.6.13) приведена оценка качества систем первым экспертом. Другие 10 (десять) экспертов оценивают качество выбранных 7 (семи) систем аналогично первому эксперту.

В таблице А.6.11 представлен внешний вид таблицы, которая поступила всем экспертам на их АРМ от ДЛ, организующего оценку качества выбранных систем.

Таблица А.6.11

Таблица обработки и систематизации экспертной информации при оценке качества 7 (семи) систем методом парного сравнения с учетом источников информации, использовавшихся **1** экспертом и датой получения этой информации

№ эксперта **1**	Системы							K	Кол-во баллов, B_n	Проверка	Источники информации о системах		Дата
Системы	1	2	3	4	5	6	7				Внутренние	Внешние	
1	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	**1**	**?**	**?**	**?**	**?**	**?**	**?**						
2		**1**											
3			**1**										
4				**1**									
5					**1**								
6						**1**							
7							**1**						
Сумма:													
Результаты проверки данных на непротиворечивость:													

В таблице А.6.12 представлена работа программы после заполнения экспертом первой строки. Программа на основании таблицы 2.3.2 (параграф № 2.3 диссертации) заполнила все возможные ячейки таблицы 12.

Далее первому эксперту необходимо заполнить все ячейки таблицы, где появился знак «?», сравнив соответствующие системы между собой.

В данном примере (таблица А.6.12) эксперту необходимо провести 4 (четыре) сравнения систем.

В таблице А.6.13 представлены окончательные результаты оценки качества 7 (семи) систем экспертом с помощью усовершенствованного метода парного сравнения (параграф № 2.3 диссертации).

Таблица А.6.12

Таблица обработки и систематизации экспертной информации при оценке качества 7(семи) систем методом парного сравнения с учетом источников информации, использовавшихся первым экспертом и датой получения этой информации, после заполнения первой строки

№ эксперта **1**	Системы							*K*	Кол-во баллов, B_n	Проверка	Источники информации о системах		Дата
Системы	1	2	3	4	5	6	7				Внутренние	Внешние	
1	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	**1**	2	1	2	1	0	2		9	норма		Сайт Интернета 1	20.01.20
											Ап. журнал		21.01.20
												Источник литературы 1	21.01.20
2	2	**1**	0	**?**	0	0	**?**					Сайт Интернета 2	20.01.20
3	1	2	**1**	2	**?**	0	2					Сайт Интернета 1	21.01.20
4	0		0	**1**	0	0	**?**					Источник литературы 2	21.01.20
											Отчет 1		20.01.20
												Сайт Интернета 3	21.01.20
5	1	2		2	**1**	0	2					Сайт Интернета 4	20.01.20
6	2	2	2	2	2	**1**	2		13	норма	Инструкция по экспл-ии	Источник литературы 2	20.01.20
												Сайт Интернета 2	21.01.20
7	0		0		0	0	**1**				Инструкция по экспл-ии	Сайт Интернета 4	21.01.20
Сумма:													
Результаты проверки данных на непротиворечивость:													

Анализ заполнения экспертами первой строчки в таблице А.6.12 показывает, что для 7 (семи) систем обычно четыре ячейки требуют дальнейшего заполнения экспертами (знак «?» в таблице А.6.12).

За исключением 2-х случаев: если эксперт проставляет в первой строчке все «1» или все «2». Данные случаи описаны в правилах логических выводов усовершенствованного метода парных сравнений в параграфе № 2.3 диссертации данной методики, которые систематизированы в таблице 2.3.2.

Таблица А.6.13

Таблица обработки и систематизации экспертной информации при оценке качества 7 (семи) систем методом попарного сравнения с учетом источников информации, использовавшихся первым экспертом и датой получения этой информации

№ эксперта **1**	Системы							K	Кол-во баллов, B_n	Проверка	Источники информации о системах		Дата
Системы	1	2	3	4	5	6	7				Внутренние	Внешние	
1	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	2	1	2	1	0	2	0,1837	9	норма		Сайт Интернета 1	20.01.20
											Журнал БП 1		21.01.20
												Источник литературы 1	21.01.20
2	0	1	0	2	0	0	0	0,0612	3	норма		Сайт Интернета 2	20.01.20
3	1	2	1	2	2	0	2	0,2041	10	норма		Сайт Интернета 1	21.01.20
4	0	0	0	1	0	0	0	0,0204	1	норма		Источник литературы 2	21.01.20
											Отчет 1		20.01.20
												Сайт Интернета 3	21.01.20
5	1	2	0	2	1	0	2	0,1633	8	норма		Сайт Интернета 4	20.01.20
6	2	2	2	2	2	1	2	0,2653	13	норма	Инструкция по экспл-ии	Источник литературы 2	20.01.20
												Сайт Интернета 2	21.01.20
7	0	2	0	2	0	0	1	0,102	5	норма	Инструкция по экспл-ии	Сайт Интернета 4	21.01.20
Сумма:								1	49	норма			
Результаты проверки данных на непротиворечивость:								норма					

По результатам экспертного опроса 11 экспертов сведения из персональных опросных таблиц экспертов (таблица А.6.13) автоматически передаются по ЛВС на АРМ ДЛ, организующего оценку качества, для заполнения таблиц А.6.14 и А.6.15.

Таблица А.6.14

Результаты оценки качества систем
на основе использования экспертной информации
(мнений 11 экспертов) с учетом нормированных весовых коэффициентов
компетентности экспертов *(q_j)*

Место в общем рейтинге	Система	$\sum q_j К_n$	Результаты оценки качества систем 11 экспертами с учетом нормированных весовых коэффициентов компетентности экспертов, $q_j К_n$										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	**6**	0,248	0,016	0,028	0,021	0,040	0,033	0,024	0,015	0,008	0,034	0,017	0,013
2	**1**	0,222	0,011	0,022	0,013	0,031	0,042	0,018	0,011	0,017	0,026	0,015	0,016
3	**7**	0,153	0,006	0,011	0,016	0,003	0,016	0,017	0,010	0,022	0,023	0,022	0,006
4	**3**	0,130	0,013	0,019	0,002	0,024	0,029	0,006	0,003	0,015	0,003	0,005	0,011
5	**2**	0,114	0,004	0,017	0,014	0,027	0,003	0,002	0,001	0,013	0,008	0,014	0,010
6	**5**	0,100	0,010	0,006	0,008	0,009	0,010	0,009	0,009	0,005	0,021	0,009	0,004
7	**4**	0,087	0,001	0,002	0,005	0,015	0,026	0,015	0,006	0,002	0,013	0,002	0,001

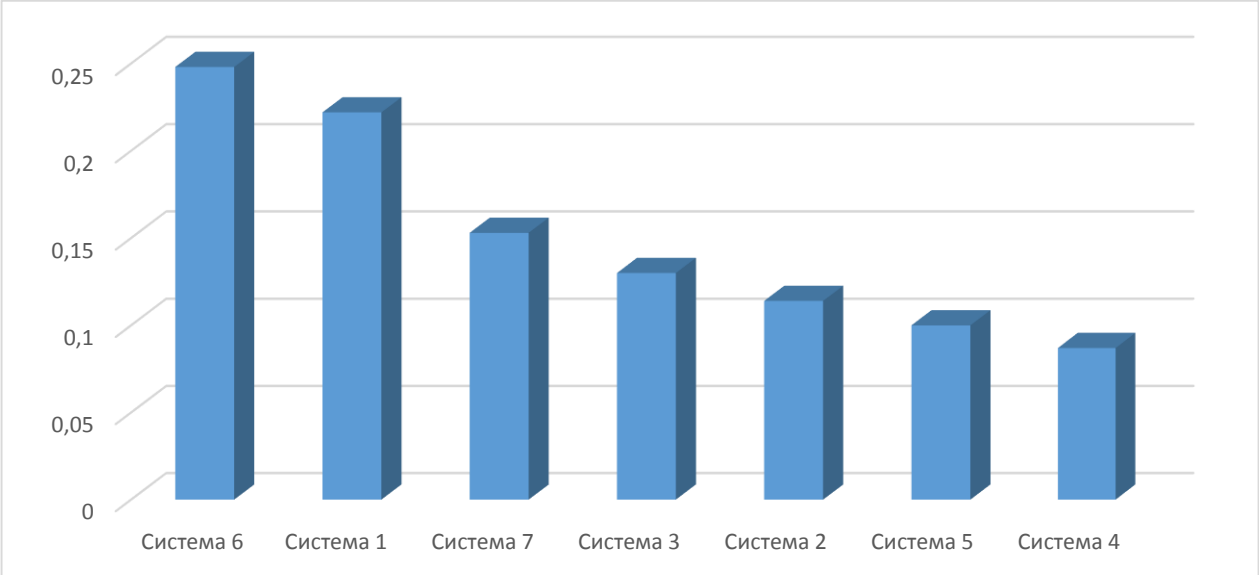


Рисунок А.6.8. Результаты оценки качества систем
на основе мнений 11 экспертов с учетом нормированных весовых коэффициентов компетентности экспертов *(q_j)*.

Таблица А.6.15

Результаты оценки качества систем
на основе использования экспертной информации
(мнений 11 экспертов) без учета нормированных весовых коэффициентов
компетентности экспертов

Место в общем рейтинге	Система	$\sum К_n$	Результаты оценки качества систем 11 экспертами с учетом нормированных весовых коэффициентов компетентности экспертов, $К_n$										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	**6**	2,571	0,265	0,265	0,265	0,265	0,204	0,265	0,265	0,102	0,265	0,204	0,204
2	**1**	2,286	0,184	0,204	0,163	0,204	0,265	0,204	0,204	0,204	0,204	0,184	0,265
3	**7**	1,714	0,102	0,102	0,204	0,020	0,102	0,184	0,184	0,265	0,184	0,265	0,102
4	**3**	1,327	0,204	0,184	0,020	0,163	0,184	0,061	0,061	0,184	0,020	0,061	0,184
5	**2**	1,204	0,061	0,163	0,184	0,184	0,020	0,020	0,020	0,163	0,061	0,163	0,163
6	**5**	1,102	0,163	0,061	0,102	0,061	0,061	0,102	0,163	0,061	0,163	0,102	0,061
7	**4**	0,796	0,020	0,020	0,061	0,102	0,163	0,163	0,102	0,020	0,102	0,020	0,020

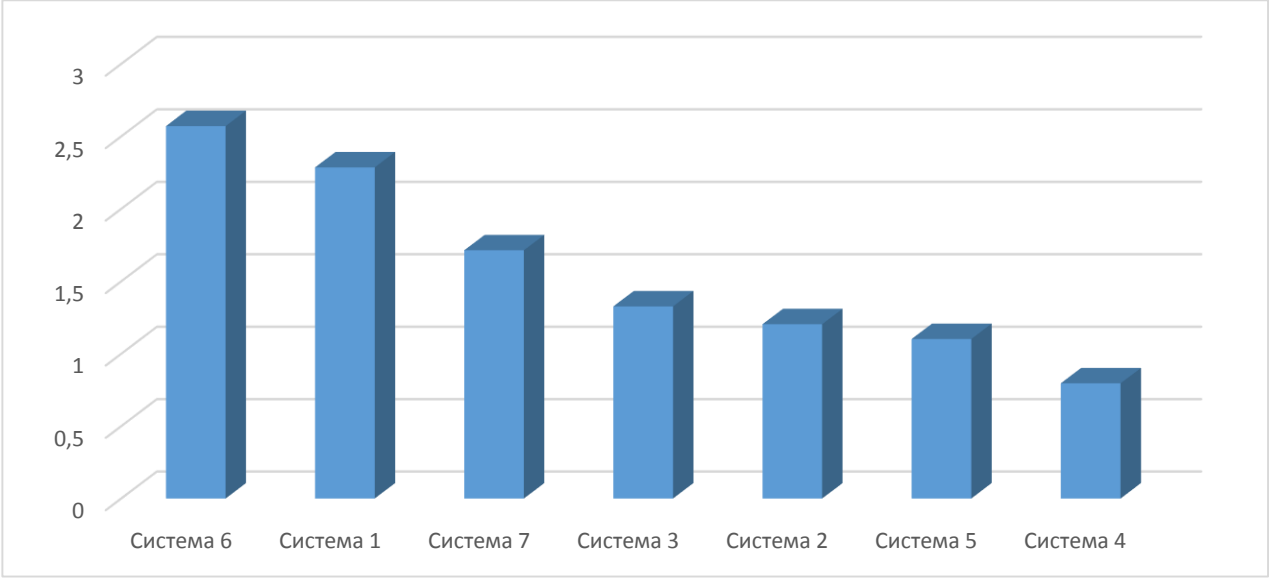


Рисунок А.6.9. Результаты оценки качества систем
на основе мнений 11 экспертов без учета нормированных весовых коэффициентов компетентности экспертов.

Анализ таблиц А.6.14 и А.6.15 показывает, что рейтинги систем, составленные по результатам оценки качества, одинаковы при оценке качества, как с учетом, так и без учета нормированных весовых коэффициентов компетентности экспертов *(q_j)*. Лучшая система по оценкам экспертов – это система 6, а худшие системы – это системы 5 и 4.

IV этап. Составление рейтинга систем по результатам оценки качества и представление результатов оценки качества систем ЛПР.

Таблица А.6.16

Рейтинг систем по результатам оценки качества

Место в общем рейтинге	Система	Сумма баллов по рейтингам	Место в рейтинге по результатам оценки качества при использовании:	
			статистической информации	экспертной информации
1	Система 6	14	1	1
2	Система 7	11	2	3
3	Система 1	11	3	2
3	Система 3	9	3	4
4	Система 2	7	4	5
5	Система 5	5	5	6
6	Система 4	3	6	7

Таким образом, в данном примере ЛПР может обоснованно принять решение об определении системы 6 как лучшей системы (табл. А.6.16) по выбранным показателям качества и при эксплуатации в заданных условиях (рис. А.6.10).

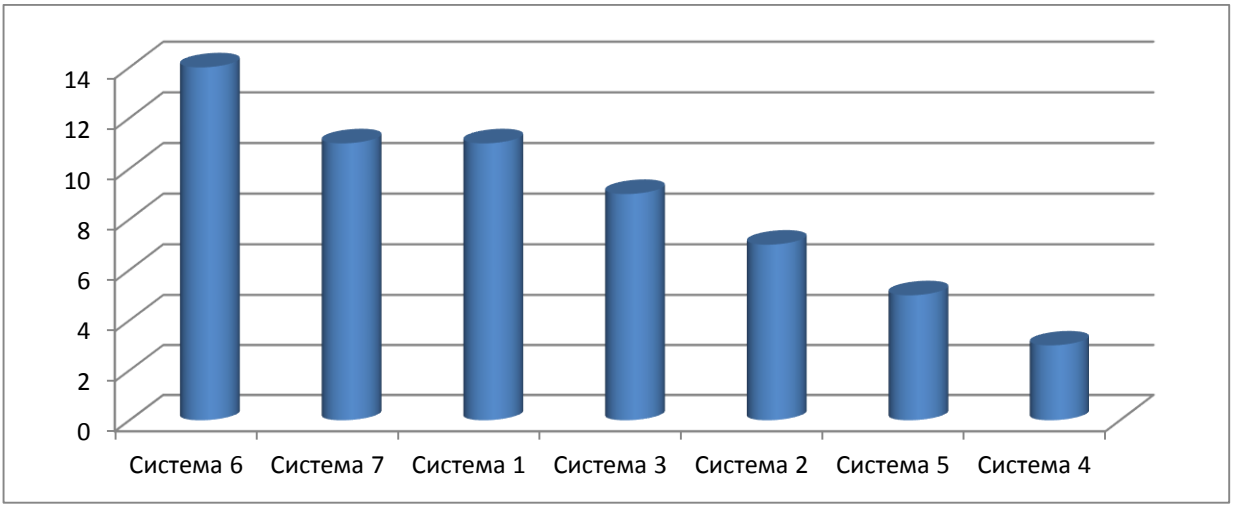


Рисунок А.6.10. Рейтинг систем по результатам оценки качества

V этап. Оценка эффективности принятого решения приведена в разделе А.3 приложения А диссертации.

Исходя из опыта эксплуатации оцениваемых систем, лучшая система по выбранным показателям качества – это система 6, а худшие системы – это система 4 и система 5.

Приложение Б. Акты внедрения результатов диссертационного исследования, акты установки программ для ЭВМ и сведения о государственной регистрации программ для ЭВМ

АО «Системы управления»

Акционерное общество
«Научно-производственное объединение
«Импульс»
(АО «НПО «Импульс»)
Киришская ул., д.2, лит.А,
Санкт-Петербург,195299
Тел/факс: (812) 290-48-55
e-mail: kanz@npoimpuls.ru;
http:www.npoimpuls.ru
ОКПО 07545636/ОГРН 1127847076202
ИНН/КПП 7804478424/780401001

«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный директор
АО «НПО «Импульс»

С.В. Вилков

«22» декабря 2020 года

На №_____ от _____

АКТ
о внедрении результатов диссертационного исследования
Билятдинова Камиля Закировича

Комиссия в составе
председателя комиссии:
Заместителя генерального директора –
главного конструктора Д.В. Звездарева
членов комиссии:
заместителя начальника УИРиСП С.В. Филиппова
начальника КНТЦ-2 Д.В. Козьмовского

составила настоящий акт, о том, что научные результаты докторской диссертации Билятдинова К.З., представленные в виде методик и программ для ЭВМ использованы в интересах оценки устойчивости больших технических систем (БТС) в сфере деятельности предприятия на этапе проведения научно-исследовательских работ с учётом принятия прогнозных данных по функционированию БТС.

Внедрение данных научных результатов (после установки программы на ПЭВМ предприятия) позволило без затрат дополнительных ресурсов впервые произвести оценку допущений и границ изменений количественного состава

1 страница Акта внедрения результатов диссертационного исследования от АО «Научно-производственное объединение «Импульс» »

групп систем при сохранении устойчивости БТС.

Время обработки информации при оценке устойчивости БТС снижается до 30%. Обоснование количественного состава ЗИП при сохранении устойчивости БТС позволяют говорить о возможной экономии бюджета эксплуатации до 5%.

Председатель комиссии:
Заместитель генерального директора –
главный конструктор Д.В. Звездарев

члены комиссии:
заместитель начальника УИРиСП С.В. Филиппов

начальник КНТЦ-2 Д.В. Козьмовский

«22» декабря 2020 года

2 страница Акта внедрения результатов диссертационного исследования от АО «Научно-производственное объединение «Импульс» »

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. временного генерального директора

АО «ЦНИИ ЭИСУ»

кандидат технических наук

_____А.Г. Фортинский

«19» мая 2021 года

мп

АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования соискателя ученой степени доктора технических наук Билятдинова Камиля Закировича

Научные результаты, полученные в ходе исследований при подготовке диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Билятдинова К.З., представленные в виде моделей, методик и программ для ЭВМ, использованы в научно-исследовательских работах СЧ НИР «Управление ресурсами – Воентелеком – ЦНИИ ЭИСУ» и СЧ НИР «Управление ресурсами – Галактика – ЦНИИ ЭИСУ», а также в интересах повышения эффективности управления эксплуатацией и техническим обеспечением аппаратно-программных средств стендового оборудования АО «ЦНИИ ЭИСУ».

Внедрение данных научных результатов позволило без затрат дополнительных ресурсов в зависимости от вида информации снизить от 10 до 19% время обработки информации при оценке качества технических систем в интересах принятия своевременных и обоснованных управленческих решений при возможности экономии бюджета эксплуатации до 4-5%.

При этом наблюдалось повышение вероятности достижения цели функционирования технических систем на 0,0011 за счет существенного снижения вероятности возникновения неисправностей критически важного числа элементов в их составе.

Председатель комиссии:
Директор по научной методологии,
кандидат технических наук _____ В.Ю. Феоктистов
Члены комиссии:
доктор технических наук _____ С.К. Колганов
кандидат технических наук _____ А.В. Калеватых
Директор Департамента РИВСРО _____ А.С. Шмыглев
«14» мая 2021 года

Акт внедрения результатов диссертационного исследования
от АО «Центральный научно-исследовательский институт экономики, информатики и систем управления»
(АО «ЦНИИ ЭИСУ»)

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ВОЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ
РАКЕТНЫХ ВОЙСК
СТРАТЕГИЧЕСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ
имени ПЕТРА ВЕЛИКОГО
(филиал в г. Серпухове
Московской области)
г. Серпухов, 142210

«28» 12 2011 г. № 281/12

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель начальника филиала ВА РВСН
по учебной и научной работе
полковник А.Людоговский
«28» 12 2011г.

АКТ
о реализации материалов научных трудов
кандидата военных наук Билятдинова Камиля Закировича.

Комиссия в составе: председателя - начальника кафедры №4 кандидата технических наук, доцента полковника Ковалькова Д.А. и членов комиссии: профессора кафедры №4 кандидата технических наук, профессора Виноградова С.А., доцента кафедры №4 кандидата технических наук подполковника Чистопрудова Д.А. составила настоящий акт о том, что материалы научных работ:

1. Билятдинов К.З. Методика оценки компетентности экспертов \ Деп. в ЦВНИ МО РФ. Инв. № В 6878. Справка № 15967, серия Б. Вып. № 84. М.,2008. 20 с.
2. Билятдинов К.З. Обоснование применения метода групповых экспертных оценок для формирования учебной программы (статья)\Материалы региональной научно-практической конференции.\ Под ред. Власовой С. А. к. филологических наук, Байер Н. А. –Ленинск - Кузнецкий, 2008. с. 14-20.
3. Билятдинов К.З., Фортинский А. Г. Формирование экспертной группы для оценки инженерных записок на выполнение научно-исследовательских и опытно- конструкторских работ, выполняемых по государственному оборонному заказу с использованием комбинированного метода оценки компетентности экспертов (статья) \ Научно- технический сборник, посвященный 85-летию 16 ЦНИИ, г. Мытищи,2008. с. 112- 121.

1 страница Акта реализации научных трудов от филиала ВА РВСН

4. Билятдинов К.З., Фортинский А. Г. Применение комбинированного метода оценки компетентности экспертов (статья) \ Научно- технический сборник, посвященный 85-летию 16 ЦНИИ, г. Мытищи,2008. с. 121-128.

5. Билятдинов К.З. Рекомендации по применению группового метода компетентности экспертов (статья) \ Сборник материалов Всероссийской научно- практической конференции «Наука и образование в современном обществе». \ НИПКиПРО, Новосибирск, 2008. с. 36- 44.

6. Билятдинов К.З. Методика формирования концептуальной модели специалиста на основе метода групповых экспертных оценок (статья) \Сборник материалов Всероссийской научно- практической конференции «Наука и образование в современном обществе».\ НИПКиПРО, Новосибирск, 2008. с. 22- 36.

7. Билятдинов К.З. Вариант методики оценки качества подготовки специалиста на основе метода групповых экспертных оценок (статья) \Сборник материалов Всероссийской научно- практической конференции «Наука и образование в современном обществе».\ НИПКиПРО, Новосибирск, 2008. с. 17- 22.

реализованы в учебном процессе кафедры № 4 Филиала военной академии РВСН им. Петра Великого (г.Серпухов) при разработке учебно-методических материалов по дисциплинам «Основы теории оптимального управления» и «Теория автоматического управления» (Тема 5 «Методы теории оптимального управления при качественной исходной информации»).

Председатель комиссии

кандидат технических наук, доцент

полковник Д. Ковальков

Члены комиссии:

кандидат технических наук, профессор

С. Виноградов

кандидат технических наук

подполковник Д. Чистопрудов

2 страница Акта реализации научных трудов от филиала ВА РВСН

«УТВЕРЖДАЮ»

Национальный исследовательский университет

«Высшая школа экономики»

190008, г. Санкт-Петербург, ул. Союза Печатников, д. 16

«16» октября 2020 года

доцент В.В.Меняйло

АКТ
о внедрении результатов диссертационного исследования
Билятдинова Камиля Закировича
на соискание ученой степени доктора технических наук

Комиссия в составе председателя комиссии:
к.фил.н. Меняйло В.В.
членов комиссии: к.пед.н. Кузнецовой Е.О.
к.фил.н. Никитиной Н.А.
составила настоящий акт, о том, что научные результаты докторской диссертации Билятдинова К.З., представленные в виде способа формирования информационных ресурсов методик и программ для ЭВМ использованы для информационного обеспечения научно-исследовательской работы и учебного процесса, а также в интересах повышения эффективности эксплуатации и технического обеспечения лабораторной базы аппаратно-программных средств, используемых в учебном процессе.

Внедрение научных результатов докторской диссертации Билятдинова К.З. позволило обеспечить возможность экономии до 5% расходных материалов при эксплуатации и техническом обеспечении аппаратно-программных средств и при этом снизить в среднем на 17% время обработки информации при материально-техническом обеспечении учебного процесса.

Председатель комиссии:
Меняйло В.В.
члены комиссии: Кузнецова Е.О.
Никитина Н.А.

«16» октября 2020 года

Подпись руки Меняйло В.В.

ВЕДУЩИЙ СПЕЦИАЛИСТ ПО КАДРАМ
Цыпляева О.А.

Акт внедрения результатов диссертационного исследования
от НИУ «Высшая школа экономики»

«УТВЕРЖДАЮ»

Начальник ЦГП 8

АО «НИИССУ»

«29» сентября 2020 года

МП

АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования
Билятдинова Камиля Закировича

Начальник ЦГП 8 - Донков П.А.
членов комиссии: начальник отдела КРОДД – Пчелинцева О.А.
руководитель группы ЦО-НПД-5 – Силантьев И.А.
составила настоящий акт, о том, что научные результаты докторской диссертации Билятдинова К.З., представленные в виде методик и программ для ЭВМ использованы в интересах повышения эффективности управления эксплуатацией и техническим обеспечением аппаратно-программных средств. Внедрение данных научных результатов позволило без затрат дополнительных ресурсов снизить в среднем на 17% время обработки информации при оценке качества технических систем в интересах принятия своевременных и обоснованных управленческих решений.

Председатель комиссии: _____ Донков П.А.

члены комиссии: _____ Пчелинцева О.А.

_____ Силантьев И.А.

«29» сентября 2020 года

Акт внедрения результатов диссертационного исследования
от АО «Научно-исследовательский институт систем связи и управления»
(АО «НИИССУ»)

АО «Галактика Центр»

125167, Россия, Москва,
Театральная аллея, д.3, стр.1

+7 (495) 252-02-55
+7 (495) 252-02-48
Факс: +7 (495) 252-02-56
www.galaktika.ru

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
АО «Галактика Центр»
И.В. Целиков
«21» мая 2021 года

АКТ
о внедрении результатов диссертационного исследования
соискателя ученой степени доктора технических наук
Билятдинова Камиля Закировича

Научные результаты докторской диссертации Билятдинова К.З., представленные в виде методик и программ для ЭВМ использованы в интересах повышения эффективности управления эксплуатацией и техническим обеспечением аппаратно-программных средств. Внедрение данных научных результатов позволило без затрат дополнительных ресурсов снизить в среднем на 18% время обработки информации при оценке качества технических систем в интересах принятия своевременных и обоснованных управленческих решений при возможности экономии бюджета эксплуатации до 4%.

Председатель комиссии:

Сухарев С.Н., заместитель генерального директора,
председатель НТС АО «Галактика Центр»

члены комиссии:

Михалицын Е.Н.,
ученый секретарь НТС АО «Галактика Центр»
Вихлянов Максим Владиславович,
член НТС АО «Галактика Центр»
Петрушов Алексей Владимирович,
член НТС АО «Галактика Центр»
Емельянов Петр Алексеевич,
член НТС АО «Галактика Центр»
Капралов Роман Игоревич,
член НТС АО «Галактика Центр»
Шиловец Алексей Валерьевич,
член НТС АО «Галактика Центр»

«20» мая 2021 года

Акт внедрения результатов диссертационного исследования
от АО «Галактика Центр»

**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»
(СПбГУТ)**

Санкт-Петербург

УТВЕРЖДАЮ
И.о. первого проректора –
проректора по учебной работе
к.т.н. _____ С. И. Ивасишин
«___» _____ 2022 г.

Акт

об использовании результатов диссертационной работы
Билятдинова Камиля Закировича

«Методы и способы оценки качества больших технических систем
в процессе эксплуатации»

Настоящий Акт составлен в подтверждении того, что результаты диссертационной работы Билятдинова Камиля Закировича, а именно:

- способ формирования информационных резервов;
- методика оценки эффективности, качества и вероятностно-временных характеристик эксплуатации технических систем;
- программа для ЭВМ, реализующая данный способ и методику,

используются кафедрой защищенные системы связи федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» в учебном процессе на старших курсах обучения бакалавров по направлению подготовки 10.03.01 «Информационная безопасность» по дисциплине «Основы информационной безопасности» (рабочая программа дисциплины, регистрационный № 21.05/535-Д) и магистров первого года обучения по направлению подготовки 10.04.01 «Информационная безопасность» по дисциплине «Управление информационной безопасностью», (рабочая программа дисциплины, регистрационный № 21.05/472-Д) при чтении курсов лекций, проведении практических занятий и лабораторных работ.

Председатель комиссии:

к.т.н., доцент Красов Андрей Владимирович

Члены комиссии:
к.т.н., доцент Ушаков Игорь Александрович

к.т.н., доцент Кушнир Дмитрий Викторович

Акт внедрения результатов диссертационного исследования
от ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»

«УТВЕРЖДАЮ»
Декан факультета инфокоммуникационных технологий
университета ИТМО
кандидат технических наук, доцент
А.А. Капитонов
«21» 04 2022 года
мп

АКТ
о внедрении результатов диссертационного исследования на соискание ученой степени доктора технических наук Билятдинова Камиля Закировича

Научные результаты докторской диссертации доцента Билятдинова К.З., представленные в виде способа формирования информационных резервов, методик оценки эффективности, качества и вероятностно-временных характеристик эксплуатации технических систем, а также программы для ЭВМ, реализующиеэти методики:

1. Билятдинов К.З. Расчет вероятности своевременного достижения цели функционирования системы в неблагоприятных условиях в зависимости от времени принятия и доведения управленческих решений в информационном цикле управления / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ№ 2019661734, дата государственной регистрации 06.09.2019.
2. Билятдинов К.З. Расчет и анализ вероятностных характеристик системы / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020610203, дата государственной регистрации 10.01.2020.
3. Билятдинов К.З. Анализ и оценка эффективности систем / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020610389, дата государственной регистрации 14.01.2020,
4. Билятдинов К.З. Реализация способа рациональной работы с информационными ресурсами и формирования информационных резервов системы / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020610335, дата государственной регистрации 13.01.2020.
5. Билятдинов К.З. Оценка устойчивости систем / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020615328, дата государственной регистрации 21.05.2020.

использованы при проведении занятий по учебный дисциплинами при выполнении студентами научно-исследовательских работ и выпускных квалификационных работ

Внедрение данных научных результатов в учебном процессе позволило без затрат дополнительных ресурсов снизить в среднем до 18% время обработки информации при оценке качества инфокоммуникационных систем в интересах принятия своевременных и обоснованных управленческих решений, а также существенно уменьшить (до 16,5%) расход ресурсов учебно-материальной базы при выполнении лабораторных и практических работ.

Председатель комиссии:
Декан факультета ИКТ,
к.т.н., доцент _____ Капитонов А.А.

Члены комиссии:
Зудилова Т.В.
Грудинин В.А.
Харьковская Т. А.

«21» 04 2022 года

Акт внедрения результатов диссертационного исследования от Национального исследовательского университета ИТМО

Акционерное общество
«Воентелеком»
ул. Большая Оленья, д. 15А, стр. 1
г. Москва, Россия, 107014
тел.: +7(495) 609-5005
факс: +7(495) 609-5152
e-mail: info@voentelecom.ru
www.voentelecom.ru
ИНН 7718766718 КПП 771801001
ОКПО 07627860 ОГРН 1097746350151

«Утверждаю»

Руководитель департамента
информационных технологий
И.В. Зуев

«__» июня 2021 года

АКТ
о внедрении результатов диссертационного исследования
на соискание ученой степени доктора наук
Билятдинова Камиля Закировича

Настоящий акт составлен о том, что научные результаты докторской диссертации Билятдинова К.З., представленные в виде способа формирования информационных ресурсов, методик оценки эффективности, качества и вероятностно-временных характеристик эксплуатации технических систем, а также программ для ЭВМ, реализующих данный способ и методики, использованы в интересах повышения эффективности управления эксплуатацией и техническим обеспечением аппаратно-программных средств.

Внедрение данных научных результатов позволило без затрат дополнительных ресурсов снизить в среднем на 15-18% время обработки информации при оценке качества технических систем в интересах принятия своевременных и обоснованных управленческих решений при обеспечении возможности экономии до 20% трудозатрат персонала на выполнение рутинных операций обработки информации при оценке качества технических систем. Таким образом, результаты докторской диссертации Билятдинова К.З. являются новыми техническими, технологическими и методологическими решениями в сфере повышения эффективности управления.

Руководитель проекта
отдела руководителей проекта
коммерческого департамента

К.В. Татаренков

Акт внедрения результатов диссертационного исследования
от АО «Воентелеком»

«УТВЕРЖДАЮ»
Начальник департамента научно-
образовательной деятельности
ПАО «НПО «Алмаз»
кандидат технических наук, доцент
Д.А. Ломанский
«28» 04 2022 г.

АКТ
о внедрении результатов диссертационной работы
Билятдинова Камиля Закировича, представленной
на соискание ученой степени доктора наук

Комиссия в составе
научного руководителя департамента научно-образовательной деятельности, доктора технических наук, профессора Алдошина В.М.,
заместителя начальника НТЦ-3 доктора технических наук Соколова С.П.
установила, что способ формирования информационных ресурсов, методики оценки эффективности, качества и вероятностно-временных характеристик эксплуатации технических систем, а также программы для ЭВМ, реализующие данный способ и методики, изложенные в докторской диссертации Билятдинова К.З., используются в интересах повышения эффективности управления эксплуатацией технических систем, а также при подготовке и повышении квалификации специалистов.

Внедрение способа и методик позволяет сократить время оценки качества технических систем, а также трудозатраты персонала на подготовку и оформление управленческих решений без затрат дополнительных ресурсов.

Члены комиссии: В.М. Алдошин

С.П. Соколов

Акт внедрения результатов диссертационного исследования
от Публичного акционерного общества «Научно-производственное объединение «Алмаз» имени академика А.А. Расплетина» (ПАО «НПО «Алмаз»)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной деятельности
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского», д.м.н., профессор
_____ А.В. Кубышкин
«03» июня 2022 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования на соискание ученой степени доктора наук Билятдинова Камиля Закировича

Модель сопровождения технических систем в процессе эксплуатации, способ формирования информационных ресурсов, методики оценки эффективности, качества и вероятностно-временных характеристик эксплуатации технических систем, а также программы для ЭВМ, реализующие данный способ и методики, изложенные в докторской диссертации Билятдинова К.З., используются в учебном процессе, для повышения эффективности эксплуатации аппаратно-программных средств и компьютерных сетей и для формирования информационных резервов совершенствования учебного процесса студентов.

Внедрение способа, методик и программ для ЭВМ позволяет до 20% сократить время оценки качества технических систем, а также до 18% затраты ресурсов и трудозатраты персонала на подготовку учебно-материальной базы для проведения практических и лабораторных занятий.

Председатель комиссии:
Заведующий кафедрой системного анализа и информатизации Физико-технического института ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», д.т.н., профессор _____ А.В. Степанов

члены комиссии:
Заведующий кафедрой экспериментальной физики Физико-технического института ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», д. ф.-м. н., профессор _____ С.Н. Полулях
Доцент кафедры системного анализа и информатизации Физико-технического института ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», к.э.н _____ Г.В. Литвинова
«03» июня 2022 года

Акт внедрения результатов диссертационного исследования от ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU **2020610389**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства): **2020610389**	Автор: **Билятдинов Камиль Закирович (RU)**
Дата регистрации: **14.01.2020**	Правообладатель: **Билятдинов Камиль Закирович (RU)**
Номер и дата поступления заявки: **2019667306 20.12.2019**	
Дата публикации: **14.01.2020**	
Контактные реквизиты: **k01b@mail.ru**	

Название программы для ЭВМ:
Анализ и оценка эффективности систем

Реферат:
Программа предназначена для анализа и оценки эффективности систем и (или) одной системы в различные периоды времени её функционирования. Область применения: управление системами и их оценка. Программа выполняет все необходимые расчёты для построения таблиц, систематизации полученных значений корреляционной зависимости показателей функционирования систем, графиков и диаграмм. Программа позволяет сравнивать системы (периоды времени) по результату и (или) показателю функционирования систем, а также по соотношению израсходованных ресурсов и результата. В программе предусмотрено возможность формирования отчётов в формате документов в формате Word, а также визуализации полученных результатов в режиме реального времени.

Язык программирования: Python

Объем программы для ЭВМ: 307 Кб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU 2020610203

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства): 2020610203	Автор: Билятдинов **Камиль Закирович (RU)**
Дата регистрации: **10.01.2020**	Правообладатель: **Билятдинов Камиль Закирович (RU)**
Номер и дата поступления заявки: **2019667310 20.12.2019**	
Дата публикации: 10.01.2020	
Контактные реквизиты: **k01b@mail.ru**	

Название программы для ЭВМ:
Расчет и анализ вероятностных характеристик системы

Реферат:
Программа предназначена для расчета и анализа вероятности отказа (неисправности) определенного количества элементов системы и кумулятивной вероятности на основе исходных данных о вероятности отказа (неисправности) одного элемента. Область применения: моделирование и анализ вероятности отказов заданного числа элементов системы и кумулятивной вероятности. Функциональные возможности: расчет вероятности отказов (неисправностей) задаваемого числа элементов системы и кумулятивной вероятности в зависимости от общего количество отказов элементов в системе; построение и сравнение графиков и таблиц, а также их сохранение и экспорт в Word и(или) в Excel.

Язык программирования: Java

Объем программы для ЭВМ: 324 Кб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU 2019661734

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства):
2019661734

Дата регистрации: **06.09.2019**

Номер и дата поступления заявки:
2019619600 22.07.2019

Дата публикации: 06.09.2019

Контактные реквизиты:
k01b@mail.ru

Автор:
Билятдинов Камиль Закирович (RU)

Правообладатель:
Билятдинов Камиль Закирович (RU)

Название программы для ЭВМ:
Расчет вероятности своевременного достижения цели функционирования системы в неблагоприятных условиях в зависимости от времени принятия и доведения управленческих решений в информационном цикле управления

Реферат:
Программа предназначена для обоснования управленческих решений при обеспечении оперативности управления. Область применения: расчет вероятностно-временных характеристик управления техническими системами в зависимости от числа отказов элементов (изделий) системы. Программа позволяет провести расчет вероятность своевременного достижения цели функционирования системы на основе использования экспериментально полученных данных.

Язык программирования: C#

Объем программы для ЭВМ: 392 Кб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU 2020615328

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства):
2020615328

Дата регистрации: **21.05.2020**

Номер и дата поступления заявки:
2020614034 25.03.2020

Дата публикации: 21.05.2020

Контактные реквизиты:
k01b@mail.ru

Автор:
Билятдинов Камиль Закирович (RU)

Правообладатель:
Билятдинов Камиль Закирович (RU)

Название программы для ЭВМ:
Оценка устойчивости систем

Реферат:
Программа предназначена для оценки устойчивости систем и (или) одной системы в различные периоды времени её функционирования. Область применения: управление системами и их оценка. Программа выполняет расчёты значений показателей качества, влияющих на устойчивость организационно-технических систем: время устойчивого функционирования, ресурсы, количество элементов, количество персонала, трудозатраты, неисправности, возможности системы по восстановлению и результаты восстановления. В программе рассчитывается коэффициент устойчивости, и на основе результатов этих расчетов делается вывод об устойчивости оцениваемой системы в заданный период времени. В программе предусмотрена возможность формирования отчётов в виде таблиц, графиков и диаграмм, представляемых в формате документов Word, а также визуализации полученных результатов в режиме реального времени.

Язык программирования: C#, JavaScript, HTML

Объем программы для ЭВМ: 2,13 Мб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU **2020610335**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства):
2020610335

Дата регистрации: **13.01.2020**

Номер и дата поступления заявки:
2019667308 20.12.2019

Дата публикации: 13.01.2020

Контактные реквизиты:
k01b@mail.ru

Автор:
Билятдинов Камиль Закирович (RU)

Правообладатель:
Билятдинов Камиль Закирович (RU)

Название программы для ЭВМ:
Реализация способа рациональной работы с информационными ресурсами и формирования информационных резервов системы

Реферат:
Программа предназначена для обеспечения рациональной работы пользователей ЭВМ с внутренними ресурсами и внешними информационными ресурсами телекоммуникационной сети Интернет. Также программу целесообразно применять для существенного ослабления негативного влияния информационной избыточности. Область применения: сокращение времени поиска и обработки информации за счет систематизации информации, хранящейся на ЭВМ и(или) сервере. Функциональные возможности: реализация наиболее рационального способа поиск информации, а также формирование информационных резервов системы по требуемой предметной области, состоящей из базы данных, в которой хранится наиболее часто востребованная информация и архива, в который помещается более подробная информация по заданной предметной области.

Язык программирования: Python, JavaScript

Объем программы для ЭВМ: 275 Кб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU 2022619316

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства):
2022619316

Дата регистрации: **20.05.2022**

Номер и дата поступления заявки:
2022615488 23.03.2022

Дата публикации: 20.05.2022

Контактные реквизиты:
нет

Авторы:
Плахотнюк Владлен Александрович (RU),
Королев Владислав Вадимович (RU),
Билятдинов Камиль Закирович (RU)

Правообладатели:
Плахотнюк Владлен Александрович (RU)
Королев Владислав Вадимович (RU)

Название программы для ЭВМ:
Применение модифицированного метода DEA для оценки эффективности оператора связи

Реферат:
Программа предназначена для оценки эффективности работы оператора связи на основе собранных статистических данных: затраты на ведение деятельности, а также полученный результат, который, например, может выражаться в количестве обслуженных клиентов. Оценка осуществляется с применением модифицированного метода DEA. Программа может использоваться в аналитических отделах компаний для построения наиболее эффективной стратегии развития. Функциональные возможности: возможность указания периода, за который будет выставляться оценка; возможность указания статей расходов и результата для каждой системы; расчет рейтинга систем на основе взвешенной оценки; построение корреляционных зависимостей статей расходов и результата. ОС: Windows 10.

Язык программирования: C#

Объем программы для ЭВМ: 145 КБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU 2022619306

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства):
2022619306

Дата регистрации: **19.05.2022**

Номер и дата поступления заявки:
2022618005 22.04.2022

Дата публикации: 19.05.2022

Контактные реквизиты:
k01b@mail.ru

Автор:
Билятдинов Камиль Закирович (RU)

Правообладатель:
Билятдинов Камиль Закирович (RU)

Название программы для ЭВМ:
Оценка качества систем с помощью структурно-функционального моделирования и вычитания матриц значений показателей качества

Реферат:
Программа предназначена для расчета комплексных показателей качества систем методом вычитания матриц значений показателей качества. Матрицы составляются на основе базовой структурно-функциональной модели (в ней выражены требования к значениям показателей качества системы) и реальных структурно-функциональных моделей (в них отражены действительные показателей качества систем). Составляется рейтинг качества систем. Область применения: обоснование управленческих решений по выбору лучших систем и (или) периодов функционирования одной системы. Программа позволяет провести расчет комплексных показателей качества систем, составление рейтинга качества, анализ данных и визуализацию результатов оценки в виде унифицированных табличных форм структурно-функциональных моделей, графиков и диаграмм. Программа может функционировать как кросс-платформенное приложение.

Язык программирования: HTML, CSS, JavaScript

Объем программы для ЭВМ: 115 КБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU 2022660655

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства):
2022660655

Дата регистрации: **08.06.2022**

Номер и дата поступления заявки:
2022619072 09.05.2022

Дата публикации: 08.06.2022

Контактные реквизиты:
Контактный телефон: +79817832413 (Червонецкий Андрей Валерьевич), email: creogen.ac@gmail.com

Авторы:
Червонецкий Андрей Валерьевич (RU),
Ануфриев Артем Олегович (RU),
Билятдинов Камиль Закирович (RU)

Правообладатели:
Червонецкий Андрей Валерьевич (RU)
Ануфриев Артем Олегович (RU)
Билятдинов Камиль Закирович (RU)

Название программы для ЭВМ:
Экспертная оценка систем усовершенствованным методом парных сравнений

Реферат:
Назначение программы: программа предназначена для использования в системах поддержки принятия решений в интересах обоснования рациональных вариантов управленческих решений на основании дистанционного опроса большого количества экспертов. Области применения: проведение дистанционного опроса экспертов с использованием сети Интернет; для обоснования управленческих решений. Функциональные возможности: отправление и просмотр данных с сервера; сохранение данных в виде таблиц и изображений; управление локальными данными. Программа разработана на движке Unity и не хранит персональных данных пользователей. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК. ОС: Windows 10 или выше.

Язык программирования: C#

Объем программы для ЭВМ: 75 МБ

УТВЕРЖДАЮ

Технический директор

_____ А.В. Иванов

«05» 10 2021 г.

м.п.

АКТ

установки программных средств
на объекте вычислительной техники «Комплексный стенд
проведения тестирования программных изделий ресурсного обеспечения»

«05» ноября 2021 г. была проведена установка и настройка следующих программных средств:

№ п/п	Наименование программных средств	Свидетельство о государственной регистрации	Место установки
1	Расчет вероятности своевременного достижения цели функционирования системы в неблагоприятных условиях в зависимости от времени принятия и доведения управленческих решений в информационном цикле управления (автор: Билятдинов К.З.)	№ 2019661734	ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133
2	Реализация способа рациональной работы с информационными ресурсами и формирования информационных резервов системы (автор: Билятдинов К.З.)	№ 2020610335	ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133
3	. Оценка устойчивости систем (автор: Билятдинов К.З.)	№ 2020615328	ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133
4	Оценка качества программных систем с использованием структурно-функционального моделирования (авторы: Билятдинов К.З., Шмыглев А.С.)	Разработано в АО «ЦНИИ ЭИСУ»	ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133
5	Применение модифицированного метода DEA для оценки эффективности оператора связи (авторы: Билятдинов К.З., Плахотнюк В.А., Королев В. В.)		ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133
6	Визуализация классификации технических средств телекоммуникационных систем (авторы: Билятдинов К.З., Кошевский Л.С.)		ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133
7	Экспертная оценка систем усовершенствованным методом парных сравнений (авторы: Билятдинов К.З., Червонецкий)		ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133
8	Структурно-функциональное моделирование оператора связи (авторы: Билятдинов К.З., Николаев В.И.)		ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133
9	Оценка качества систем с помощью структурно-функционального моделирования и вычитания матриц значений показателей качества (автор: Билятдинов К.З.)		ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133

Установка программных средств выполнена в соответствии с технической документацией. В ходе проверки установлено, что программы готовы к эксплуатации.

Главный технолог _____ Е.С. Москалев

«05» ноября 2021 г.

УТВЕРЖДАЮ

Технический директор

А.В. Иванов

«29» декабря 2020 г.

АКТ установки

программных средств на объекте вычислительной техники «Комплексный стенд проведения тестирования программных изделий ресурсного обеспечения».

«29» декабря 2020 года была произведена установка и настройка следующих программных средств:

№ п/п	Наименование программных средств	Свидетельство о государственной регистрации программных средств	Место установки
1	Расчет и анализ вероятностных характеристик системы	№ 2020610203	ПЭВМ №3 с/н 16224053500133
2	Анализ и оценка эффективности систем	№ 2020610389	ПЭВМ №3 с/н 16224053500133

Установка программных средств выполнена в соответствии с технической документацией. В ходе проверки установлено, что программы готовы к эксплуатации.

Зам. начальника отдела ПДИТР и ТЗИ А.М. Царьков

Главный специалист А.К. Моисеенко

V.I. Vernadsky Crimean Federal University

Manuscript copyright

Biliatdinov Kamil Zakirovich

METHODS AND MEANS OF BIG TECHNICAL SYSTEMS' QUALITY ASSESSMENT IN THE PROCESS OF EXPLOITATION

Scientific specialisation: 2.3.1. System analysis, management and information processing, statistics

DISSERTATION

is submitted for the degree of

Doctor of Technical Sciences

Translation from Russian

Scientific consultant:
Degtyarev Alexander Borisovich,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Simferopol – 2023

CONTENTS

Introduction 5
Main part 23
Chapter 1. Analysis of the subject area and thesis statement 23
1.1. Analysis of the object and subject of the research 23
1.2. Analysis of the research problem in relation
to contradictions of operational management of big technical systems 39
1.3. Analysis of methods of assessment of the quality
of technical systems and information reserves of quality assessment 45
1.4. Thesis statement for the development and implementation
of methods and means of evaluation of quality
of big technical systems in the process of exploitation 63
First chapter research findings 78
Chapter 2. Principles, methods and models of evaluation of
big technical systems quality in the process of exploitation 79
2.1. Principles of quality assessment
of big technical systems in the process of exploitation 79
2.2. The method for assessment of the quality
of big technical systems
based on subtracting matrices of indicators 87
2.3. Improved method of paired comparisons 112
2.4. The modified DEA method
for analysis and assessment of the effectiveness
of big technical systems 123
2.5. Mathematical modeling of technical systems
for the purpose of a rational organization of quality assessment
in the process of exploitation 142
Second chapter research findings 153

Chapter 3. Model and methodology of assessment
of the processes of ensuring of the stability
and probabilistic characteristics of big technical systems ……..……... 154
3.1. The methodology for analysis and assessment
of the probability of a big technical system's
non-performance of its functions in the process of exploitation ……..... 154
3.2. Methodology of assessment
of the probability of achieving the goal of the system functioning…….....….. 168
3.3. Big technical system sustainability model …….. 173
3.4. Methodology for the analysis and assessment
of the processes of ensuring of the stability of big technical systems ..……. 187
Third chapter research findings ……..……... 199
Chapter 4. The methodology for assessment of the quality
of components of a big technical system based on complex indicators
and rules of logical output within their expert paired comparison …….…... 200
4.1. Purpose, restrictions, assumptions
and algorithms of the methodology …….. 200
4.2. Stages of the methodology …….……... 204
Fourth chapter research findings ……..……...……... 229
Chapter 5. Models and algorithmic support
of decision-making systems when accompanied
by big technical systems in the process of exploitation ……...… 230
5.1. Support model for technical systems in the process of exploitation ...…….. 230
5.2. Means of rational work
with information resources of big technical systems …… 242
5.3. Analysis of the results of the implementation
of the methods and means and recommendations for their application …….... 256
Fifth chapter research findings ……...……...……. 272

Conclusion ……...……....…. 273
List of abbreviations and conventions ...……...……..… 277
Bibliography ……...…. 278

Appendix A. Examples of calculations and application of computer programs …….. 301

Appendix B. Acts of the implementation of the results of the
dissertation research, acts of the computer programs installations and
state registration ……....……..…….....347

INTRODUCTION

Relevance of the research topic

In the dissertation, big technical systems (hereinafter referred to as BTS) are complexes of the main production and auxiliary subsystems (elements) functioning within the framework of one technological process to achieve a single goal. BTS can function on the scale of the enterprise, organization, industrial region, production cluster, infrastructure of the region, etc. Today, the BTS examples are: industrial enterprises, agro-industrial complexes, systems and communication lines, information and computing centers and computer networks, transport facilities and transport systems, objects of the fuel and energy complex, etc.

At the end of the twentieth century and at the beginning of the 21st century, the importance of improving management and making decisions in order to increase the effectiveness of the functioning of the BTS has significantly increased throughout the world. This happened due to the widespread use of information technologies, increasing the availability and volume of processed information, as well as a high degree of automation of management and production processes in these systems while increasing the requirements for reducing resources and time to make rational management decisions at the stage of exploitation of the BTS.

In turn, the adoption of such decisions is based on the assessment of the quality of the BTS and (or) assessing the quality of subsystems (elements, technical products) in their composition. Hence, an objective need arises in the development of new scientifically based methodological, technical, technological solutions by creating new and improving existing methods and means of evaluating quality, processing information in the management of BTS.

At the same time, given the fact that the effective and sustainable exploitation of the BTS is important for the economy of the Russian Federation, the development and implementation of these decisions is of particular relevance and makes a significant contribution to the development of the country.

Modern BTS combines a similar composition of technical means management and auxiliary technical subsystems: automated control systems (ACS), communication systems, life support systems, technical security systems (TSS), power supply systems, etc., as well as the possibility of using unified generalized quality

indicators and methodological approaches to quality assessment. With all the functional diversity of the main production subsystems determined by their purpose, the structure of the BTS will consist of the control subsystem, the main production and auxiliary subsystems (hereinafter - technical systems).

In the dissertation, the quality of the BTS is a set of properties of technical systems in their composition (including the properties that manifest during the joint exploitation of these systems), which determine the suitability to satisfy certain needs in accordance with the purpose and purpose of the BTS functioning.

The effectiveness of BTS is a complex integral property depending on the quality of technical systems (quality of elements, products) in its composition.

Assessment of the quality of BTS and (or) subsystems, elements, technical products in their composition (hereinafter – systems) includes the choice of indicators, determination of their actual values, comparing them with basic indicators (requirements), and, if necessary, determination (clarification) of these basic indicators (requirements), given the specifics and conditions of the BTS functioning.

An objective and complete assessment of the quality of the BTS is mainly possible in the process of exploitation. At this stage of the life cycle, it is especially important to assess the quality of the systems in the shortest possible time, which will allow the person who makes decisions (hereinafter – the LPR) to make timely and reasonable managerial decisions.

For this, officials of the BTS governing bodies (hereinafter – DL) solve the following main tasks:

1. Evaluation of the quality and justification of the choice of the best BTS (BTS model) from many similar systems or the best period of the functioning time of one BTS assessed.

2. Expert assessment of systems involving a large number of various expert experts (including in remote mode), also mainly for a reasonable choice of the best system, and sometimes for choosing the best resources for the exploitation of BTS.

3. Analysis, assessment of the effectiveness of the BTS and the rationale for the

management decision to increase (ensure) the effectiveness and efficiency of systems.

4. Analysis and assessment of the probability of not the implementation of the BTS (or elements of the BTS) of their functions in the process of exploitation.

5. Analysis and assessment of the processes of ensuring the stability of the BTS in adverse conditions.

6. Assessment of the quality of the components of the BTS (technical systems) operated in the BTS, and the rationale for the choice of the best system (resource) to ensure the required efficiency of exploitation of the BTS.

7. Reducing time and (or) resource consumption when assessing the quality of BTS and information processing.

8. Analysis and processing of the evaluation results and their representation of the LPR in the form of a timely and reasonable management decision convenient for making.

The effective implementation of these tasks determines for DL the need to receive and process a large amount of information coming from various sources in conditions of uncertainty, since the development of modern technologies has led to the fact that most of the systems that make up the BTS have analogues, including according to operating conditions. The bulk of such information is posted on external information resources, including the Internet information and telecommunication network.

This is especially true for life support systems, TSS, control systems access control (SAC), power systems, various alarm systems (including fire alarm and fire extinguishing systems), warning systems, ACS and communication systems, etc. It is obvious that the efficiency and stability of the functioning of the BTS directly depends on the quality of these systems. From this we can conclude that the assessment of the quality of the BTS should be based on the fulfillment of a prerequisite for the rational use of large amounts of information obtained from various sources.

In turn, an increase in the volume of information and the number of sources of information will lead to a significant increase in the consumption of time and resources. Additionally, advanced training of the LPR and personnel conducting and ensuring the adoption of managerial decisions will be required. The above circumstances do not fully

use the tested methods for evaluating effectiveness and quality, which significantly complicates the adoption of timely management decisions at the stage of exploitation of the BTS.

Thus, today it is possible to reasonably formulate an urgent **problem**, consisting in the need to resolve the prevailing contradictions between the increasing volume of heterogeneous sources, the dynamics of structured and unstructured data on the BTS and the objective need to make timely management decisions based on the assessment of the quality of the BTS in the process of exploitation and with limited resources.

In modern conditions, this problem increasingly affects the effectiveness of the functioning of the BTS, since in conditions of adverse external influences, the negative effect of the adoption of untimely and (or) unreasonable (subjective) management decisions, due to which the time of exploitation of systems is reduced, increases the consumption of resources, increases, increases. The number of malfunctions (failures) of the systems operated in the BTS, and also significantly increases the likelihood of emergency situations in the process of exploitation of the BTS.

Existing traditional approaches to solving this problem are based on an increase in the number of DL (managerial personnel) and (or) the number of software and hardware controls. In turn, this increases the costs of managing the BTS and in most cases increases the time of adoption of management decisions, since the time of transmission and processing of information increases. At the same time, the validity of managerial decisions will mainly depend on the competence and objectivity of the LPR and DL BTS.

Therefore, in the dissertation, it is proved that, unlike the traditional approach, the solution or significant weakening of the negative impact of the above-relevant problem is possible by a comprehensive approach to the development, improvement and implementation of methods and means of evaluating the quality of BTS in the process of exploitation (hereinafter – methods and means) that allow you to when making managerial decisions, to assess the quality of technical systems for the minimum time with minimal costs of resources, when fulfilling a prerequisite for rational use to assess the quality of these systems of large volumes of various information obtained in the

process of exploitation from various sources. Increasing the requirements for BTS enhances the relevance of the development and improvement of methods and methods as a set of scientifically based methodological, technical and technological solutions, which in the future will make an increasingly significant contribution to the development of the country.

From a practical point of view, methods and methods will be an organized set of principles, methods, means, models, methods and programs for computers, and from theoretical, the foundations of the doctrine of the organization of activities in the field of methodological, mathematical and software assessment of the quality of technical systems that are part of the composition of the BTS.

Extent of previous research

The problems of quality assessment, efficiency, reliability, sustainability of complex systems, improving management and processing information were engaged in many – scientists:

- V.S. Avduevsky – efficiency and reliability in technology;

- G.G. Azgaldov, A.V. Glychev – methods of qualimetry;

- R.L. Ackoff – study of systems and the theory of operations;

- W.Cooper, A. Charnes and M.J. Farrell – comparative analysis, assessment of the effectiveness of complex systems and the DEA method (Data Envelopment Analysis);

- S.D. Belev, F.G. Gurvich – mathematical and statistical methods of expert assessments and processing of expert information;

- Douglas Taylor Ross – methodology SADT (Structural Analysis and Design Technique), IDEF (I-CAM DEFinition или Integrated DEFinition), ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing)

- V.N. Volkova – management and system analysis;

- F.R. Gantmacher – theory of matrices;

- V.A. Gorelik – decision-making models and risk assessment;

- W.E. Deming – management, statistics, methodology for decision-making in quality management;

- A.I. Diveev – computational methods for solving management problems;

- A.A. Bustarin, A.I. Kostogryzov – system engineering, risk-oriented approach and quality of information in complex systems;

- A.M. Lyapunov – the theory of stability of systems;

- L.S. Pontryagin – theory of optimal management;

- M.F. Rosin – statistical dynamics and theory of system effectiveness;

- T.L. Saaty – study of operations and method of hierarchy analysis;

- I.N. Sinitsyn – stochastic CALS technologies (Continous Acquisition and Life Cycle Support);

- A.V. Shestakov – modeling, risk assessment and information processing;

- I.F. Shishkin – assessment of quality and probabilistic characteristics of systems;

- W. E. Shukhart – statistical methods for evaluating, processing and presenting statistical information, quality control;

- B.S. Fleischman – systems of systems and potential efficiency of systems;

- Duddy C., Piggins A., Men J., Chen G., Chen P., Zhou L. – methods of multicriterial optimization and the application of the Pareto criterion;

- and many other scientists.

In conditions of uncertainty arising in the process of exploitation of the BTS, the results of these most important scientific papers are individually not applicable for the implementation of an integrated approach when performing the above five main tasks of assessing the quality of the BTS in the framework of solving or significant weakening of the negative impact of the research problem.

Therefore, the results of scientific works of these and many other scientists were the theoretical basis of the dissertation research, but are not directly applicable as methods and means of assessing the quality of the BTS in the process of exploitation, due to the lack of a sufficient extent developed by the scientific and methodological apparatus, taking into account the specifics of the exploitation of modern BTS and the requirements for the requirements for Increase the efficiency of BTS management.

All of the foregoing substantiates the relevance of the development and

implementation of a complex of scientifically based methodological, technical and technological solutions, as well as the choice of the topic of the dissertation.

Object of study – is big technical systems and improve management and decision making in order to increase the efficiency of the functioning of big technical systems.

Subject of study – methods and means for evaluating the quality of big technical systems in the process of exploitation, as a set of scientifically substantiated technical, technological and methodological solutions that make a significant contribution to the development of the country.

The purpose of the dissertation – improving management and making decisions during the exploitation of big technical systems due to a significant reduction in time and resources for assessing the quality of big of technical systems by developing, improving and implementing the methods and means of quality assessment.

The work is based on **the hypothesis**: the introduction of methods and means will reduce the time of adoption of reasonable management decisions in the context of increasing the amount of information used to assess the quality of the systems operated in the BTS.

To achieve the goal and verify the correctness of the hypothesis, the following were set and resolved **tasks of the dissertation:**

1. The analysis of the object and subject of the study was carried out. The concepts of BTS information reserves and the main universal indicators of the quality assessment of systems, which are most affecting the effectiveness of the functioning of the BTS, are determined.

2. Analysis and systematization of methods for evaluating quality and modeling potentially applicable during the exploitation of the BTS.

3. The analysis of the problem of research was carried out in relation to the contradictions of the exploitation of the BTS in the modern world. The research problem was carried out.

4. The principles of the development, improvement and implementation of methods and means (hereinafter referred to as the principles) are formulated. A method for

assessing the quality of BTS is developed by subtracting matrices of the values of quality indicators. The matrices are based on the construction and comparison of the basic and real structural-functional models (hereinafter – the SFM) of the system. A computer program has been developed that implements the quality assessment of systems by subtracting matrices. The DEA (Data Envelopment Analysis) method is modified and improved method of paired comparisons for assessing the quality of systems. Based on the cybernetic approach, a dynamic BTS model was developed to rationally assess the quality of the systems operated in its composition.

The principles, methods and models constitute the theoretical part of the study, as a set of new scientifically substantiated methodological decisions in the field of improving management and making management decisions. The theoretical part served as the basis for solving the problems of the practical part of the dissertation.

5. Based on the dynamic model of the BTS, a model for supporting systems in the process of exploitation was developed and implemented as a technological solution to improve the management of the exploitation of the BTS.

6. Based on the modified DEA method, a methodology for assessing the effectiveness of systems (methodological solution), as well as computer programs that implement this technique, a technical solution, was developed and implemented.

7. The model for ensuring the stability of the BTS has been developed and implemented, which allows you to simulate changes in the quantitative values of the main indicators of the quality assessment of the BTS, depending on the results of destructive influences (methodological solution).

8. Based on the control model of the BTS, the methodology for the analysis and assessment of the processes of ensuring of the stability of big technical systems (methodological solution) and a computer program, which implement this methodology (technical solution), have been developed and implemented.

9. A comprehensive methodology for assessment of the quality of components of a big technical system based on complex indicators and rules of logical output within their expert paired comparison (methodological solution) using the improved method of paired

comparisons was developed and implemented. A computer program has been developed to assess the quality of systems through an improved method of paired comparisons, used in a remote survey of experts on the Internet.

10. Methods of assessing the probabilistic and temporal characteristics (hereinafter referred to as the PTC) of the BTS, depending on the probability of failure of the systems in their composition (methodological solution), as well as computers, implementing these methods (technical solutions), have been developed.

11. Means and algorithms of rational work with BTS information resources (hereinafter referred to as a means) is developed and implemented – a technological solution, as well as a computer program that implements this method (technical solution).

12. The results of the implementation of methods and means are evaluated. Recommendations on the rational application of methods and means have been formulated, including the formation of integration reserves of increasing the efficiency of the BTS.

Scientific novelty. For the first time, the contradictions of the control of the BTS were systematized and the problem of assessing the quality of the BTS in the process of exploitation was formulated.

New scientifically based methodological, technological and technical solutions in the field of improving the management of BTS and adoption of management decisions based on the results of the assessment of the quality of systems are proposed.

The unified methodological base has developed the principles and the method of evaluating quality based on subtracting matrices and SFM, as well as a cybernetic approach in modeling the dynamics of system exploitation, improved methods that allow evaluating the efficiency and quality of systems in the process of exploitation.

Universal models and techniques have been developed that can be used both separately and in a complex, which open up promising directions of improving systems.

The method and algorithms has been developed in order to significantly reduce time and resources to evaluate quality and preparation of management decisions and for the formation of BTS information reserves.

Theoretical and practical significance of the results

Theoretical significance of the results

Studied and systematized at the four levels of contradictions for the management of modern BTS: personal, social, technical and organizational and technical. The introduction of methods and means is in demand at the technical and organizational and technical levels. The principles are formulated and substantiated. The main universal indicators of evaluation of the quality of systems are determined and systematized.

In the method for assessment of the quality of big technical systems based on subtracting matrices of indicators (hereinafter – matrices): unified tabular forms structural and functional models (hereinafter – SFM) of the BTS, the rules for compiling and subtracting matrices.

The BTS sphere describes the participation of systems in the performance of the BTS functions, their number and quality indicators, which are assigned depending on their significance to ensure the effective functioning of the BTS.

The formula for calculating the integrated quality indicator of the functioning of the BTS was developed, taking into account the priorities of many indicators and the results of subtraction of matrices established in the basic SFM.

The method of paired comparisons has been improved by systematizing the rules of logical conclusions applicable to software implementation of automatic processing of expert information.

The formulas of verification values are displayed and applied and applied the paired comparison method: the control number of the amount of points, as well as the minimum and maximum possible quantitative values (the amount of points for one system and the quality factor of the system). A test of verification values was developed for verification for the consistency of the results obtained.

The DEA method is modified. Unlike the classic DEA method, the modified method has developed formulas for calculating the values of complex performance indicators, efficiency and efficiency of systems, taking into account their basic (required) values, as well as tabular forms for the systematization of the results of correlation

dependence, and the limit values of quality indicators (veto coefficient are introduced).

In the methodology for assessing the effectiveness of systems, the foundations of the improved method of paired comparisons and the modified DEA method are implemented. The procedure for calculating the values of indicators and the preparation of the performance rating of systems when using the Basic SFM BTS is determined.

The dynamic model of the BTS reflects the dependence of the change in time parameters and the consumption of resources for exploitation on the influences of the external environment and management decisions made.

The dynamic model of the BTS is designed on the basis of a cybernetic approach, taking into account the space of metrics of quality indicators.

When using the dynamic model in the system of supporting systems in the process of exploitation, the most rational role and place of assessment of the quality of systems are determined, the maintenance schemes, interaction were developed, the quality assessment and decision-making algorithm, as well as formulated and described types of possible management decisions based on the results of quality assessment in the relationship with the relationship the cost of time and resources for their implementation.

The BTS stability model is described as a set of systems affecting the stability of its functioning. Indicators of the quality assessment of systems affecting the stability of the BTS are determined. Formulas and interconnected tabular forms have been developed, including metric of quality indicators, to describe the state of stability of the BTS in adverse conditions.

On the basis of a sustainability model in the methodology for the analysis and assessment of the processes of ensuring of the stability of the BTS, the dynamics of the process of ensuring the sustainable functioning of the BTS were developed, to compile a sequence and formulas for calculating the stability coefficient and the formulas of the necessary conditions for the sustainable functioning of the BTS. Criteria for the stability of the BTS are determined depending on the required number of systems operated in the BTS.

In the methodology for analysis and assessment of the probability of a big technical

system's non-performance of its functions in the process of exploitation, an indicator of quality assessment is introduced – the probability of a simultaneous failure (malfunction) of a given number of systems in which the functioning of the BTS is violated. The indicator is calculated using an improved formula derived on the basis of the law of binominal distribution for sampling with a refund.

In the methodology for assessment of the quality of components of a big technical system based on complex indicators and rules of logical output within their expert paired comparison, the stages of the methodology are defined, which have developed algorithms and formulas for calculating the standardized weight coefficients of quality indicators, complex quality indicators and tabular forms for the most rational execution of calculations and processing statistical and expert information using the author of paired comparisons.

The means of rational work with information resources (IR) BTS defines the structure and content of the IR BTS in the form of a database of basic information about the system and archive, which provides for accounting and identification of information sources.

The algorithm of work with information resources, the IR BTS organization, registers of information sources and systemic-technical solutions in the form of comprehensive application of computer programs developed by the author were developed.

Practical significance of the results

The principles and models provide for three areas of application of methods and means: improving exploitation and technical support (TO) systems, use in the research and development work (NIOKR or R&D) in the modernization of systems and creating new systems, in the preparation of personnel for exploitation and the BTS.

This allows you to apply a systematic approach for the most rational assessment, taking into account the specifics of the BTS, which, in combination with IR BTS, helps to reduce the risk of BTS due to the timely adoption of justified management decisions.

Models and methods served as the basis for the creation of methods and algorithms, the software implementation of which made it possible to significantly reduce the costs of time and resources for assessing the effectiveness and quality of systems and the timely adoption of managerial decisions based on the results of the assessment.

The method for assessment of the quality of big technical systems based on subtracting matrices of indicators can significantly reduce the time of comprehensive assessment of the BTS (or periods of exploitation time) without the cost of additional resources. SFM BTS and the quality rating of BTS contribute to the identification of shortcomings and making reasonable management decisions for their timely elimination. The developed algorithms and a computer program allow us to rationally apply this method in practice for assessing BTS for various purposes.

The use of the basic and real SFM BTS provides for accounting for the specifics, the required level of detail of the functions of the BTS and acts as the basis for using the methodology for assessing stability, the methodology for assessing the probabilistic characteristics of systems and a comprehensive methodology for assessing the quality of systems.

The advanced method of paired comparisons has a necessary versatility for a comparative assessment of various systems.

The program implementation of the method allows you to remotely involve a large number of experts (when using computer networks), significantly reduce the time of processing of expert information, counteract the input of false information and keep records of information sources used by experts.

The modified DEA method and the methodology for evaluating the effectiveness of systems together with the computer program “Analysis and assessment of systems effectiveness” reduce the time to evaluate the effectiveness and efficiency with the required details of the spent resources and the result, and also allow analyzing the correlation dependence of all the variables used and compile a rating of efficiency systems.

The methodology for analysis and assessment of the probability of a big technical system's non-performance of its functions in the process of exploitation together with the computer “Calculation and analysis of the probabilistic characteristics of the system” allows you to save the time and resources of the BTS and evaluate the probabilistic characteristics of the simultaneous failure (malfunction) of a given number of systems (elements, products) in the BTS.

The model for ensuring the stability of the BTS allows you to analyze the changes in the stability of the BTS in adverse conditions of operation and the influence of the quality of systems in the BTS on stability and effective functioning.

Methodology for the analysis and assessment of the processes of ensuring of the stability of the BTS together with the system for computer program “Assessment of systems stability” allows you to calculate the coefficient of stability of the BTS in the process of exploitation in adverse conditions and evaluate the stability of the BTS, based on the consumption of time and resources to restore the functioning of the required number of systems (elements, products) in the BTS .

The methodology for assessment of the quality of components of a big technical system based on complex indicators and rules of logical output within their expert paired comparison allows you to significantly reduce the time of quality assessment using statistical and expert information obtained from various sources without the cost of additional resources. The technique contributes to the maintenance of IR BTS in the current state and register of information sources.

The substantiation and detail of the quality rating of systems provide the LPR with the ability to choose the best system for operation as part of the BTS in the required conditions.

The presence of feedback allows you to evaluate the effectiveness of the decisions made using a computer program “Analysis and assessment of systems effectiveness”.

The model of support for systems in the process of exploitation allows the LPR and officials BTS to rationally organize the work on improving and developing systems based on the effective application of methods and means.

The evaluation algorithms developed within the framework of this model and the interaction organization scheme in the process of quality assessment provide a reduction in the assessment time in the context of increasing the volume of information used.

A means of rational work with information resources (hereinafter referred to as a means), together with the computer program “Realization of the means of rational processing of information resources and formation of information reserves of a system” provides the systemic and integrated use of IR BTS, methods, models, means, algorithms and computer programs.

Thus, a significant reduction in the consumption of time and resources for quality assessment and information processing in the preparation of managerial decisions is ensured. The means is applicable in paper and electronic document management, that is, it can be an additional factor in ensuring the stability of the BTS control system.

The dynamic model of the BTS, the system of supporting systems and the means act as models and algorithmic support of decision-making systems when accompanied by big technical systems in the process of exploitation and contribute to the organization of constant quality control of systems during operation and then, and are the basis for the proactive control of the BTS.

The system of supporting systems and the method contribute to the organization of constant control of the quality of systems in the process of exploitation and then, and also act as the basis of the proactive control of the BTS.

Methodology and research methods. The methodological basis of the study is the methods of the general theory of systems, the classical theoretical and nominal apparatus, the theory of matrices, the methods of system analysis and synthesis, and the methods of system engineering. The method of paired comparison, the DEA method, the methods of group expert assessments, statistical methods, methods of modeling and the use of a cybernetic approach. SADT methodology and IDEF0 standard.

The main scientific result. The principles, methods, models, means, methods, algorithms and computer programs designed to assess the quality of the BTS in the process of exploitation were developed and implemented, and characterized by the fact that based on the synthesis of the structural-functional architecture of the BTS, the analysis and distribution of structured and non-structured data about BTS (systems in their composition), a set of bundle of normalized metrics of the characteristics of the essential properties of the BTS in the dynamic operating conditions is formed, taking into account limited resources to make managerial decisions that increase the effectiveness of the functioning of the BTS.

The main statements to be defended:

1. The method for assessment of the quality of big technical systems based on subtracting matrices of indicators.

2. The modified DEA method for analysis and assessment of the effectiveness of big technical systems.

3. The methodology for analysis and assessment of the probability of a big technical system's non-performance of its functions in the process of exploitation.

4. The model and methodology for the analysis and assessment of the processes of ensuring of the stability of big technical systems.

5. The methodology for assessment of the quality of components of a big technical system based on complex indicators and rules of logical output within their expert paired comparison.

6. Models and algorithmic support of decision-making systems when accompanied by big technical systems in the process of exploitation.

Degree of reliability of the results

The validity of scientific provisions, recommendations and conclusions is determined by the correct use of tested methods and models, preliminary statistical analysis of the results of assessing the effectiveness of the application of the method and methods, as well as the consistency of the modeling results.

The reliability of the provisions and conclusions of the dissertation is confirmed by 11 positive acts of introducing the main results of the dissertation and 2 acts of installation of computer programs.

Practical value and implementation of the results of the work

The scientific results obtained in the dissertation are brought to practical use in the exploitation of the BTS.

They are of immediate interest in assessing the effectiveness and quality of systems, the preparation of managerial decisions, ensuring the stability of BTS for various purposes, comprehensive improvement of management and making decisions in order to increase the efficiency of functioning.

In accordance with the 11 acts of introducing the results of the dissertation research and the 2 acts of the installation of computer programs, developed and improved methods, the developed method, models, methods, algorithms and computer programs were tested and implemented for practical use in the BTS, and are also used in the training of personnel in higher educational institutions.

Work approbation. The content of the dissertation was reported and received approval at 15 scientific conferences (2013-2022).

The dissertation corresponds to paragraphs 3, 5, 11 and 13 of the passports of the scientific specialty 2.3.1. System analysis, management and information processing, statistics.

A set of scientific provisions, ideas and practical results of a dissertation research, presented in the form of a complex developed by the author of new scientifically based technical, technological and methodological decisions in the field of improving management and making decisions in order to increase the efficiency of BTS functioning, which makes a significant contribution to the development of the country.

The author's personal contribution is to formulate and justify the problem of research and find the rational way to solve it or significant weakening of the negative impact on the effectiveness of BTS management, which consists in the development and implementation of methods and means, as a set of scientifically substantiated technical,

technological and methodological solutions that make a significant contribution in the development of the country.

All scientific results were obtained by the author independently.

Publications

On the topic of the study, the author (co-author) and the copyright holder of 8 computer programs (of which without co-authors – 6 computer programs) were registered as an author and co-author of 40 scientific articles in 15 pended scientific publications according to the VAK list (including Scopus, Web of Science, RSCI and Rins' Nucleus): a total volume of 15.98 pp. - the personal contribution of the author 14.52 pp. (of these, without co-authors, 16 scientific articles on the VAK list were published).

The structure and volume of the dissertation

The work consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of literature containing 217 sources, and two appendixs: A “Examples of calculations and application of computer programs” and B “Acts of the implementation of the results of the dissertation research, acts of the computer programs installations and state registration. "

The volume of the dissertation without applications is 300 pages.

The total volume of the dissertation with applications is 370 pages.

MAIN PART

Chapter 1. Analysis of the subject area and thesis statement

1.1. Analysis of the object and subject of the research

The development of production forces for two decades of the 21st century showed that the adoption of timely rational management decisions based on the assessment of the quality of the systems that make up the BTS plays a crucial role in ensuring their effective functioning. Modern BTS, regardless of purpose, is united by the fact that their composition contains the same organized set of systems operated in various conditions: SAC, communication systems, life support systems, TSS, power systems, automation systems of technological processes, ACS, various signaling systems etc. (figure 1.1.1).

The specifics of the functioning of the BTS requires the analysis of the subject area as part of the performance of the research tasks, taking into account the functional diversity of the systems in their composition (figure 1.1.1) [36, p. 199-200].

Analysis of the generalized composition of the BTS (fig. 1.1.1) shows their structural and functional diversity. BTS consists of a large number of interconnected and interacting elements. Therefore, when evaluating quality, it is necessary to additionally take into account the quality of certain types of equipment and equipment that have analogues in other systems. First of all, this applies to various hardware-software complexes and automation tools, which are part of most modern BTS, including their production subsystems.

This condition is explained by the fact that at the end of the twentieth century and at the beginning of the 21st century there was a significant increase in the volume and speed of information processing due to the development of information technology [28, p. 40].

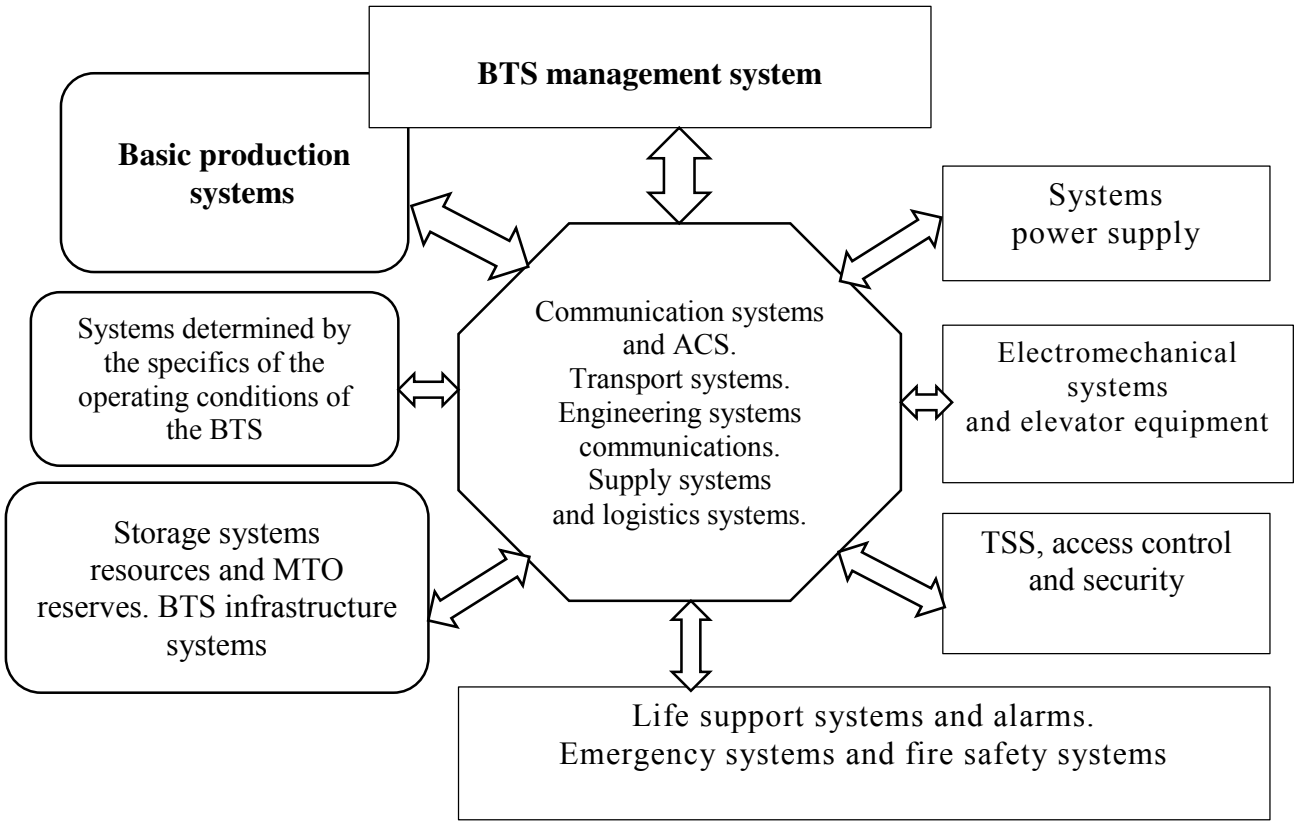


Figure 1.1.1. The main typical technical systems operated as part of modern BTS, and the connections between them

This served as one of the reasons for increasing the degree of influence both between the elements within any BTS and with interacting systems in the BTS (fig. 1.1.1) and with the external environment as a whole. These circumstances demanded a systematic approach to the process of making a managerial decision and a more complete account of its consequences in the future.

At the same time, in the second decade of the 21st century, the development of information technologies, modern communication systems, software and hardware used in the process of providing management, served as the basis for improving the quality of managerial decisions.

However, information technologies perform ensuring functions when making a decision and cannot replace the actions of officials (DL) BTS [28, p. 40].

Therefore, in the interests of achieving the goal of research and for the formation of unified methodological approaches to assessing the quality of the BTS, its structure (S_{BTS}) is advisable to describe as an organized set of elements (systems) and connections between them arising in the process of exploitation (fig. 1.1.1) and, accordingly, accordingly, present in the form of many systems (N) and connections (C):

$$S_{BTS} = \{N_{j.i},\ C_{l.h};\ \ j=1,j;\ i=1,I;\ l=1,L;\ h=1,H\},$$

$N_{j.i}$ – many different types (purpose) systems operated in the BTS;

$C_{l.h}$ – many different types (purpose) of relations between these systems;

i – designation (sign) of the type of system in the BTS;

j – the amount of i-type (purpose) of systems in the BTS;

h – designation (sign) of the connection between systems;

l – is the number of h-bonds between the systems.

In turn, the properties of systems and connections arising in the process of exploitation are expressed by the values of quality indicators. The timeliness, reliability, consistency and accessibility of this information directly affects managerial decisions made during the exploitation of the BS.

Additionally, it is necessary to take into account the special specifics of the BTS evaluated (differences from other complex systems) [21, 23, 41]:

- the increased significance of the stability of their exploitation and the effective functioning of the BTS for the country;

- the BTS studied are unique both in composition of technical systems and in the variety of their functional purpose;

- a variety of arrangement options, natural and geographical conditions affecting the exploitation of systems;

- BTS are stationary and are created for decades of exploitation;

- dislocation of most BTS near or in cities with the need to use the infrastructure of cities and labor resources;

- BTS can be double-purpose objects, including metro of large cities, enterprises and the organization of defense industry, etc.;

- as a rule, the presence of a developed network of internal communications (underground, ground and air) large lengths, as well as very significant amounts of stocks of material resources (resources) for exploitation;

- the dependence of the BTS on interaction with other external BTS, the work of transport infrastructure, etc. [24, p. 152].

Therefore, the known methods of quality assessment (will continue to be considered in paragraph 1.3 of the dissertation) fully not rationally used at the stage of exploitation, due to the special specificity and uniqueness of the BTS and systems studied in their composition (fig. 1.1.1).

In order to form the unified methodological foundations, it is advisable to represent the studied BTS in the form of one class of complex systems, that is, in the form of a set of many objects that have the following features of the following characteristics of the following features [68, p. 106]:

1. In interaction with the external environment – open systems.
2. In structure – complex systems.
3. By the nature of the main functions – specialized.
4. By the nature of development – developing (subject to modernization).
5. According to the degree of organization – well organized.
6. By the nature of the connection between the elements – deterministic.
7. By the nature of the management structure – centralized.
8. By purpose – manufacturing products, goods, services.

Moreover, the above features will simultaneously act as signs of community.

It is important to note that today the methods and means of evaluating the quality of systems are relevant and in demand in CALS technologies (Continous Acquisition and Life Cycle Support), that is, when ensuring continuous information support of supply and the life cycle of technical systems operated as part of the BTS [144].

Thus, the special specificity of the BTS assessed determine the uniqueness of the methods developed and methods, taking into account the need for more complete and rational use of information obtained by the results of the exploitation of systems as part of the BTS. Additionally, it is important to note that the structural and functional variety of systems (fig. 1.1.1), as well as the possible presence of more effective analogues determine the requirements for the universality of the methods developed and methods that can take into account the specifics of the exploitation of each BTS [24, 35, 36]. During the operation of LPR systems, a large amount of information is obtained about the quality of systems coming from various sources. A certain (insignificant of the total volume) part of this information is mainly used to evaluate the capabilities of BTS and planning technical support (hereinafter – TO).

According to the subjective opinions of the LPR and officials of the governing bodies, this information can be used to make managerial decisions in the interests of ensuring effective functioning [25, p. 428].

Based on the foregoing, it is logical to present the results of a comparative analysis of the existing state of affairs in the field of assessing the quality of technical systems in the process of exploitation as part of the BTS and modern requirements in the form of a scheme in figure 1.1.2.

At the same time, today there is a situation when large volumes of current and valuable information about the systems received over decades of operation of the BTS, on which very significant resources and time have been spent.

However, in the interests of assessing the effectiveness and quality of BTS in the process of exploitation, this information is not used in full and not quite rationally. In modern conditions, it is vital to maintain the required level of effectiveness of the functioning of the BTS, which means that modern requirements for evaluating quality systems in these BTS are objectively increasing (fig. 1.1.2). Therefore, it is so relevant to use the information.

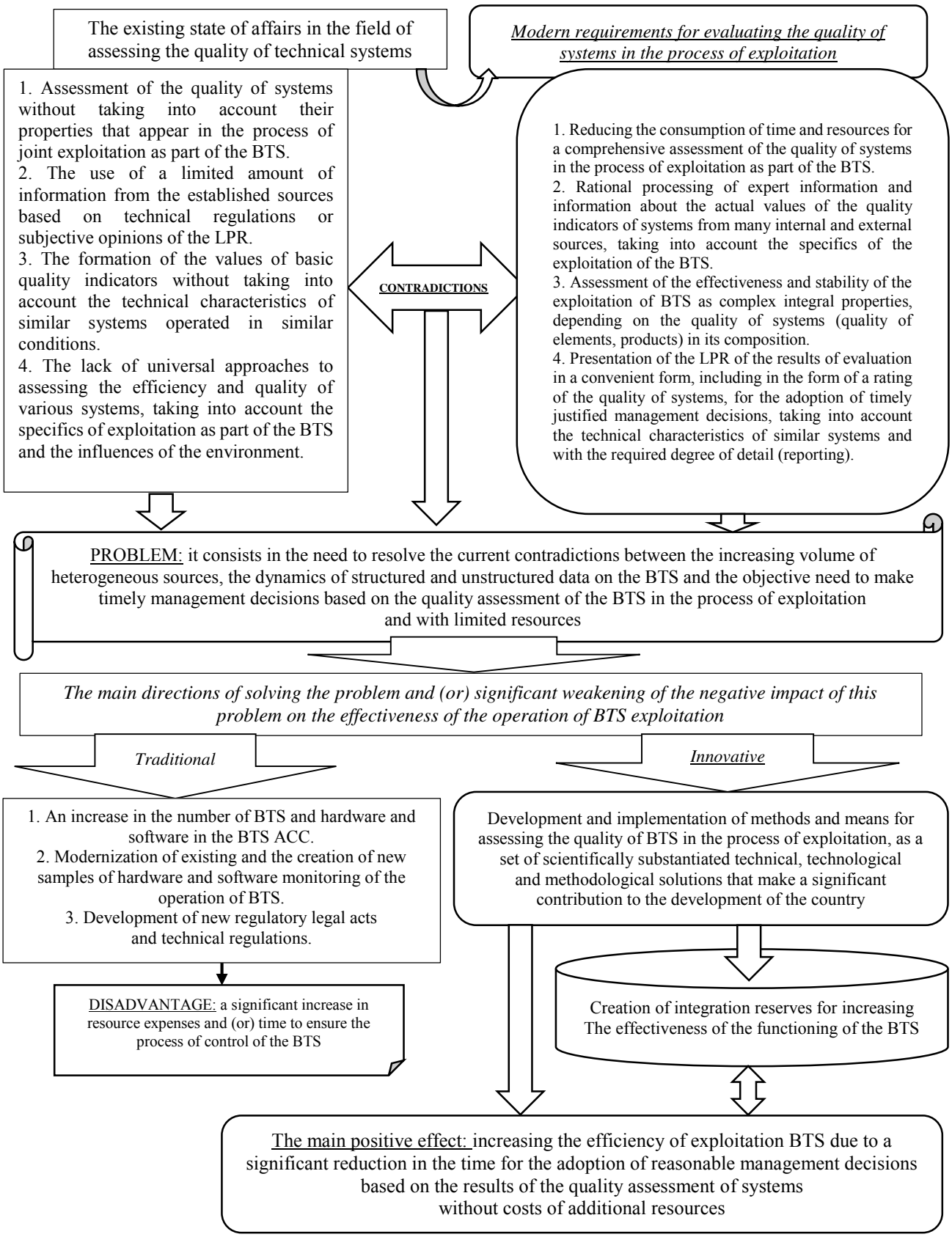


Figure 1.1.2. Generalized results of comparative analysis the existing state of affairs in the field of assessing the quality of technical systems when exploitation as part of BTS and modern requirements

Today, state standards describe and systematize the requirements and recommendations in the field of stages (stages) and life cycle processes applicable to BTS for various purposes:

- GOST R 15.000-2016. “System for the development and production of products for production (SRPP). Basic provisions.”;

- GOST R 57193-2016. “System and software engineering. Systems of the life cycle of systems.";

- GOST R 56936-2016. “Production services. Technical security systems. Stages of the life cycle of systems. General requirements.";

- GOST R 53393-2017. “Integrated logistics support. Basic provisions ";

- GOST R ISO 10303-239. “Production automation systems and their integration. Presentation of data on the product and the exchange of these data. Part 239. Applied protocols. Support for the life cycle of products.";

- GOST R ISO 18435-1-2012. “Industrial automation systems and integration. Integration of applications for diagnosis, evaluating capabilities and maintenance. Part 1. Review and general requirements.”, etc.

With regard to the BTS, the stage of exploitation will usually be the longest - a length of several decades, and for some industrial enterprises the stage of exploitation lasts more than a hundred years.

The effective fulfillment of the requirements of state standards and other legal acts will require obtaining timely, reliable, complete and consistent results of quality assessment.

Information on the process of operating the BTS, including the results of quality assessment, is used at subsequent stages (for example, when making decisions on modernization and (or) on the disposal of the system), as well as when creating (modernization) similar to BTS, for example, in the formation of a plan or in the development of technical specifications.

At the same time, information about the dynamics of the actual values of the quality indicators of various systems (products) operated in the composition of the BTS evaluated in a given conditions and in the established period of time.

There are objective prerequisites for improving the efficiency of BTS due to the more complete, rational and integrated use of this information accumulated over the years of exploitation of systems as part of the BTS. In essence, today information has accumulated for the formation of internal information reserves of the BTS, which are advisable first of all to use to assess the quality of the BTS (systems in their composition) in the interests of making timely reasonable management decisions during the exploitation of the BTS (fig. 1.1.2). The results of the quality assessment are logically comprehensively used in three main areas: improving the quality of managerial decisions, in research and development work (R&D) and to improve the quality of staff training (fig. 1.1.3).

Thus, today the problem of the dissertation research (fig. 1.1.2), formulated in the introduction of work, can negatively affect the effective functioning of the BTS.

This problem significantly slows down the improvement of BTS management, resource management with systems, information processing, increasing (providing) the effectiveness of system exploitation in conditions of resource and time limiting [24, 36].

In the future, the systemic application of the methods developed and methods will lead to a significant reduction in the above negative factors due to the rational use of BTS information reserves.

When developing methods and means, it is necessary to take into account many different conditions for each specific BTS (fig. 1.1.2):

- the presence of reliable and relevant initial information (fig. 1.1.3);
- experience and qualification of the LPR;
- the effectiveness of the functioning of the ACS and the communication system that ensure the process of making a decision;
- existing restrictions in making a decision;

- requirements of regulatory legal acts and senior management;

- exposure to the external environment;

- the rate of change in the subject area of the decision and (or) conditions of its implementation;

- system resources and their rational distribution;

- the availability of time for the collection and processing of information when making a managerial decision during the operation of systems [27, 29].

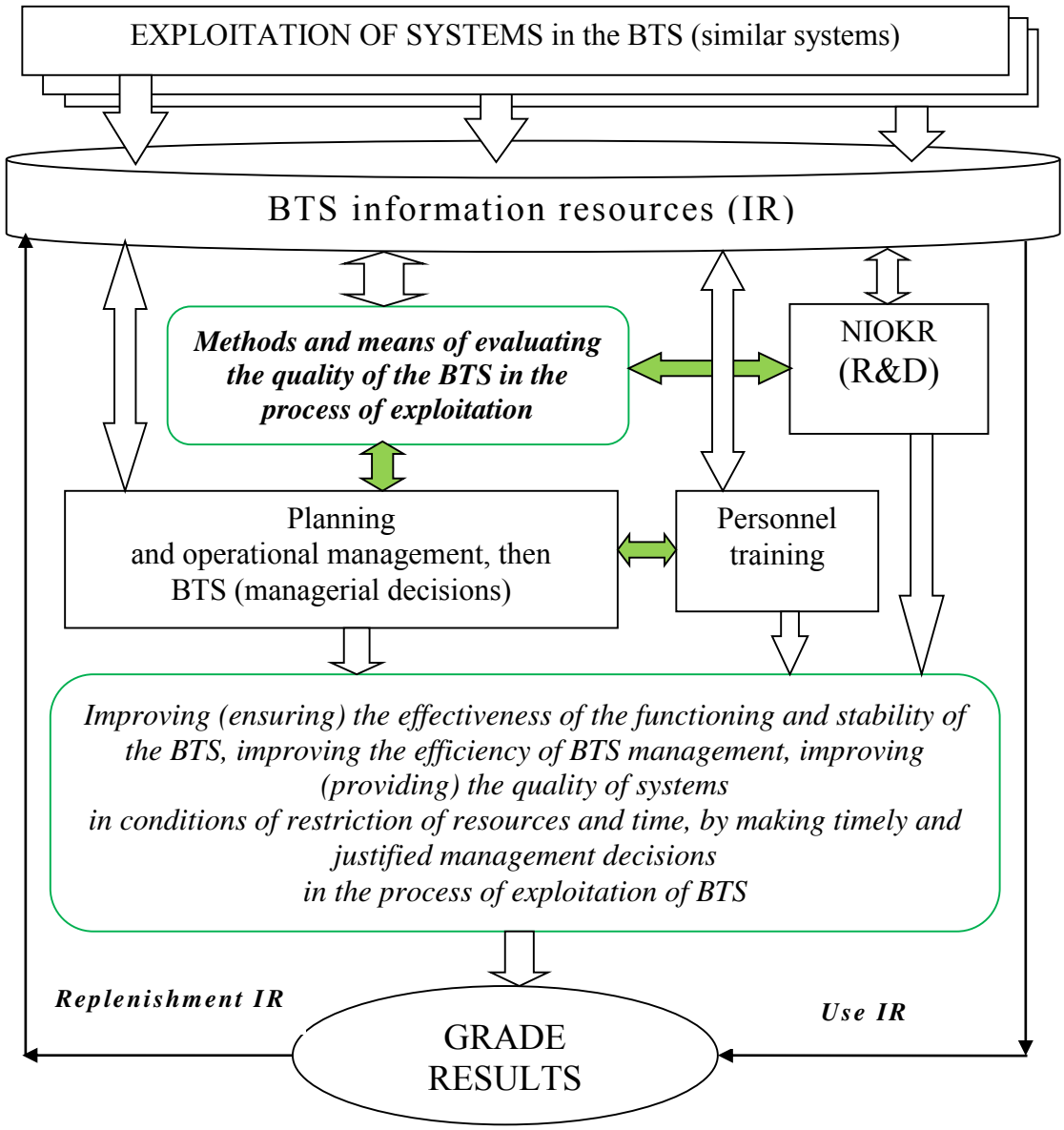


Figure 1.1.3. Scheme of rational application of methods and means (role and place in the process of exploitation of BTS)

In the future, these conditions and schemes in figures 1.1.12 and 1.1.3 will be used in paragraph 1.4 to set the scientific task of the dissertation research. Analysis of the relevance of the topic of the dissertation and the problem of the study allows us to conclude that the practical orientation of the dissertation to increase the efficiency of the exploitation of the BTS (fig. 1.1.1) by reducing the time for the implementation of the information cycles of management (fig. 1.1.4).

System management is a purposeful effect on system elements (on personnel and technical devices) in order to achieve the system to achieve the required state [5, 13, 94]. The targeted effect on the elements of the system is a process, that is, in this study, the management is advisable to consider as a process. In the BTS, this process is implemented by the control subsystem (fig. 1.1.1, fig. 1.1.4 and fig. 1.1.5), which in turn also includes the management personnel of the organization and technical devices that provide the management process.

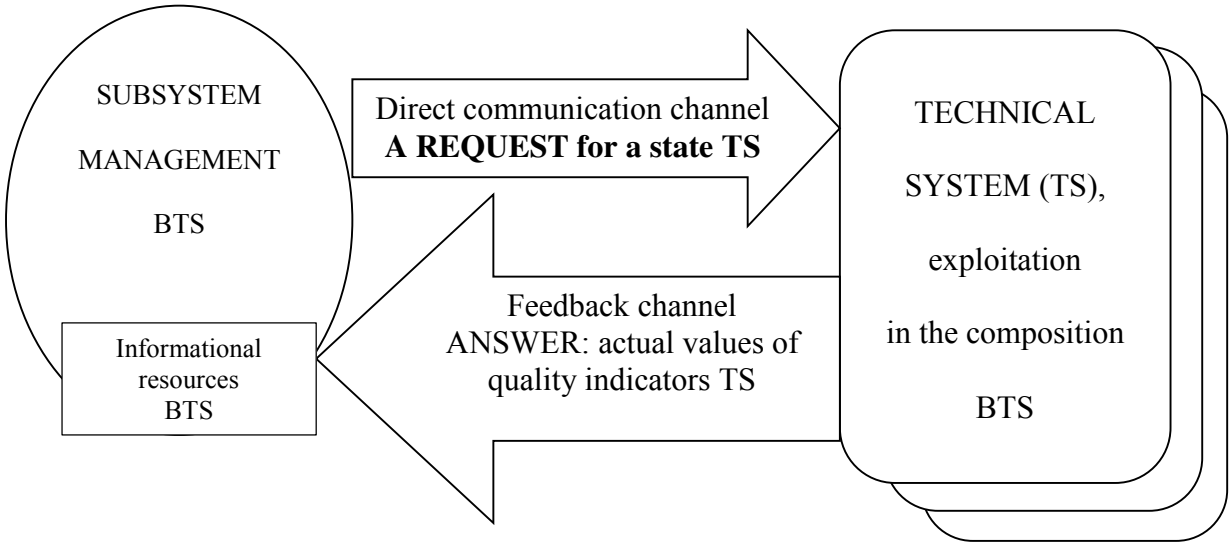
The management provides for the presence in the information circuit (IKU) of the control object, the control object, direct communication (control influences on the management object), feedback (control control) – fig. 1.1.4. As on the entire system, the external environment affects the control process [24, p. 152].

A generalization of the results of the analysis of the functioning of various BTS have revealed important patterns of information processes for ensuring the assessment of quality and making managerial decisions – fig. 1.1.4.

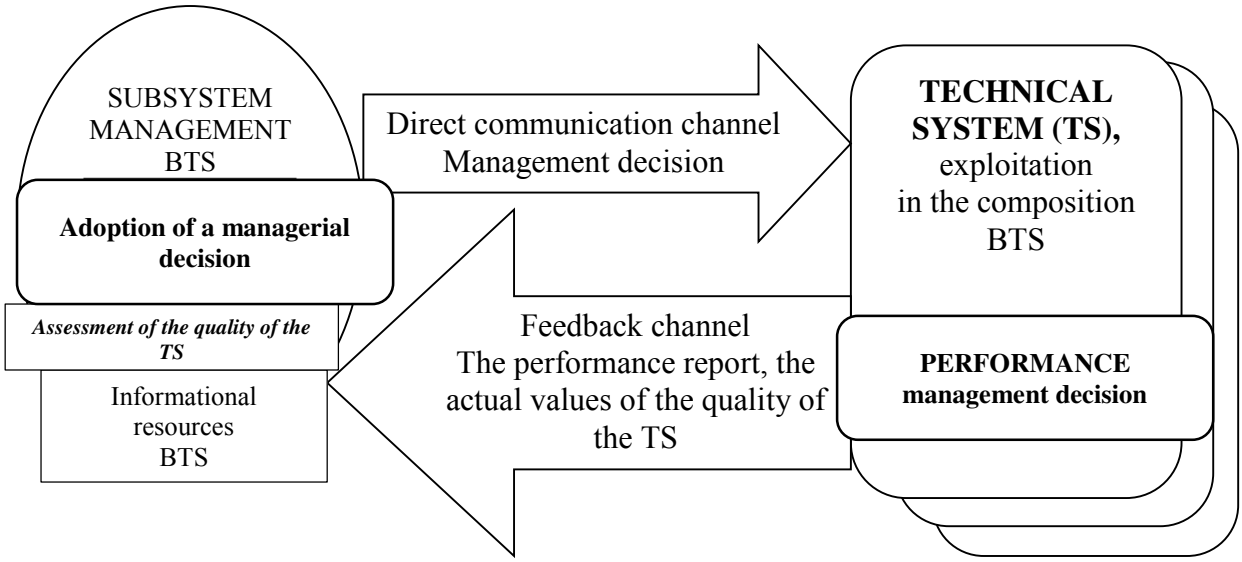
As a result, it will be rational and reasonable to single out two types of information cycles (fig. 1.1.4):

The first type: collection and processing of information for evaluating the quality and effectiveness of systems. Information control circuit (IMC) is realized in the process of monitoring the state of systems.

The second type: adoption, bringing and monitoring the implementation of a managerial decision adopted based on the results of the quality assessment and effectiveness of systems.



The first type of information control (IMC-1):
collection and processing of information to assess the quality and efficiency of systems
(IMC-1: Control of the state of the vehicle)



The second type of information control (IMC-2):
adoption, bringing and monitoring the implementation of a managerial decision
adopted by the results of the quality assessment and efficiency of systems

Figure 1.1.4. IMC-1 and IMC-2 implementation scheme in the BTS management information circuit when making managerial decisions based on the results of the quality assessment and efficiency of systems

The management process includes the adoption of management decisions based on the results of quality assessment. For this purpose, a certain number of information cycles (IMC) are performed to collect information about the state of systems-on the principle of "REQUEST" – "ANSWER" that IMC implements (fig. 1.1.4).

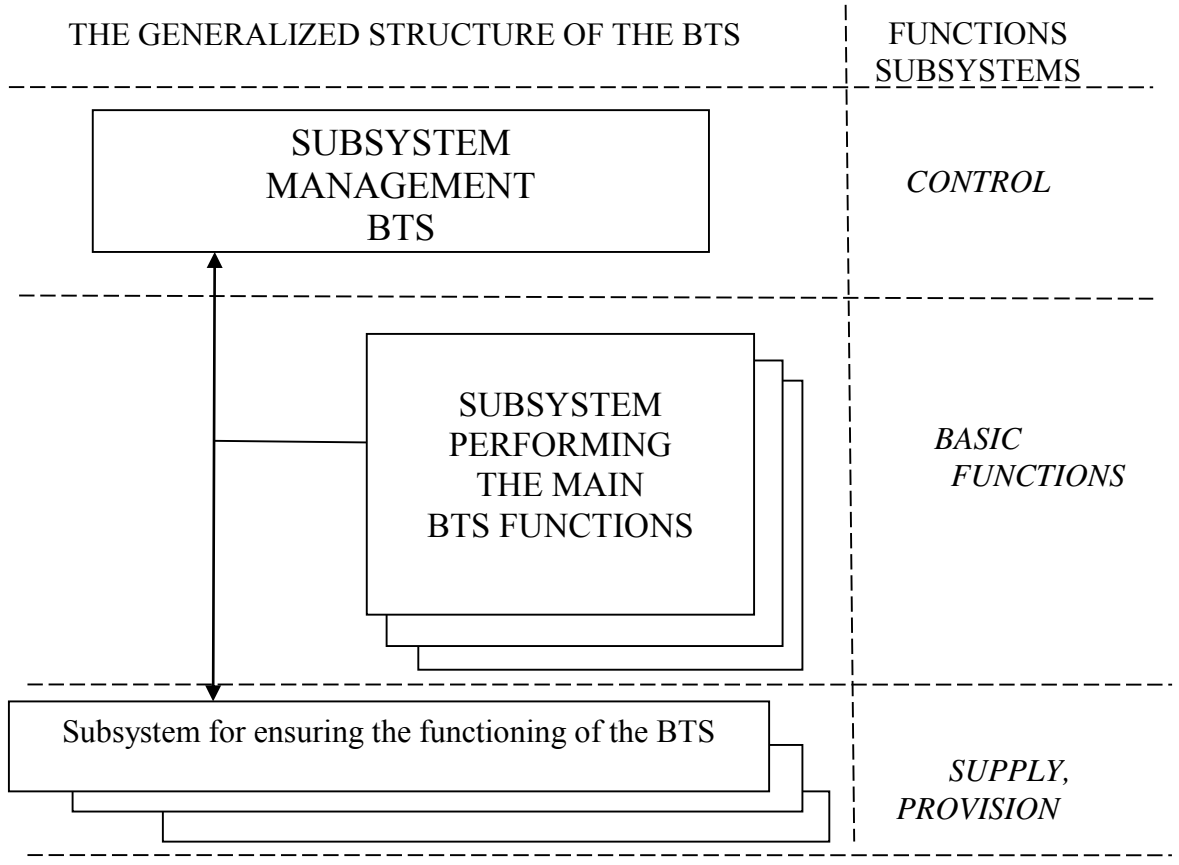


Figure 1.1.5. Systemic and functional approaches

BTS representations in a dissertation study

Therefore, one of the most important practical directions for the application of methods and means for the most rational achievement of the purpose of the dissertation research will be a decrease in the time of Itsu and a significant reduction in the number of IMC when assessing the quality and preparing managerial decisions during the exploitation of the BTS.

This circumstance, in turn, is the basis for setting the study of the study (paragraph No. 1.4) in the field of development of computer programs, a comprehensive

methodology for evaluating the quality of systems (chapter 4) and the scheme for implementing a method of rational work with information resources (paragraph No. 5.3, fig. 5.3.2). At the same time, the basis to ensure the universality of the methods developed and methods is rational to take the comprehensive application of the systemic and functional approaches of the BTS presentation (fig. 1.1.5).

In the methods and means developed, the integrated application of systemic and functional approaches is formulated in principles, and is also implemented in the development of a method for assessing the quality of BTS based on the construction and comparison of “ideal” (basic) and real structural and functional models of the BTS (paragraph No. 2.2) in the model in the model The stability of the BTS (paragraph No. 3.2) and in the method of forming the information reserves of the BTS (paragraph No. 5.3).

It is further important to note that during the exploitation of BTS systems, its most important property is manifested – the stability of the exploitation of the BTS (hereinafter – stability). As part of the analysis of the BTS and the subject of research, it is advisable to formulate the determination of the stability of the BTS. Since the specifics of the BTS, their features and the need to increase the efficiency of management at the expense of internal reserves requires to take into account the whole complex of interconnected factors in the methods and means developed, namely: modern threats to the BTS studied, the development of technologies, the prospects for creating new systems, the effectiveness and efficiency of systems.

In this case, it is advisable to understand by the stability of the BTS (system) not only the ability to preserve the required level of functioning in conditions of destructive influences of the external environment, but also the ability of the BTS to function as long as possible in adverse conditions with specified resources, as well as the ability to withstand destructive influences, Restoring their systems (subsystems, elements and (or) products) [21, 23, 36].

From the point of view of assessing the quality of systems used in the BTS, adverse conditions can be reasonably considered any external and internal destructive effects.

The results of destructive influences are:

- increase in time and resources to achieve the goal;
- violation of the technology and functioning of the BTS;
- fail (malfunctions) of systems (BTS elements);
- not achieving the goal of the functioning of the BTS.

Adverse conditions can be accidents, disasters, emergency situations of a natural and technogenic nature, economic problems, lack of quality resources, the lack of the required number of highly qualified personnel, etc.

Thus, it is advisable to consider the BTS as many interconnected elements (technical means and personnel) that ensure their sustainable functioning.

Moreover, the effectiveness and stability of the BTS is the properties that appear during the joint exploitation of BTS systems (fig. 1.1.1), that is, efficiency and stability depend on the quality of the systems as part of the BTS assessed.

Therefore, in the methods and means developed, the assessment of stability and the effectiveness of the BTS is inextricably linked with the assessment of the quality of systems in the process of exploitation.

It is important to take into account that the stability of the BTS is the basis for ensuring its effectiveness. From this we can draw a reasonable conclusion that the methods and means developed should provide for the possibility of assessing the quality of systems in the field of ensuring the stability of the BTS.

In the modern world, the effectiveness of BTS management is an important factor in ensuring the development of the economy and well-being of the country's population.

In turn, the effectiveness of management of any complex system will depend on the composition and content of information resources, as well as on the time of access and processing of information [147, 198, 205].

In the studied subject area, increasing the efficiency of management, we mean a decrease in time and resources to assessing quality and processing information when ensuring the management process.

In accordance with the Demoing cycle (PDCA) [100, 131], four main processes

(stage) control of the BTS can be distinguished:

1. Planning of the exploitation of the BTS in the estimated period (year, quarter).

2. Fulfillment of the plan (action).

3. Monitoring the results of the plan (verification, identification of deficiencies).

4. Correction and correction of deficiencies in the process of operational control of the BTS.

The effectiveness of control at any stage of the Demoing cycle (PDCA) [100] will depend on the modeling of the state of the system (forecasts of the development of events or state of the BTS) and on the assessment of the quality of elements (technical systems, products) in its composition. In this case, a significant part of the information resources will be formed by assessing the quality and effectiveness of the systems operated in the BTS (fig. 1.1.6).

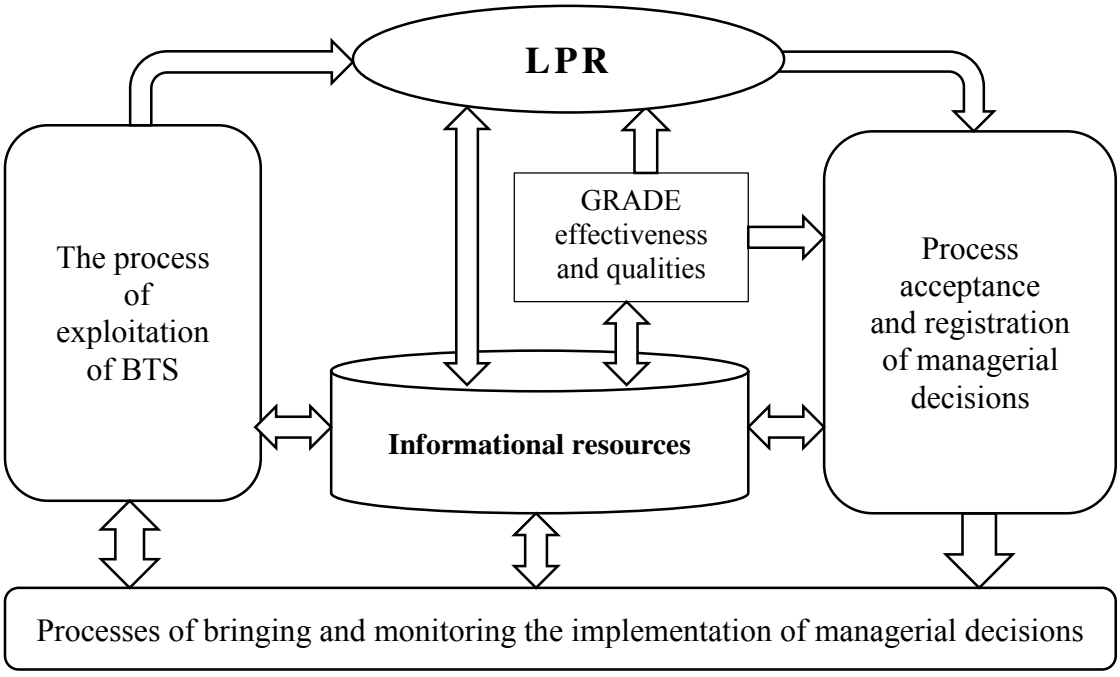


Figure 1.1.6. Decomposition of information flows when accepting management decisions based on the results of assessing the effectiveness and quality of the BTS in the process of exploitation

The study of information flows in the management of BTS (fig. 1.1.6) proves the importance of evaluating effectiveness and quality for the formation of information resources at all four stages of the demoing cycle (PDCA) [100] in the interests of improving the management of BTS exploitation.

Analysis of scientific literature [100, 163, 166, 178] made it possible to identify significant gaps in this area of knowledge, from the point of view of the development of the theoretical basis of the unification of methodological solutions applicable for the formation of information resources (fig. 1.1.6) in various BTS [163, 178].

In scientific research [131, 172, 205], this is expressed in requests for more complete use of expert and statistical information without the costs of additional resources and time, as well as in the possibility of reasonable choice of methods and means of evaluation, depending on the conditions of functioning of the evaluated systems.

Scientific works [172, 178, 205] indicate the need to develop and improve the information resources of the BTS, taking into account the following basic requirements:

- ensuring accounting for the influences of the external environment, the conditions and specifics of the functioning of complex systems;

- a practical focus on reducing the time for assessing the quality and processing of information in the interests of a significant reduction in the time of adoption of management decisions;

- a decrease in the subjectivity of the perception of the information of the LPR, as a poorly formalized factor in the management system;

- ensuring the possibility of rational implementation in computer programs.

Thus, the logical continuation of the dissertation was to analyze the problem of the study in relation to the contradictions of the exploitation of the BTS (paragraph No. 1.2 of the dissertation).

1.2. Analysis of the research problem in relation to contradictions of operational management of big technical systems

The content of the introduction and paragraph No. 1.1 of the dissertation revealed the formulated problem of research as a discrepancy between the required and existing state of affairs in the studied subject area (fig. 1.1.2). In addition, the above material justifies the presence of two most important properties of the problem of dissertation research:

1. Relevance – the need for speedy solution to the problem is determined by modern requirements in the field of improving and developing BTS.

2. Significance – the effectiveness of the functioning of the BTS depends on the solution of the problem, and this is important for the economy of the Russian Federation.

Therefore, compliance with the objectivity of scientific research and the detailing of the task of developing and introducing methods and means dictates the need to analyze the problem in relations with modern contradictions in the exploitation of the BTS.

As well as determining the role and place of methods and means in resolving modern contradictions of the control of the BTS. To this end, it is rational to systematize the contradictions under consideration.

The analysis was carried out using relevant scientific works [2, 3, 9, 13, 86, 87, 89, 93, 97, 111] in this subject field and on the basis of scientific research of the author [21, 22, 24, 28]. In essence, it is advisable to consider modern problems and contradictions of the study of complex systems in a close relationship with the BTS management processes. Since in the adoption of management decisions – the basics of management – people take part: the LPR and officials (fig. 1.1.6). Thus, in the analysis, it is advisable to consider the studied BTS as a set of people, technical devices and connections between them, under general management and united unified goal [24, p. 152].

The BTS management process is implemented by the control subsystem. At the same time, management depends on the resources of the BTS, time and influences of the

external environment. Therefore, it is advisable not to separate the contradictions of the modern management process from resources, time and influence of the external environment, as well as from the purpose of creating and functioning of the BTS.

The contradictions of the management of systems and in general the management process in the modern world are determined on the basis that management is a purposeful activity to achieve the required state of the system [24, p. 152 - 153].

From here it is possible to reasonably distribute the contradictions of the management of systems in the process of exploitation as part of the BTS at four interconnected levels [28, p. 40]:

The first level: personal – contradictions at the level of LPR, officials providing the process of managing BTS, staff.

The second level: social (social) – the contradictions that arise in the team (society) due to the adoption of managerial decisions (hereinafter deceased) and (or) ensuring the management process.

The third level: technical – contradictions related to the development, creation and exploitation of the BTS.

The fourth level: organizational – describes problems and contradictions when organizing the BTS management process.

Thus, it is logical on the basis of systematization to analyze the problem by determining the influence of the problem being solved at each level, as well as the role and place of the subject of the dissertation research for the most rational solution to the problem.

So, the first level. At the personality level, the following main contradictions and their causes can be distinguished, which are largely affected by the research problem [28, p. 41]:

1.1. Between the requirements for the LPR to fulfill the duties and the existing level of training of the LPR. Possible reasons: insufficient qualifications, lack of time and resources for preparation, not the ability to fulfill these responsibilities in modern conditions.

1.2. Between a large volume of diverse information (fig. 1.1.6) necessary to make a solution and evaluate quality, and the degree of its use of the LPR. Possible reasons: increased load on the LPR, the inability of the LPR to absorb large volumes of information, the insufficient competencies of the LPR in the field of use of software and hardware that ensure the management process [28, p. 41].

1.3. Between the requirements for work in conditions of adverse environmental factors and performance, stress resistance officials.

Possible reasons: the inability of officials fulfill these responsibilities in adverse conditions under the existing state of the methodological, mathematical and software of the control of the exploitation of the BTS.

Second level: public. It is largely interconnected with the contradictions of the first and fourth levels. But at the same time, potential contradictions at the public level more reflect the effect of the external environment on the management process. Since in any case, the LPR and officials of the bodies (subsystems) of the management will be members of the company and the bearers of its needs and depend on social conditions.

Of course, to varying degrees, they experience information influences of the external environment, including the possible introduction of false information about the quality of systems and information redundancy in the evaluated subject area.

Thus, the contradictions of the second level in the analysis of the research problems are based on the fact that external sources of information to varying degrees will always affect the assessment of the effectiveness and quality of systems.

Third level: technical. A complex and dynamic level of contradictions depending on the development and degree of use of modern technologies in the exploitation of BTS. But in general, it may include the main interconnected contradictions:

3.1. Between the need for constant improvement and (or) the creation of new software and hardware and resource restriction.

3.2. Between the development of information technology and the level of qualification of the officials of the BTS management for their effective use.

3.3. Between ensuring the increase in efficiency and management quality due to the interaction of open information systems, access to external information resources and the implementation of information security requirements and protecting intellectual property.

3.4. Between the need for more efficient use of modern highly effective technologies and existing capabilities.

3.5. Between the requirements for the stability of the BTS and the strongly pronounced dependence of modern BTS on the correct exploitation of the software, technical condition, reliability and resource of exploitation of systems.

3.6. Between the requirements for the reliability of information in the information circuit and the possibility of obtaining false (not reliable, not verified) information.

3.7. Between the necessary variety of existing software and hardware tools to ensure the performance of management tasks, taking into account the specifics of this process on various BTS and the need for effective joint work and the interaction of various software and hardware tools: correct transmission, processing and presentation of information [28, p. 42].

3.8. Between the constantly increasing requirements for BTS and technical capabilities, reliability, operating resource, as well as the possibility and feasibility of modernizing the systems used in their composition.

It should be noted that the stability of the BTS directly depends on the efficiency of management. This substantiates the need to develop and implement methods and means to ensure the preparation and adoption of timely and justified decisions during the exploitation of systems.

The contradictions of the third level to a large extent substantiate the importance and relevance of the subject of dissertation research.

Fourth level: organizational. When analyzing the problem of research, the essence and content of the main contradictions of this level largely depend on the contradictions of the first three levels, briefly described earlier, as well as on the influences of the external environment and the organization of the management process.

As a result, the following main possible contradictions of the organizational level are determined [28, p. 43]:

4.1. Between the large volumes of available information on external and internal information resources and the deficit of useful reliable and complete information to assess the quality of systems in the process of exploitation.

4.2. Between the requirement to reduce the time of Itsu and the need to carry out the most complete control of the exploitation of the BTS for which the processing and transmission of large volumes of information is necessary.

4.3. Between the requirement to reduce the resources spent on providing management, and a constant increase in the consumption of resources for the maintenance of managerial personnel, personnel serving the ACS, to create and operation of the ACS.

4.4. Between the modern requirements for the effectiveness of BTS management in the process of exploitation and the presence of an excessive number of managing personnel and software and software, which repeatedly duplicate the main functions of BTS management.

4.5. Between the need to increase the efficiency of operating the BTS and excess document management, a large number of regulatory acts, the presence of a large number of intermediaries (intermediate management links) between the control object and the management object (fig. 1.1.3).

4.6. Between the requirement for the timeliness and stability of management, as well as to limit the circle of persons admitted to the information, and the presence of excessive amounts of the LPR and the officials participating in the preparation and adoption of management decisions and (or) the performance of management functions.

4.7. Between the principle of personal responsibility of the head and a large number of LPRs (the officials coordinating the decision), the officials that give recommendations, instructions and consultations and at the same time that do not have the appropriate level of technical education and qualifications, as well as non-personal responsibility for the effective functioning of the BTS.

4.8. Between the constantly growing requirements for improving the quality of the BTS and improving the costs of resources and time to fulfill auxiliary functions to the detriment of achieving the main goal of creating and functioning of the BTS.

4.9. Between the large number of regulatory legal acts that ensure legal regulation of management, and the inconsistency of legal regulation by modern requirements for management, the state of the BTS, as well as the real conditions and goals of the BTS in the estimated period of time.

The main possible reason for the above potential contradictions of the organizational level: the inconsistency of the organization of the management process, including the assessment of the quality of systems in the process of exploitation, the goals and objectives of the BTS.

A comparative analysis of the problem and contradictions shows that to a large extent the role and place of the subject of the dissertation research will be to ensure a solution to the contradictions of the organizational level. First of all, it is necessary to note the presence of common possible reasons for most of the considered potential contradictions. The elimination or significant weakening of the impact of these causes by solving the problem will solve many of the above contradictions, and, therefore, significantly increase the effectiveness of the BTS.

The distribution of possible contradictions at the proposed levels and taking into account their logical relationship allows us to more fully implement the principles of a systematic approach in the development and implementation of methods and means. In the future, their development and implementation in order to reduce the impact of the causes of possible interconnected contradictions may be one of the important measures to ensure the effectiveness of the BTS and, as a result, to achieve the goal of creating and functioning BTS with the minimum consumption of resources and time.

1.3. Analysis of methods of assessment of the quality of technical systems and information reserves of quality assessment

The above materials of the first chapter of the dissertation substantiate the need to apply a systematic approach when achieving the purpose of the study, taking into account the possible features of assessing the quality of the BTS in the process of exploitation.

To achieve the goal of the dissertation research in this paragraph, the analysis of modern quality assessment based on scientific research was carried out [4, 16, 17, 89, 108, 114, 119, 123 - 129, 190, 209] in subject areas close to the subject area of the dissertation, And also on the basis of scientific [51, 55, 60, 64, 65, 66, 71, 80, 81] and educational and methodological works [82, 83] of the author in the studied subject area.

In general, the analysis of these works allows us to conclude that if the rational achievement of the purpose of the study consists in the creation and implementation of methods and means, then in the very generalized form the assessment of the quality of the BTS in the process of exploitation (Q) will include (1.3.1):

- degree of achievement of the goal (K);
- resource consumption to achieve this result (R);
- time expenses (T);
- taking into account the conditions and specifics of the functioning of the system, mandatory requirements for BTS and personnel (D).

$$Q = (K, R, T, D) \qquad (1.3.1)$$

At the same time, the quality assessment of systems will act as the most important component of exploitation control and the BTS. In turn, control is the most important management element.

According to I.F. Shishkina: “Control is the verification of compliance with the norm. <....> The presence of the norm involves the gradation of the quantitative characteristics of any property and determines the possibility of making a decision ” [160, p. 3-4].

If you designate $Q_н$ as the required value of the complex indicator of the quality

of the system, that is, as the norm, then the decision on compliance or non-compliance of the system is made to the norm in the following cases:

$Q_p > Q_н$ – the level of quality meets the requirements;

$Q_p = Q_н$ – the level of quality meets the requirements and is on the border of these requirements, that is, the system does not have a “stock in terms of quality”;

$Q_p < Q_н$ – the level of quality does not meet the requirements.

From here you can formulate the concept of a problem that is designed to identify the quality assessment of systems in the process of exploitation control. That is, the identified problem will be a discrepancy (ΔQ) between the required values of quality indicators ($Q_н$) and real quality indicators (Q_p) assessed system in a given period of time:

$$\Delta Q = Q_p - Q_н \qquad (1.3.2)$$

Ideally in any period of time $\Delta Q \geq 0$, That is, there are no problems, the quality meets the requirements.

Analysis of the values of the indicators that make up the formulas (1.3.1) and (1.3.2) will allow the LPR to identify the causes of problems and make reasonable management decisions in the field of management of the system. For this, methods and means should ensure the formation of information reserves to improve quality at the organizational level of contradictions (paragraph No. 1.2 of the dissertation).

For this purpose, it is most rational to systematize the basic methods applicable to assessing the quality of systems, and to develop combination options when applying the methods of describing BTS to assess quality in the process of exploitation – a scheme in figure 1.3.1. Based on this scheme, it is logical to analyze and adapt quantitative methods of describing systems [83] to assess the quality of the BTS in the process of exploitation – the results are presented in table 1.3.1.

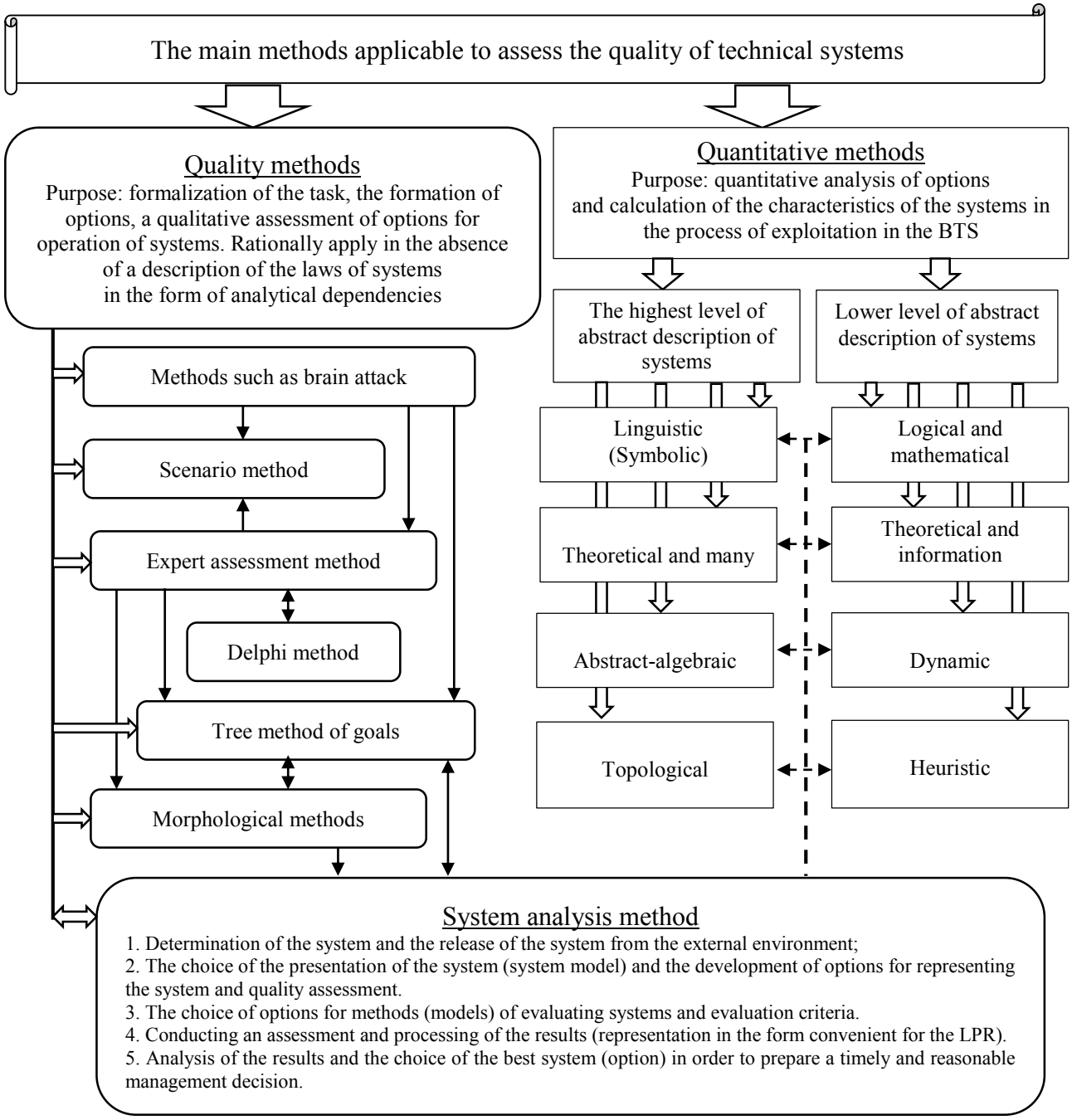


Figure 1.3.1. Systematization scheme and combination options when applying BTS description methods to assess quality in the process of exploitation

Options for combining systems describing systems and adaptation of quantitative methods of the highest and lower level of the abstract description of the systems (table 1.3.1) will further ensure the rational development and implementation of methods for evaluating the quality of systems [13, 15, 83].

Table 1.3.1

The results of the analysis and adaptation of quantitative methods of describing systems to assess the quality of BTS in the process of exploitation

No p/n	Name and the essence of the method	The main mathematical expression	Is the description of the variables that make up the mathematical expression
1. Quantitative methods of the highest level of abstract description of systems			
1.1	Linguistic level of description	$S=(TR_1, TR_2, \dots TR_n, C_{TR1}, \dots C_{TRj})$	In the formula (S) is a system consisting of elements – " terms "(TR). The interaction between these elements (C_{CTR}) is described in an abstract language. Relations between "terms", (TR) are intended for evaluation, evaluation description, and other formulations.
1.2	Set-theoretic level of BTS description. A hypergraph is used, i.e. a simplicial complex $K_x(Y, \gamma)$, the elements *of Y* are vertices of the graph, and the elements *of X* are simplices, $\gamma \in X \times Y$ a binary relation on the direct product of $X \times Y$	$\Pi: \sigma^i \to k,$ In a simplicial complex , the image of N is expressed as a direct sum: $\Pi = \Pi_0 \oplus \Pi_1 \oplus \mathrm{K} \oplus \Pi_N$	An image of a simplicial complex is an expression N that σ^i corresponds to a certain number k for each simplex of the complex. The dimension of the complex is determined by the expression: $N = \dim \mathrm{K}$ It is rational to represent the dynamics of the BTS as a change in the image of P at successively fixed points in time of the control process of the BTS and (or) systems in its composition.
1.3	Abstract-algebraic level of BTS description. Designations: Y – values of output variables; U – values of input variables; T – time points; X-description of system states	$S = (T, X, U, \Omega, Y, \Gamma, \varphi, \eta)$	Acceptable values of variables: 1. Input: $\Omega = \{\omega: T \to U\}$; 2. Output: $\Gamma = \{\gamma: T \to Y\}$. Functions: 1. BTS states at time t by the values of coordinates defining the BTS state at the initial time ($x_0 \in X$) and input variables $\omega \in \Omega$; 2. Defining output mappings $y(t) = \eta(t, x(t))$.: $\varphi: T \times X \times U \to X$ $\eta: T \times X \to Y$

No p/n	Name and the essence of the method	The main mathematical expression	Is the description of the variables that make up the mathematical expression
1.4	Topological level of the BTS description. Where *L is* some linear partially ordered set with the order relation (≤), then the pair (*L*≤) defines the structure of this set	$V\colon X \to (L,\leq)$ abstract function of A. M. Lyapunov $B = \bigcup h(x),$ some family of sets of the filter basis *of V.* (based on the abstract function of A. M. Lyapunov)	In order for a pair (x,B) to be $(\varepsilon_1,\varepsilon_2)$ stable, it is necessary and sufficient that $\langle X,B,\varepsilon_1,\varepsilon_2\rangle$ an abstract A. M. Lyapunov function of the specified type exists for the four values. Where *X* is an arbitrary set, and $h(x)$ a is the elements of this family.
2. Quantitative methods of the lowest level of abstract description of systems			
2.1	Logical level. To describe the logic of the functioning of a controlled dynamic BTS. The logical diagram of the algorithm is the formula for the sequence of operators and logical conditions. The formula expresses the process of functioning of the BTS.	↓ P($y_C(t) \sim y_P(t)$)Γ($y_P(t) \to$ C)C($y_P(t) \sim y_C(t)$)Π($y_C(t) \to$ P) ω↑, where Pwherey_P(YC(*P(YC(t)*~YP($y_P(t)$) represents the act of converting information yc$y_C(t)$ into information YP ($y_P(t)$ in the control object(OP); operator G(y_{YP}(*yp (t)*→C) - the act of transmitting information y_{Yp}(*Yp(t)* from C(*the OP C(YC(*($_{YC}$(*t*)~$y_{YP}(t)$) – the act of processing information $y_{YP}(t)$ into information y_C(*YC (t*YC(t) in the UU, while ω – always a false logical condition; D(y_CYC (*t*)→C) – the act of transmitting information y_CYC(*t*) from the UU to the OU; P – an operator that characterizes the functioning of the OU; C – an operator that characterizes the functioning of the UU; Basic rule: if the logical condition is false, then the operator must act, which the arrow leads to. The symbol ↑ indicates the beginning of the arrow, and ↓ – its end. Features: the symbol ω and the arrows after it show the exploitation of the BTS control system (SU) according to the closed ICU principle. Disadvantage: the stability and nature of transients, optimality, etc. can not be determined only with the help of the logic of the BTS SU functioning.	
2.2	Information-theoretic level of the BTS description. At this level, information acts as a property of objects and phenomena (processes) to generate a variety of BTS states, which are transmitted from one BTS object to another and lead to a change in the structure of the BTS.	1. Predicate *P(x)* (defined in the range of values *M).* 2. The domain of truth *of P(x)* is the set *of x* from *M.*. 3. For a given population, *P(x)* will act as a "true statement": $IP = \{x \in M \mid P(x) = 1\}$. The *n*-local predicate is an arbitrary function of *n* variables $P(x_1, x_{x1,\,x2},\ldots x_n xn)$	Main provisions: 1. In terms of an exact logical and mathematical language (which includes notation for objects and their variables), a certain condition is formulated-the predicate *P(x)* 2. An abstract set with *P(x)* defined on it is a mathematical model (information code). 3. The encoding method is a representation of a set of source states into a set of information carrier states. 4. The state image is the state code of the storage medium.

No p/n	Name and the essence of the method	The main mathematical expression	Is the description of the variables that make up the mathematical expression
2.2	Abstracting from the physical essence of information carriers.	Defined on the set $M=M1^{X}... {}^{X}M_n$ mn and taking boolean values from the set.	A predicate of *n* arguments consists of a set of *M* variable change areas *x* (an *n*-local predicate).
2.3	Dynamic level. Initial concepts for describing the dynamics of BTS: a space *M* is called a manifold if for each point $x \in M$ there exists a neighborhood *U* homeomorphic to an open set in *an n*-dimensional Euclidean space R^n	Differential equation describing the behavior of a dynamical system $\frac{dx}{dt} = v(x),$ the right-hand side of this differential equation expresses the characteristics of a vector field *v(x)* on *the manifold M.*.	The problem of the theory of ordinary differential equations is to study one-parameter groups $\{g^t gt\}$ of diffeomorphisms of *M*, vector fields on it, and relations between them. The connection is that the phase flow $M\{g^t\}$, given by the one-parameter group of diffeomorphisms of the manifold *M*, determines the velocity vector of the image point in the phase space $g^t x=v(x)$ This expression is the phase velocity of the flow at the point $x \in M..$ In this case, a connection is established between two forms of describing dynamical systems: the usual one using differential equations, and as a one-parameter group of diffeomorphisms of a manifold.
2.4	Heuristic level for describing the functioning of the BTS. At this level, the term "eureka" is a kind of guess based on the general experience of solving similar problems that have occurred in the past periods of the BTS exploitation.	Expression of an abstract description of BTS (*S*) consisting of a finite definable number of technical subsystems (Figure 1.1.5) or a certain set of their elements (sn_n) *sn)* $S=(_{s1}, s2_2, ..._n sn, zs1_{s1},..._{zsj})$	The main advantage of the heuristic approach to describing the functioning of the BTS is that it takes into account many conditions in the process of finding solutions to management problems in the presence of people (human) in the ICU of the BTS (figure 1.1.4), i.e. decision makers and employees of the BTS management bodies, as weakly formalized factors (Z_{sj}). Promising areas of application: heuristic programming (programming scenarios for the development of situations during the exploitation of the BTS), differential diagnosis, pattern recognition.

Table 1.3.1 is developed on the basis of literature [13, 15] and the work of the author [83].

Further, taking into account the scheme in figure 1.3.1 and tables 1.3.1 as part of the analysis of quality assessment methods, it is advisable to formulate the following basic definitions of the dissertation research.

The properties of systems in the BTS are manifested in the process of exploitation or when finding systems on storage (in reserve).

BTS characterize two main complex properties – efficiency and stability that are manifested during the exploitation of systems as part of the BTS. In fact, the effectiveness and stability of BTS is a combination of the properties of systems in its composition, which are mainly manifested during the exploitation of these systems.

Hence, in the subject of the subject area, the quality indicator of the BTS (system) is a quantitative expression of the properties of systems (subsystems, products) as part of this BTS (system). The value of the quality indicator is the result of the quantitative measurement of the properties of the system manifested in the process of exploitation. In this case, the actual value of the indicator is determined by its measurement in the process of exploitation. Depending on the characterized properties of the system, the indicators are divided into two types: single (express simple properties) and complex (express complex properties).

In the methods and means developed, it is advisable to apply the concept of a basic indicator, that is, adopted as a basis when evaluating quality. It is advisable to provide, if necessary, the use or introduction of the LPR indicators that will be crucial when evaluating quality, that is, it will be determining indicators. In addition, it is logical to provide the use of the limit values of indicators, the excess or reduction of which is unacceptable.

If information about modern effective systems similar to the BTS will be used in the methods and means, this will contribute to determining the technical level of quality of the BTS (systems) in the form of a relative comparative characteristic of the BTS (system), expressed in the actual values of indicators characterizing the properties of

systems in the process of exploitation, with their basic (required) indicators, reflecting the requirements for BTS (system), taking into account the development of modern technologies.

To assess the technical level of products, differential, complex or mixed methods are used [93, p. 41].

In the future, it is advisable to understand the assessment of the technical level of quality of BTS (systems) about assessing the quality of the BTS.

For this, in the framework of this analysis and to set the task in dissertation (paragraph No. 1.4), the following main universal interconnected indicators of the quality assessment of systems, the values of which can be measured (calculated) during the exploitation of the BTS: as a metric of evaluation of systems:

1. Time (units of time measurement: seconds, minutes, hours, a day, etc.).

2. Probably characteristics.

3. Labor costs (unit of measurement: Human arms).

4. The number of personnel involved for the estimated period of time.

5. The number of units of equipment involved in types for the estimated period of time of exploitation.

6. Resource for the exploitation of technology (unit of measurement: motorcycles).

7. The consumption of all types of material resources of the BTS (system) for the evaluated period of exploitation time, including electricity, fuel and lubricants, spare instruments and accessories (ZIP) sets, etc.

8. The degree (necessity) of the use of external infrastructure (long-term resources).

9. Costs of funds – can act as an equivalent of quantitative expression of the above resources.

Thus, the metric of universal indicators ($M_к$) to assess the effectiveness and quality of the systems will include the space of real (p) and required (T) time values (t_p и t_T) and the resources spent (X_i) to achieve the result(s) (Y_{pj}) taking into account the effects of the external environment on the change in the quantitative values of these indicators (Δt, ΔY_j,

ΔX_i, ΔP_z), as well as the actual values of the quality indicators of the evaluated systems (P_z):

$$M_к = \{t_T, Y_{T1}, \ldots Y_{Tj}, t_p, Y_{p1}, \ldots Y_{pj}, X_1, X_2, \ldots X_i, P_1, P_2, \ldots P_z, \Delta t, \Delta Y_j, \Delta X_i, \Delta P_z\}$$

In the dissertation, the metric is presented in more detail in the dynamic BTS model (figure 2.5.1) and in the BTS sustainability model (table 3.3.1).

Accordingly, the quality assessment is closely related to the resources consumed.

Resources can be divided into two types:

1. Long-term: BTS personnel, infrastructure elements (roads, power lines, bridges, etc.), technical products, vehicles.

2. Consumable (electricity, fuel, spare parts, etc.) [64, 75].

Next, we will analyze the methods of quality assessment using the above indicators, depending on the importance of their use in the methods and means being developed.

1. Differential method of quality assessment.

It can be used when evaluating individual quality indicators (Q_i) by comparing with the base (required) value ($Q_{iб}$).

For this purpose, a relative quality indicator is calculated (q_i):

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_{iб}} \qquad (1.3.3)$$

For the practical application of the differential method, it is most rational to formulate two criteria:

The 1st criterion is applied when it is desirable that the value $q_i \rightarrow 0$, that is, the quality of the system is the higher, the more value of quality indicators (Q_i) there will be less basic (required) value ($Q_{iб}$), For example, the lower fuel and lubricants, labor costs, etc. From here we get that the quality of the system meets the requirements, provided:

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_{iб}} \leq 1 \qquad (1.3.4)$$

The 2nd criterion is applied when it is desirable that the value $q_i \rightarrow \infty$, That is, the quality of the system is the higher, the more the basic (q_i) value (Q_i) indicators ($Q_{i\delta}$), for example, the larger time of exploitation of the system to regulatory maintenance, a larger amount of compressed air in the system, etc. From here we get that the quality of the system meets the requirements, provided:

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_{i\delta}} \geq 1 \qquad (1.3.5)$$

2. A comprehensive quality assessment method.

Designed to calculate the generalized indicator of the quality of the system in the form of a function from single indicators. The method allows you to find the following indicators:

2.1. The main indicator.

It is determined on the basis of a solution on the importance of the functions performed by the system with the establishment of functional dependence on the initial indicators of quality, for example, the consumption of human arms for the exploitation of the system.

2.2. Integral indicator.

The calculation of the integral indicator (I) is carried out to find the total useful effect or result (Y) from the exploitation of the system and the total cost of resources (R_{obh}) to create and exploitation of the evaluated system:

$$I = \frac{Y}{R_{obh}} \qquad (1.3.6)$$

2.3. Average balanced indicators.

Rationally use with the simultaneous presence of two conditions:

- it is impossible to establish a functional dependence of the main indicator on the initial indicators of quality;

- you can determine the weight values of the averaged parameters.

Average balanced indicators (Q_k) are calculated by the formula:

$$Q_k = \sum_{i=1}^{n} v_i Q_i \qquad (1.3.7)$$

v_i – the importance of the importance (weight) of the i-indicator,

Q_i – i-indicator quality of the evaluated system,

n – the total number of quality indicators.

3. Mixed quality assessment method.

It provides for the use of single and complex indicators of quality assessment. In methods and means, it can be used under the conditions:

- the use of the differential method does not allow to make a reliable assessment due to the large number of single indicators;

- a generalized indicator in the complex method does not take into account all the essential properties of the systems.

In the mixed method, interconnected single indicators in groups are combined. Then, these groups determine a comprehensive indicator.

In this case, the most important indicators are recommended to be calculated as single indicators.

Further, the differential method is evaluated by the quality of the systems.

Analysis of quality assessment methods would not be complete without considering the main ways to solve the problems of evaluating the quality of heterogeneous systems. Therefore, it is logical to present the main results of the analysis of the methods applicable to assessing the quality of heterogeneous systems in the BTS.

1. The quality index and defect index are complex quality indicators used to evaluate heterogeneous systems

1.1. Quality index (K) is calculated by the formula:

$$K = \sum_{i=1}^{n} g_i q_i \qquad (1.3.8)$$

g_i – the importance coefficient (weight) i-system,

q_i – relative comprehensive quality indicator i-system.

n – the total number of evaluated systems.

1.2. Defective index (D):

$$D = \sum_{i=1}^{n} g_i \frac{D_i}{D_{i\delta}} \qquad (1.3.9)$$

D_i – This is a defect coefficient for the evaluated period of exploitation,

$D_{i\delta}$ – the basic value of the defect coefficient for the evaluated period of exploitation of the system.

It is advisable to apply existing approaches to calculations of quality and defect indices to calculate the quality factors of systems.

2. Expert methods [18, 19, 154, 155, 157].

They are used in the presence of highly qualified specialists in evaluated systems – experts. In the studied subject area, expert methods are most applicable on the basis of assessing preferences:

2.1. Range method. Experts are ranking systems depending on their priority (significance) for the exploitation of the BTS.

2.2. The point method or direct assessment method.

The method uses the streamlining of evaluated systems depending on their significance (according to experts) by setting points for each system.

2.3. The method of paired comparisons.

Experts in pairs compare the proposed systems proposed. Each pair selects the best system. Comparison continues until the best system is detected.

Further analysis, in terms of the regard to the assessment of the effectiveness of systems, involves the consideration of the foundations of the conceptual apparatus close to our subject area proposed by O.N. Morgunova in scientific work [126, 127, 128].

The quality of the complex system is fully manifested only in the process of its functioning, i.e. use by purpose. Therefore, the most objective assessment of the quality of the system can be obtained by the effectiveness of its targeted application [128, p. 141].

According to B.S. Fleishman, “the effectiveness of the exploitation is the degree of compliance with the real (actual or expected) result of the exploitation by the required (desired) or, in other words, the degree of achievement of the goal of the exploitation”

[152, p. 176]. For the chosen subject area of the study, the following definition is most suitable: “Efficiency is the most common that determines the property of any purposeful activity, which is revealed from the cognitive (epistemological) point of view through the category of goal and is objectively expressed by the degree of achievement of the goal, taking into account the costs of resources and time” [153 , p. 59]. At the same time, the assessment of the effectiveness of systems will be inextricably linked with the concept of exploitation. The exploitation means an ordered set of interconnected actions aimed at achieving a specific goal [121, p. 30]. Based on these works in the methods and means developed and methods, it is advisable to consider the assessment of the effectiveness and efficiency of assessing the effectiveness of the systems in the process of their exploitation. The examined results of scientific papers, as well as the traditional methods for evaluating quality are not directly applicable for scientific and methodological support for the development and implementation of a set of new scientifically sound solutions in the form of methods and means, due to the need to take into account the specifics of the exploitation of the BTS.

Assessment of the effectiveness and quality of BTS and systems in their composition in the process of exploitation may include the following exploitations:

1. Comparison of indicators of the evaluated system with indicators of a similar system, which is considered the best or, as an option, with similar BTS.

2. Comparison of the improvement or deterioration of the values of the selected indicators of one system for different equal periods of time, for example, a comparison of indicators for the 2nd quarter of last year and for the 2nd quarter of the current year, etc.

3. Comparison of the achieved values of the selected indicators of the assessment with the required values that can be defined in regulatory acts, leadership orders, work plans, etc. [24, p. 153].

The rational use of already accumulated information provides ample opportunities for modeling systems (table 1.3.2) and the prerequisites for the formation of BTS information reserves.

Table 1.3.2

The results of the analysis of the possibility of rational application fundamental provisions of modeling systems for assessing the quality of BTS in the process of exploitation, depending on the complexity of their mathematical description

№ n/p	Definition and (or) essence of application for assessing the quality of BTS in the process of exploitation	Mathematical expression	Content (variables)
1	BTS can be described as a whole for isolation from the external environment	$\mathbf{S} = \mathbf{A}(1, 0)$	Definition expresses the fact of existence and integrity of the BTS and (or) the technical system in its composition. Binary judgment $\mathbf{A}(1, 0)$ shows the presence or absence of the specified property
2	BTS can be described as an organized set of subsystems and (or) technical systems	$\mathbf{S} = (\text{opr}, \mathbf{M})$	org - operator of the organization; **M**-a set of subsystems and (or) technical systems
3	BTS is represented as a set of systems (elements), properties and relations	$\mathbf{S} = (\{m\}, \{n\}, \{r\})$	m -technical systems (elements) n – - properties, r - relations
4	BTS is represented as a set of subsystems or systems (elements) that form the structure of the BTS and ensure the functioning (exploitation) and interaction with the external environment	$\mathbf{S} = (\varepsilon, ST, BE, E)$	ε – subsystems or systems (elements) of the BTS, ST – the structure of the BTS, BE – the process of operating the BTS, E – the external environment.
5	BTS is represented as a set of inputs, a set of outputs, a set of states characterized by the transition operator and the output	$\mathbf{S} = (X, Y, Z, H, G)$	*operator X*-inputs, *Y*-outputs, *Z*-states, *H*-transition operator, *G*-output operator. The expression takes into account the main components necessary to ensure effective management of the exploitation of the BTS (systems in its composition)

№ n/p	Definition and (or) essence of application for assessing the quality of BTS in the process of exploitation	Mathematical expression	Content (variables)
6	If necessary , it is advisable to represent the BTS and (or) the subsystem (technical system) in its composition as a controlled system	$\mathbf{S} = (T, X, U, \Omega, Y, \Gamma, \varphi, \eta),$	T – a set of time points; X – a space of system states; Y – a set of values of output values; U – a set of values of input values – $\Omega = \{\omega : T \to U\}$ - a set of acceptable values of input values; $\Gamma = \{\gamma : T \to Y\}$ - a set of acceptable values of output values; $\varphi : T \times X \times U \to X$ - a function that determines the state of the system at time t from the values of coordinates describing the system at the initial time ($x_0 \in X$) and input values $\omega \in \Omega$; $\eta : T \times X \to Y$ —a function that determines the output mappings $y(t) = \eta(t, x(t)).$
7	Rational combination of the above provisions makes it possible to correctly represent the BTS in the form of an organizational and technical system, which in turn provides a theoretical basis system modeling based on a cybernetic approach	$\mathbf{S} = (PL, RO, RJ, EX, PR, DT, SV, RD, EF)$ where PL – requirements of a higher-level system (control object) in the form of a set of formulated goals and plans – RO - external resources – RJ - internal resources; EX - technical systems (elements), i.e. performers – PR - operation process (operation time) DT – - adverse environmental impacts; SV – control that includes quality assessment in the process of exploitation; RD - management based on management decisions made by the decision maker based on the results of quality assessment in the process of exploitation; EF – achieved positive effect during the set time of operation of the system.	

The above-mentioned approaches to quality assessment are mainly based on the use of statistical data on the results of the operation of systems in various modes, that is, on information about the actual values of system quality indicators obtained from various sources.

Rational application of the fundamental principles of system modeling for quality assessment (table 1.3.2) allows modeling the dynamics of system characteristics in various conditions in order to predict the behavior of the systems being evaluated. Which in turn will contribute to the formation and maintenance of up-to-date information reserves.

Particular attention should be paid to the fact that today, when implementing the traditional approach to assessing the quality of technical systems operated as part of the BTS (figure 1.1.2), qualimetry methods [4] or multi-criteria optimization methods (MOO, multi-objective optimization) are usually used [175, 195].

Qualimetry methods [4, 159] are a proven and reliable tool, but require significant development of the mathematical apparatus for each new assessed subject area, as well as for detailing the functions performed by the system.

In turn, this circumstance significantly increases the time and resources spent on assessing the quality of new systems or existing systems that begin to be operated in new conditions or when the basic requirements for the results of exploitation of the evaluated systems change.

In this case, a negative impact on the effective functioning of the management system will have an increase in the execution time of the information control circuit (figure 1.1.4) due to the development and implementation of new quality assessment methods and (or) improvement of existing methods.

The use of "old" methods when the evaluation conditions change can lead to irrational decisions and, as a result, to an unjustified increase in the expenditure of resources and time to achieve the goals of the functioning of the evaluated BTS.

With regard to the use of multi-criteria optimization methods for a comprehensive assessment of the quality of BTS in the process of exploitation, not everything is so clear.

And that is why much attention is currently being paid to the development of algorithms and methodologies for solving problems using multicriteria optimization methods using the Pareto criterion [175, 195].

However, "many problems of industrial engineering, especially the problems of strategic decision-making with the participation of various stakeholders, usually entail multiple and conflicting goals" [175].

When carrying out management activities, many problems and contradictions of the exploitation of the BTS (figure 1.1.2) are difficult to solve by multicriteria optimization methods alone, since it is usually impossible to reasonably choose the most rational solution for choosing the best BTS (or the period of time of exploitation of this system), which fully meets all criteria [175, 195].

This is especially evident when solving problems of production organization [175, 195], when solving logistics problems arising during the transportation of hazardous materials [195] and when justifying management decisions when there is a certain subjectivity of the LPR.

And in this case, once again, the most rational way to solve such problems for the LPR and for the BTS management bodies is to turn to options for applying innovative methods and means of evaluation based on information about the actual values of system quality indicators. This information is usually contained in the information reserves already accumulated over decades of exploitation of the BTS.

Accordingly, further improvement and development of modern assessment methods in the subject area under study should be inextricably linked with BTS information reserves containing objective and complete information about the actual values of system quality indicators in different time periods and under different operating conditions.

B.I. Gerasimov suggests the following classification of quality improvement reserves:

1. Institutional reserves – norms, rules, standards, laws.

2. Benchmarking reserves – comparison and reference to those organizations that have achieved the best results in quality work.

3. Kaizen reserves – the involvement of each employee in the work to improve the quality of products and services, which involves a little investment and a large number of small steps to improve quality. For the formation of kaizen reserves, it is most rational to use expert methods, taking into account the normalized coefficients of importance of experts (system exploitation specialists).

4. Information reserves – include the ability to receive and use accurate, objective, reliable, reliable, accessible, protected, relevant, timely, complete, interpreted information.

5. Integration reserves are formed at the intersection of the fields of the first four reserves (synergetic effect) [120, p.7].

The main advantage of these reserves for improving the efficiency of BTS at the organizational level is relatively small expenditure of resources and time to achieve the desired result. The development and application of methods and means will significantly increase the efficiency of BTS. The use of information reserves for quality assessment provides ample opportunities for LPR to analyze the dependencies of deterioration or improvement of indicator values, which helps to find the causes of deficiencies in the exploitation of systems in a timely manner. That is, it provides an increase in the efficiency of proactive management of the exploitation and maintenance of systems as part of the BTS. At the same time, the diversity of the assessed systems and the modern development of technologies substantiates the need for the integrated use of information from internal and external information resources. The development of information technologies makes it possible to form information reserves (hereinafter referred to as IR) to assess the quality of BTS.

1.4. Thesis statement for the development and implementation of methods and means of evaluation of quality of big technical systems in the process of exploitation

The content of the first chapter of the dissertation justified and prepared the statement of the task of the dissertation research on the development and implementation of methods and means for the rational achievement of the research goal.

The methods and means being developed should be a set of new scientifically based technological, technical and methodological solutions for evaluating the effectiveness and quality of BTS (systems) in the process of exploitation, designed to prepare timely and reasonable management decisions aimed at ensuring (improving) the effectiveness of BTS.

Restrictions on the development and implementation of methods and means:

- the development and implementation of methods and means should not require significant expenditure of resources and modification of the existing management system of the assessed BTS, including the organization of control over the exploitation and maintenance of systems;

- methods and means should not violate the modes of safe functioning of the BTS and information security;

- the application of methods and computer programs should involve the use of existing hardware and software (computer equipment) on the evaluated BTS.

Assumptions:

- the application of methods and means provides for the availability of information on the actual values of the quality indicators of systems and (or) their highly effective analogues obtained in the process of exploitation;

- there is an organizational and technical possibility of importing structured and unstructured data from heterogeneous sources about the systems in the BTS (or about their analogues);

- the possibility of technical coupling of newly introduced hardware and software (software) decision support tools implementing the procedures of the developed methods and means for assessing BTS is allowed;

- the most rational use of methods and means involves the possibility of forming and maintaining up-to-date information reserves of BTS.

Methods and means should include theoretical (methods) and practical (methods) parts, as well as provide for the organic development and improvement of these components. The elements of the components should provide for the possibility of both their independent application and integrated use.

Methods and means should have the property of universality and be applicable to assess the effectiveness and quality of various systems in the BTS, taking into account the special specifics of their exploitation.

Methods and means should be aimed at ensuring and performing an assessment of the quality of systems in the process of exploitation when using large volumes of various information from internal and external information sources.

The main positive effect of the development and implementation of methods and means should be to achieve the research goal (significantly reducing the negative impact of the problem) and to significantly reduce the time and resources spent on assessing the quality of BTS (systems) in the process of exploitation.

As a consequence, the application of methods and means should lead to a significant reduction in the time for making timely and informed management decisions to ensure (improve) the effectiveness of BTS.

The scheme of development and implementation of methods and means is presented in figure 1.4.1, and assumes further details of the problem statement based on the materials of the introduction and the first three paragraphs of the dissertation. Therefore, as part of the creation of the theoretical foundations and the practical part of this scientific work, it is advisable to provide for the possibility of developing and practical implementation of universal approaches to taking into account the specifics of the exploitation of systems as part of various BTS.

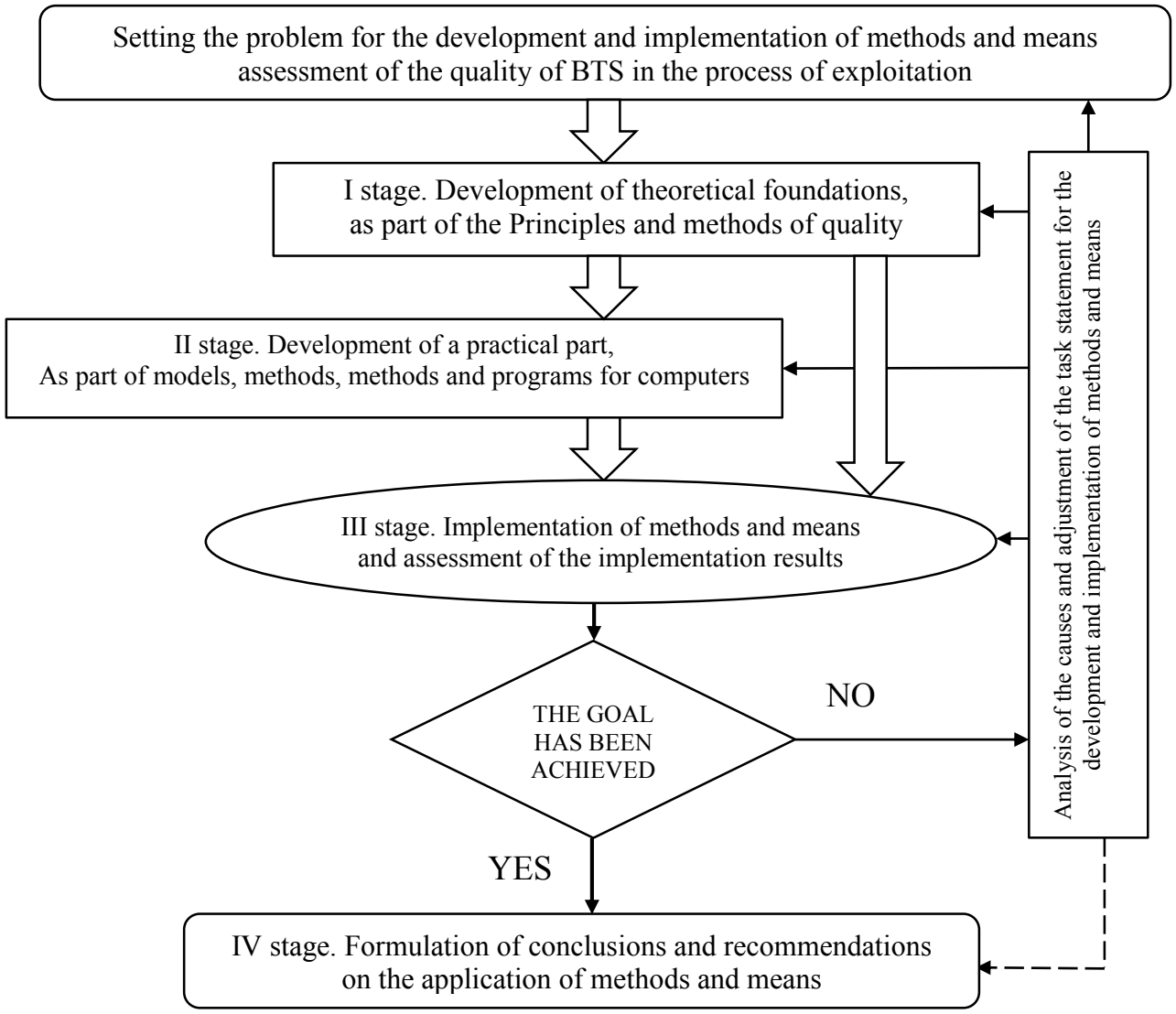


Figure 1.4.1. Scheme of development and implementation of methods and means

In this regard, and to ensure the most rational achievement of the goal, it is advisable to carry out the process of developing methods and means in terms of compliance with the sequence and interrelation of the elements being developed, according to the scheme presented in figure 1.4.2.

The work should include the theoretical foundations and the practical part, which are two interrelated parts of the organization of activities in the field of methodological, mathematical and software quality assessment, presented in the form of a set of Principles, methods, algorithms, models, techniques, Means and computer programs (fig. 1.4.2).

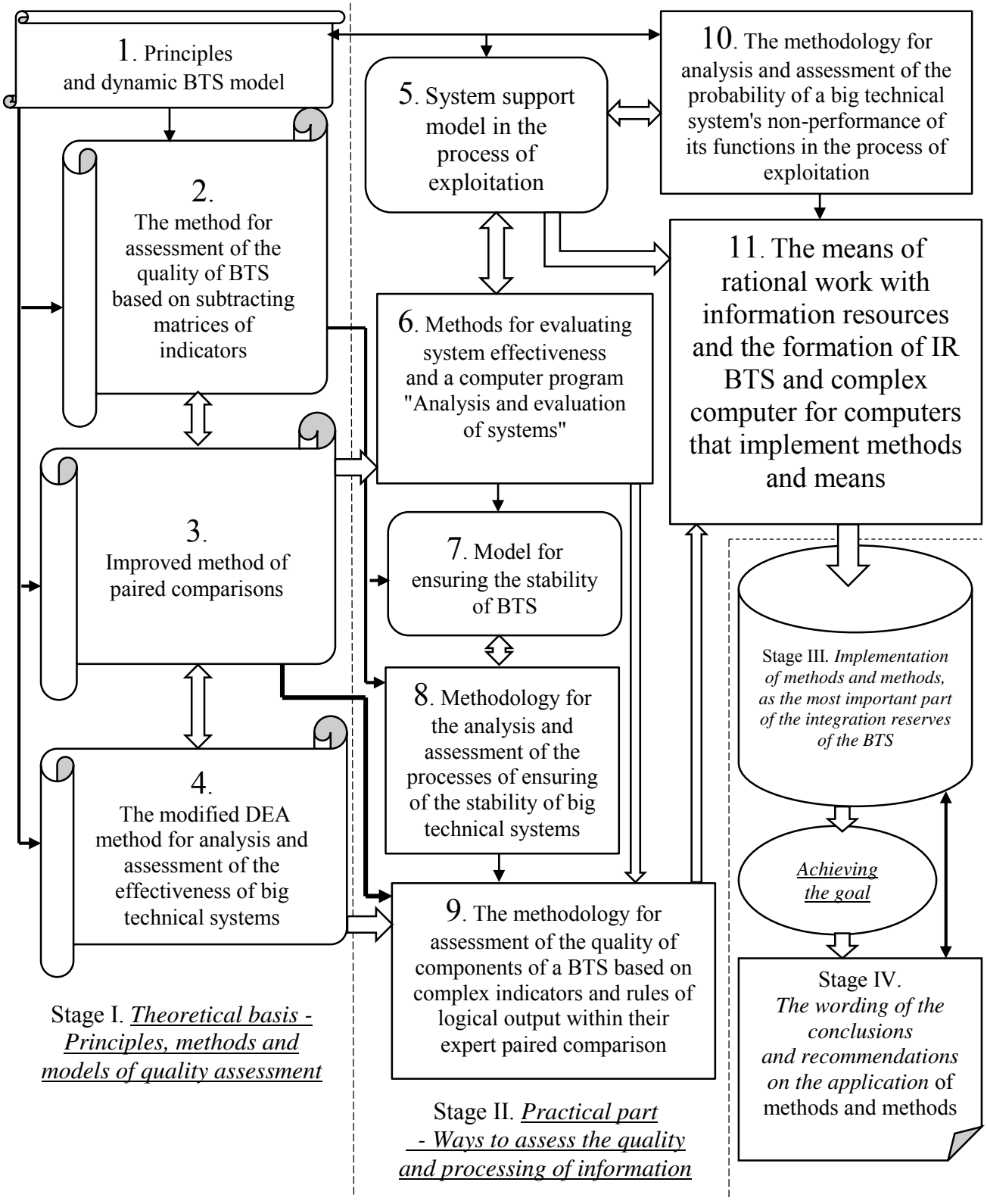


Figure 1.4.2. Setting the task of research and a diagram of the relationship of methods and means for evaluating quality

The practical part (fig. 1.4.2) should be applicable to assess the quality of systems in the process of exploitation, as components of the BTS that affect the effectiveness of the functioning of the BTS. The theoretical foundations and the practical part should have a single goal – a significant reduction in time and resources to assess the quality of BTS (systems) systems in the process of exploitation and subject to the increase in the amount of information used to assess quality.

A detailed description of the setting of the dissertation problem includes 4 stages (fig. 1.4.1). The implementation of these stages should ensure the most rational achievement of the goal by consistent development of interconnected methodological, technical and technological solutions – figure 1.4.2.

So, in the dissertation it is necessary to develop interconnected elements of the theoretical and practical part (fig. 1.4.2 and fig. 1.4.3).

When describing the stages of the development and implementation of methods and means (fig. 1.4.1), the numbering of the elements developed corresponds to the numbering of the sequence of the development of these elements in figure 1.4.2., With the exception of the development of a dynamic BTS model for a rational quality assessment in the process of exploitation (paragraph No. 2.5 of the dissertation).

Stage I. Development of theoretical foundations (principles and methods)

The theoretical part includes the principles and methods developed on the results of the analysis of the problem and systematize the contradictions of the BTS management process [3].

1. The principles of development, improvement and implementation of methods and means. They must be formulated in order to form the foundations of methodological support for the most rational organization of assessment of the quality of systems, taking into account the specifics of the BTS.

In the principles, it is necessary to take into account the requirement to reduce the risk of BTS due to the timely adoption of justified management decisions. Provide the reasonable detail of the rational application of methods and means.

For this purpose, after the development of principles and methods of quality assessment, to provide for mathematical modeling of technical systems in the interests of rational organization of quality assessment in the process of exploitation.

2. The method for assessment of the quality of big technical systems based on subtracting matrices of indicators.

The method to develop on the basis of the results of analysis of the application of the SADT methodology, IDEF0 standards and differential assessment methods [1, 86, 92, 93, 105, 106, 122, 147] in order to form the theoretical foundations of improving methods and means. Develop the rules and formulas for subtracting matrices of the values of quality indicators. Matrixes are based on the construction and comparison of “ideal” (basic) and real structural-functional models (hereinafter – SFM) of the system.

Develop a computer program that implements the quality of systems by subtracting matrices.For this purpose, the method should develop a structural-functional model of the BTS (system), which describes the participation of systems in the performance of BTS functions, their number and general quality indicators, most important for ensuring the effective functioning of the BTS.

Since the use of a structural-functional model will provide the required level of detail of the functions of the BTS and its specificity, regardless of its purpose.

3. The improved method of paired comparisons [18, 19, 20, 32].

Improving the method of paired comparisons is necessary to create theoretical foundations for the development of methods for assessing quality and effectiveness and for their further software implementation in the interests of rational automatic processing of information.

This requires a reasonable formulation of the rules of logical conclusions in the implementation of paired comparison of systems applicable to software implementation, taking into account restrictions.

In this regard, it is reasonable to foresee the possibility of using verification values when using the method of paired comparison, as well as the verification of the values introduced by experts (proper persons) for consistency.

4. The modified DEA method for analysis and assessment of the effectiveness of big technical systems.

Assessment of the effectiveness, efficiency and effectiveness of systems requires the development and (or) improvement of new ways that take into account the contradiction between the universality of the methods developed and the objective need to take into account the specifics of the exploitation of various systems as part of the BTS evaluated (fig. 1.1.1).

In addition, methodological and software for assessing the quality of BTS requires further improvement of traditional methods of quality assessment. In this regard, the most preferable is the use of the classic DEA method [172 - 175].

However, the effective application of the DEA method in the subject area will include its strengthening in the modified DEA method by using complex performance indicators, efficiency and efficiency of systems, taking into account their basic (required) values. At the same time, perhaps the use of the assessment of correlation dependence and the introduction of the limit values of quality indicators will be rational.

With complex application, the principles and methods of the theoretical part should allow taking into account the specifics of the BTS and make the process of methodological and software for the quality assessment of the BTS more rational.

Stage II. Development of a practical part (means)

The practical part of the work (fig. 1.4.3) includes models, methods, algorithms for evaluating and making decisions, a method of forming information reserves and computer programs developed on the basis of the above theoretical part.

5. Model for supporting technical systems in the process of exploitation.

To achieve the goal of the dissertation and confirmation of the hypothesis of the study, as well as taking into account the accepted restrictions for the development of methods and methods, when creating the model, it is most rational to be based on the tested results of scientific research [21, 163, 182-188, 197, 207 215], as well as scientific and educational and methodological works of the author [63, 65, 66, 69, 70].

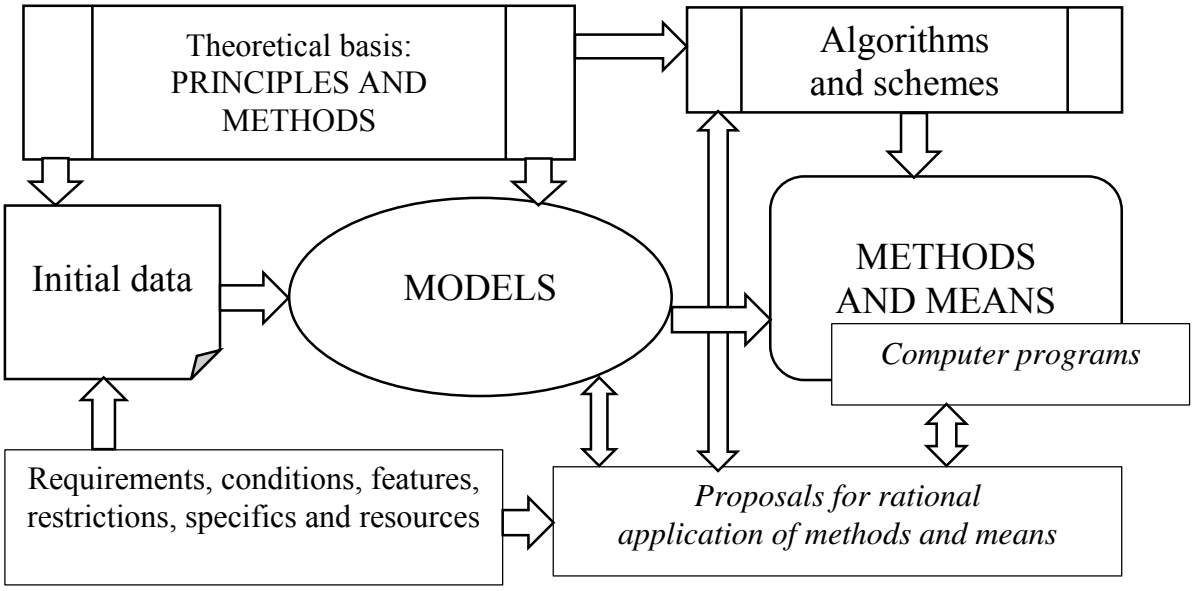


Figure 1.4.3. The development scheme of the practical part of the dissertation

Therefore, in the model to develop a system for supporting systems, determine the role and place of assessment of the quality of systems in the process of maintenance at the stage of operation, and also describe the types of possible management solutions based on the results of quality assessment.

The model will be intended to ensure a rational organization of work on improving and developing systems using the effective application of methods and means. To do this, develop a scheme for the organization of interaction in the process of evaluating quality in order to reduce quality assessment in the context of increasing the volume of information used.

The application of the model should provide for constant quality control of systems in the process of their exploitation.

The expected positive effect: ensuring the most rational application of methods and means, taking into account the specifics of the BTS, as well as a reduction in the time of information interaction in the organization of control and maintenance of systems in the process of exploitation.

6. Methodology for assessing the effectiveness of systems – as part of a position to be defended in conjunction with a modified DEA method.

Together with the methodology, to develop a program for the computer “Analysis and assessment of systems effectiveness” for the effective application of the methodology in practice. The methodology to develop on the basis of an improved method of paired comparisons and a modified DEA method.

The technique should use the quantitative values of two (X_1, X_2) and more types of resources (X). The cost of spent resources, units of measurement of the result and the total cost of the result obtained to measure in thousand rubles.

The technique should allow comparing the systems (periods of time) according to the result and (or) indicator of the functioning of the systems, as well as in the ratio of spent resources (X) and the result (Y).

In the computer program, provide for the implementation of all the necessary calculations for building tables, systematizing the obtained values of correlation dependence of the functioning of systems, graphs and diagrams.

Basic requirements for the methodology and computer program:

- ensuring the required details of the spent resources and the result obtained;
- analysis of the correlation dependence of all variables used;
- drawing up a rating of systems based on the results of efficiency assessment.

The program should have the possibility of forming the LPR reports in Word format, as well as to visualize the results in real time. The program should have an intuitive interface.

The expected positive effect: reducing time and resources to assessing effectiveness and increasing the validity of managerial decisions due to the possibility of comparison and the required details of the spent resources (X) when analyzing and evaluating the effectiveness of the system.

7. Model for ensuring the stability of the BTS.

In the developed model of the BTS, it should be represented as an organized set of systems, the functioning of which affects its stability.

To achieve this goal, to determine the main indicators of the quality of systems affecting the stability of the BTS.

Develop formulas and interconnected tables to describe the state of stability of the BTS in adverse conditions.

Moreover, regardless of the type of destructive influences, describe their consequences for the sustainable functioning of the BTS (systems in its composition). As part of the creation of the model, to develop and systematize the criteria for the stability of the BTS (system) depending on the state of the systems (subsystems, elements) in its composition, the availability of resources and capabilities of the BTS (system) for restoration.

As a result, the created model should ensure an analysis of changes in the stability of the BTS in adverse conditions of functioning and the influence of the quality of systems on its stability.

The expected positive effect: significant saving of resources and time due to modeling the stability of the BTS.

8. Methodology for the analysis and assessment of the processes of ensuring of the stability of big technical systems.

Together with the methodology to develop a program for computers “Assessment of systems stability”. To develop a methodology and program on the basis of a model for ensuring sustainability and results of scientific research in the field of system stability [6, 7, 95, 96, 102, 101, 119, 132, 133, 178, 209].

In the methodology for assessing stability, calculate the coefficient of stability of the BTS as a comprehensive indicator of the quality of systems in the stability of the BTS.

The main purpose of the methodology is that by finding the values of the coefficients of stability of the evaluated systems in the BTS under adverse conditions, to get the ability to compare these systems and (or) evaluated periods of the time of exploitation of the systems and to carry out reasonable choice of the best system. And also evaluate the reserve of the stability of the BTS, including the time of sustainable functioning in adverse conditions and based on the consumption of time and resources to restore the functioning of the required number of systems in the BTS. In addition, the

methodology should allow the LPR to introduce restrictions for indicators of assessment of system stability: the minimum time of sustainable functioning, the number of elements (products), the number of personnel, resource consumption, loss, etc.

The methodology should be implemented by a computer for computers "Assessment of systems stability", which will be cross-platform and function as a client-server application. In the program, provide for the possibility of forming reports in the form of a table in Word format, as well as visualizing the results in the form of graphs and diagrams. The expected positive effect: a significant saving of resources and time to assess the stability of the BTS and make managerial decisions to ensure the sustainable functioning of the BTS.

9. The methodology for assessment of the quality of components of a big technical system based on complex indicators and rules of logical output within their expert paired comparison (the comprehensive methodology).

It is rational to be rationally developed taking into account scientific research in this field [4, 89, 99, 100, 109], including the author's scientific and methodological work [24, 74, 75], taking the method of paired comparisons previously improved for this purpose. In the methodology, to ensure the most rational sequence of actions and accounting for accepted restrictions when setting the task of the dissertation, it is advisable to develop a scheme for applying expert and statistical information, taking into account the replenishment and use of BTS information reserves. In the developed scheme, it is possible to provide for the presence of feedback between the management decision adopted by the LPR based on the results of the quality assessment, and the positive effect of this solution and (or) by assessing the effectiveness of the methodology compared with the state of affairs in this area, which was before the application of this methodology.

In the comprehensive methodology, provide for quality assessment both using and without the use of expert information, as well as taking into account and identifying sources of receipt of information to evaluate quality, including external and internal experts. At the same time, the technique should make it possible to program the actual values of the quality indicators of systems in the process of exploitation.

Given the purpose of the study, as well as the restrictions and assumptions introduced in the methodology, it should be provided for interrelated systematic tables that give the LPR and officials sufficient information to assess the quality of systems and draw up the ranking of systems according to the results of this assessment.

The technique should provide for the possibility of software implementation without the cost of additional resources and staff training. At the same time, by decision of the LPR or officials, the results of quality assessment may be presented in the form of a summary table and (or) graphs and diagrams.

The expected positive effect: the technique should allow without the costs of additional resources to significantly reduce quality assessment time using statistical and expert information obtained from various sources, as well as contribute to the maintenance of information reserves in the current state of quality assessment.

10. The methodology for analysis and assessment of the probability of a big technical system's non-performance of its functions in the process of exploitation.

Together with the methodology, develop a computer program “Calculation and analysis of probabilistic characteristics of a system”. Based on the materials of the first paragraph of the dissertation and the results of the analysis of the problem of research, it is advisable to develop a method on the basis of scientific works in the field of quality control and assessment of the reliability of systems [148, 149, 191, 203], as well as scientific and methodological works of the author [34, 35 , 36, 83].

In the methodology, to provide for the calculation of the most important indicator of the quality assessment of systems in the process of exploitation, namely the probability of a simultaneous failure (malfunction) of a given number of systems in which the functioning of the BTS is violated. In the methodology, this indicator is calculated using an improved formula bred on the basis of the law of binominal distribution for sampling with a refund. The technique, together with the computer program, should provide the possibility of modeling and analyzing the probability of failures of a given number of system elements and cumulative probability. In the method, it is advisable to consider that any system can be represented in the form of a certain amount (n) of interconnected

heterogeneous or homogeneous elements. If the elements are heterogeneous, then it is recommended to use the greatest probability of the element failure in this system ("weak link") for calculations, that is, to be based on a pessimistic scenario.

The system always has a set number of elements (x), with simultaneous failure of which the system will fail or fail to complete the task. Thus, the probability of simultaneous failure of the x-number of elements $P(x)$ can reasonably be taken as the probability of failure of the task or failure of the system.

For example:

- notification on a certain territory of the BTS can be disrupted within the specified time with a calculated probability $P(x)$ in the presence of a specified number (x) of faulty elements (communication lines) of the notification system;

- restoration of the functioning of the BTS is possible with a calculated probability ($1 – P(x)$) in the presence of a given number ($n – x$) of ready emergency recovery units (spare parts kits, vehicles), etc.

A computer program should calculate the probability of failures (malfunctions) of a given number of system elements and cumulative probability depending on the total number of failures of elements in the system. Provide for the construction and comparison of graphs and tables, as well as their saving and export to Word and/or Excel. In addition, in the interests of additional quality assessment in the dissertation, it is advisable to formulate recommendations and develop a methodology for calculating the probability of timely achievement of the goal of the system functioning together with a computer program. At the same time, to investigate the possibilities of developing and using this technique on the basis of modern scientific works on the application of the Volterra integral equation of the second kind of the second order with respect to the specified probability [2, 3].

Expected positive effect: the methodology, together with the computer program, should save time and resources of the BTS for testing and evaluate the probabilistic characteristics of failure of a given number of systems in the BTS in the process of exploitation.

11. The means of rational work with BTS information resources in the process of exploitation.

To apply the Means, develop a computer program "Realization of the means of rational processing of information resources and formation of information reserves of a system". In the Means, it is necessary to develop a rational algorithm (scheme) for working with information reserves. In turn, the implementation of the scheme will provide for the development of the structure and content of information reserves. At the same time, accounting and identification of information sources should be provided for in the created information reserves. Expected positive effect: effective integrated use of the developed methods and means of BTS, ensuring a reduction in the consumption of time and resources for evaluating the effectiveness, quality and processing of information in the preparation of timely management decisions during the exploitation of BTS.

Thus, the Means, algorithms, the dynamic model of the BTS, the model of interaction between the elements and the system of supporting systems make up the sixth position to protect, “Models and algorithmic support of decision-making systems when accompanied by big technical systems in the process of exploitation” (5 chapter of the dissertation).

Thus, when setting the task of the dissertation, it is necessary to focus attention on the fact that the main positive effect of the implementation of the practical part being developed is to increase the amount of useful information used while reducing the time and resources for evaluation, which, in turn, will reduce the time for making informed management decisions to improve the efficiency of BTS exploitation.

Stage III. Implementation of methods and means
and evaluation of implementation results

The implementation should take into account the features of the BTS. The evaluation of the results is based on a comparison of the state of affairs before the introduction of methods and means – these are BTS and (or) systems (time periods), that is, control groups (KG), and after the introduction – these are systems (time periods) where methods and means were used, that is, experimental groups (EG). The expected

result is a significant reduction in the cost of time and resources in the EG compared to the KG under the same operating conditions.

Stage IV. Formulation of conclusions and recommendations on the application of methods and means (figures 1.4.1 and 1.4.2)

The main conclusion should contain answers to the questions:

1. "Has the goal of the work been achieved?".

2. "Is the hypothesis of the study confirmed?".

Conclusions and recommendations should be based on a significant improvement in the state of affairs in the subject area under study and take into account the prospects for the development of the assessed BTS, the specifics of the exploitation of the BTS (paragraph No. 1), as well as the development of modern technologies.

In the future, for further scientific research, it is advisable to determine the possibilities of using methods and means in the interests of forming integration reserves to increase (ensure) the effectiveness of the functioning of the BTS.

Since in the future, the formed integration reserves will serve as the basis for ensuring proactive management of the exploitation of BTS in order to significantly reduce:

- the risks of making irrational decisions and the occurrence of errors in the control of the exploitation and maintenance of BTS;

- the number of problems in the exploitation of systems as part of the BTS;

- information load on the LPR (fig. 1.1.6);

- the expenditure of time and resources for the prompt solution of problems arising during the exploitation of the BTS.

Thus, in modern conditions, the methods and means being developed as a set of scientifically sound technical, technological and methodological solutions should serve as the basis for improving management efficiency and will act as an important part of the BTS information reserves, that is, make a significant contribution to the development of the country.

First chapter research findings

Today, the most important way to improve management and decision-making in order to increase the efficiency of BTS is the development and implementation of methods and means as a set of scientifically sound technical, technological and methodological solutions that make a significant contribution to the development of the country.

An objective assessment of the quality of the BTS is possible at the operational stage.

Therefore, at this stage of the life cycle, it is especially important to conduct an assessment in the shortest possible time, which will allow the LPR to make timely and informed management decisions.

The relevance and practical orientation of methods and means are based on the fact that in modern conditions, the effectiveness of BTS largely depends on the quality of the systems in their composition. In turn, ensuring and improving the efficiency of the functioning of the BTS largely depends on timely and informed management decisions made based on the results of the evaluation of the quality of systems in exploitation.

In addition, methods and means will effectively contribute to the formation of information reserves to increase the efficiency of the studied BTS, the training of qualified personnel, the provision of research and development work to improve and develop these BTS.

In the future, the developed methods and means will become even more in demand due to the development and use of modern technologies, which provide prerequisites for increasing their versatility when using a large number of various technical systems as part of BTS for various purposes [160, 194-198, 202, 206].

Chapter 2. Principles, methods and models of evaluation of big technical systems quality in the process of exploitation

2.1. Principles of quality assessment of big technical systems in the process of exploitation

Taking into account the specifics of the subject area of the dissertation (paragraph 1.1), the principles of development, improvement and implementation of methods and means (hereinafter referred to as Principles) should be rationally formulated using the results of scientific research in the field of quality management and preparation of management decisions [11, 12, 15, 106, 113, 119, 150, 177-189, 199, 207], as well as scientific works of the author [33, 50, 52, 70, 73]. Thus, the Principles are the main provisions for assessing the quality of systems in the process of exploitation.

In the future, the Principles being developed will ensure the practical application of methods and means as the basis for the robust stability of the BTS in the presence of uncertainty in the parameter space (robust theory) by determining the area of robust stability of the BTS, that is, determining the actual values of the selected quality indicators, which during the exploitation of systems as part of the BTS, may differ from the calculated (basic or required), but they are guaranteed to allow the BTS to fulfill its intended tasks and (or) achieve the purpose of functioning. The robust stability of the BTS, based on the results of the evaluation of the quality of the systems, will ensure the dynamic safety of the BTS in the process of exploitation, which will reduce the risks for the BTS.

The principles determine the application of methods and means to obtain additional information about the behavior of robustly stable systems in the BTS, especially, this is important, in boundary conditions and under unfavorable operating conditions (paragraph 3.3 of the dissertation). As a result, methods and means will be the most important part of the proactive management of the BTS, allowing with minimal time and resource costs to change the parameters of the systems as part of the BTS.

The first principle is to ensure the effectiveness of methods and means, as well as to minimize the risk of making an incorrect decision based on the evaluation results [73 p. 27].

Ideally, the requirements for the effectiveness of the methods and means being developed can be mathematically expressed by the conditions for the most rational achievement of the purpose of evaluating the BTS in the process of exploitation, namely the following expressions:

$$P_{н.р.} \to 0, \text{ or } R_к \to \min, \text{ or } T_к \to \min \qquad (2.1.1)$$

$P_{н.р.}$ – the probability of making an untimely and incorrect decision (errors of the first or second kind) based on the results of the system quality assessment;

$R_к$ – the cost of resources to ensure quality assessment;

$T_к$ – time spent on assessing the quality of systems. [25, pp. 428-429].

The risk of the system will be considered the probability of making an incorrect and (or) untimely decision ($P_{н.р.}$).

At the same time, in modern science there is no unambiguous and reasonable understanding of the risk of the system applicable to the assessed BTS.

Which, in particular, is confirmed by the following statement of N.D. Ilyenkova: ".... It should be noted that the methodology of risk research and recommendations regarding the possibility of its practical use have not yet been fully formed. An unambiguous understanding of risk has not yet been established" [120, p. 73].

Therefore, the relevance and practical orientation of the first principle will additionally consist in the disclosure of the term "system risk" in relation to the consequences of incorrect decisions.

In this case, the risk of BTS due to the adoption of incorrect and not timely decisions based on the results of the quality assessment is the probability of any increased expenditure of resources and time compared to the predicted option and (or) the probability of loss of stability of the functioning of the BTS, as well as failure to fulfill tasks for their intended purpose [29, 71].

When assessing quality and, accordingly, when making management decisions based on the results of this assessment, there may be errors of the first and second kind.

Error of the first kind – a system that meets quality requirements may be mistakenly recognized as not meeting these requirements or an effective system may be recognized as ineffective.

A second kind of error is a system that does not meet quality requirements, may be mistakenly recognized as meeting these requirements, or an inefficient system may be recognized as effective.

The concept of system risk is directly related to the probability of making a wrong decision ($P_{н.р.}$), which entails errors of the first or second kind.

Taking into account the fact that a timely decision is the most important element of ensuring the effectiveness of the assessed BTS, therefore, reducing the evaluation time will be an additional important factor in reducing the likelihood of errors of the first kind, and therefore improving the efficiency of the exploitation of the BTS. At the same time, the effectiveness of the application of methods and means will be associated with a significant change in quantitative indicators characterizing the costs of all types of resources and time. The quality assessment provides some useful effect, which, in turn, is associated with costs. Comparing the beneficial effect with the costs of obtaining it allows us to judge the effectiveness.

Thus, the first principle traces the relationship between the effectiveness of methods and means and their focus on reducing the risk of BTS (systems) in the process of exploitation [73 p. 28].

The second principle consists in the universality, practical orientation of methods and means, the cheapness and simplicity of their implementation in various BTS without significant expenditure of time and resources for the use of communications, automated control systems (computer equipment) and personnel training (fig. 2.1.1).

Universality is achieved by using unified approaches to assessing the quality of systems, taking into account their specifics, including through the application of the third principle formulated below.

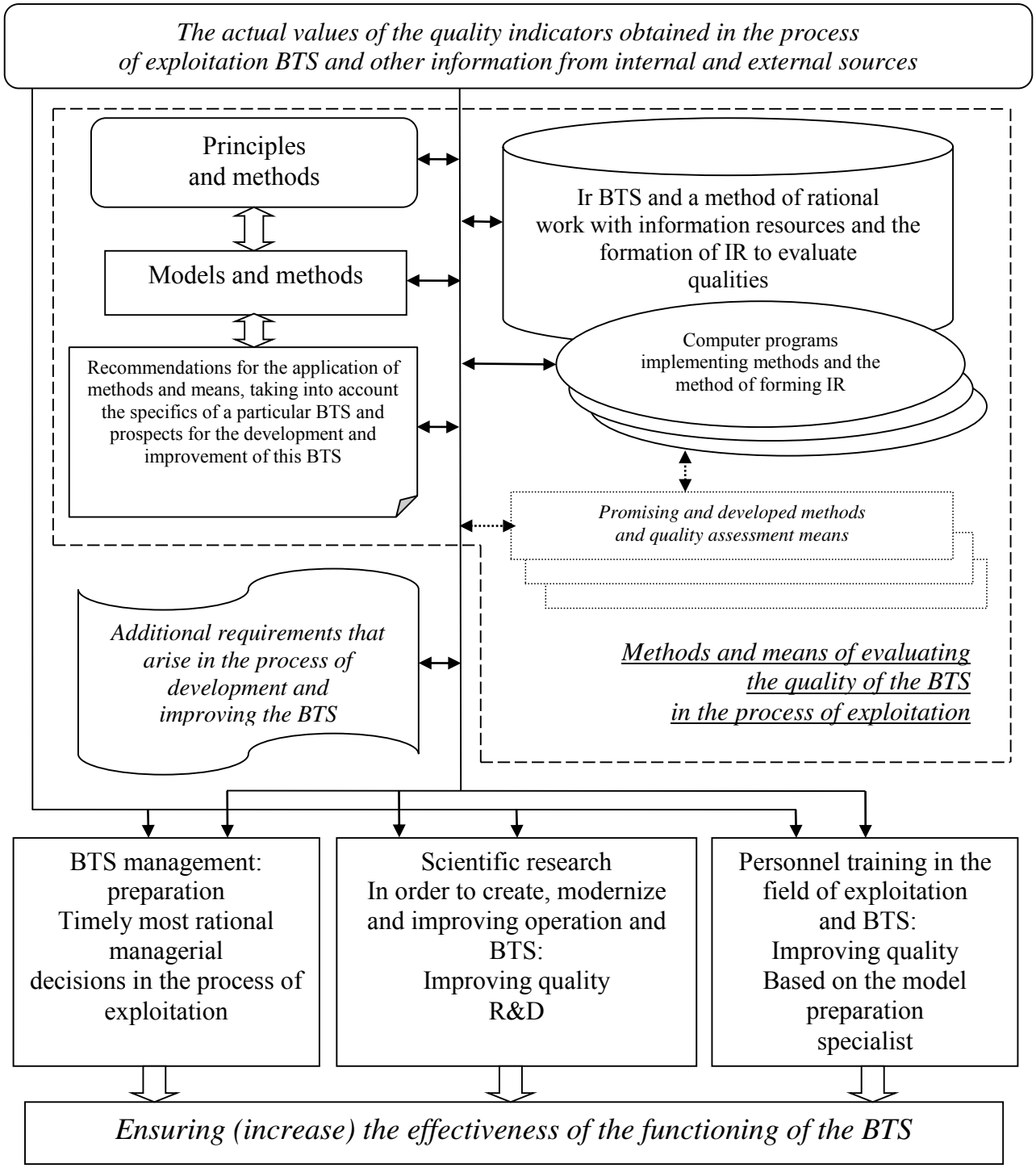


Figure 2.1.1. Scheme of rational application, development and improvement of methods and means

In the BTS information reserves being formed, the universality requirement will be fulfilled through the systematic use of the developed computer programs [43, 44, 45, 46, 47, 53, 59, 77], implementing the created assessment methods and the method of forming

information resources. Which, in turn, provides cheapness and ease of implementation of methods and means [25, 29, 30]. The above, together with the application of the system maintenance model, will contribute to the practical orientation of methods and means in three areas of activity (fig. 2.1.1):

1) improving the efficiency of management, exploitation and maintenance of BTS;

2) improving the quality of R&D for the creation and modernization of BTS;

3) improving the quality of personnel training in the field of exploitation and maintenance.

As a comment to the diagram in figure 2.1.1, it is important to note that the world experience accumulated by quality management specialists indicates that "... the elimination of an error (made at the first stage of the system life cycle) in the process of performing work at the second stage will cost 10 times more on average" [120, p. 101].

In the future, the implementation of the second principle will be aimed at the rational application, development and improvement of methods and means, starting with the preparation of technical tasks for NIOKR (R&D) (fig. 2.1.1).

The application of methods and means in R&D will consist, first of all, in the early elimination of possible errors that degrade the quality of systems, and due to this, conditions will be created to achieve the required level of quality at the initial stages of the life cycle of systems planned for exploitation as part of the evaluated BTS. And at the same time ensures the practical implementation of feedback at subsequent stages in order to assess the effectiveness and obtain initial information for the development of sound proposals to improve the quality of systems [73, 213, 215].

In general, the second principle lays the theoretical basis for the application, development and improvement of the developed methods and means.

The third principle consists in the structural and functional classification of the evaluated systems as part of the BTS (fig. 2.1.2 and fig. 2.1.3) [73 p. 29].

The essence of this principle is to classify the set of evaluated systems (n) first on the basis of the place of exploitation or operating conditions in the structure of the BTS (example – fig. 2.1.2).

For example, for an industrial facility:

1. The systems are operated outside the premises of the BTS – external systems.
2. The systems are operated in the premises of the BTS – internal systems.

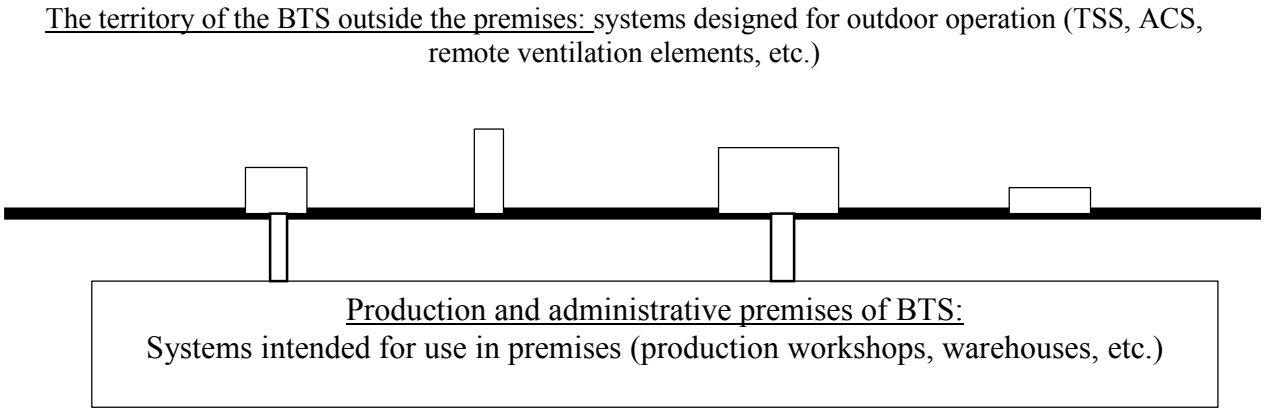


Figure 2.1.2. Internal and external systems as part of the BTS (example)

Further, the division of the resulting set of system groups into three groups is proposed, depending on their functional purpose:

1. A group of systems that provide the performance of the management function.
2. A group of systems that ensure the performance of basic functions.
3. A group of systems that provide auxiliary functions.

Examples are shown in figures 2.1.2 and 2.1.3.

In turn, in order to ensure the required level of detail and more complete consideration of the specifics of the BTS, it is advisable to further divide the obtained three functional groups into many subgroups of systems (products), depending on the function (task) performed as part of the BTS [73]. That is, in essence, depending on the purpose of the system, for example, a power supply system, an alarm system, automatic fire extinguishing, etc.

The classification of systems proposed in the third principle makes it possible to systematize brief characteristics and (or) initial requirements for the evaluated systems according to their structural and functional purpose as part of the BTS.

One of the variants of such a description of systems contains:

1. The place (conditions) of exploitation of the system.

2. Place in the BTS structure.

3. Functions performed.

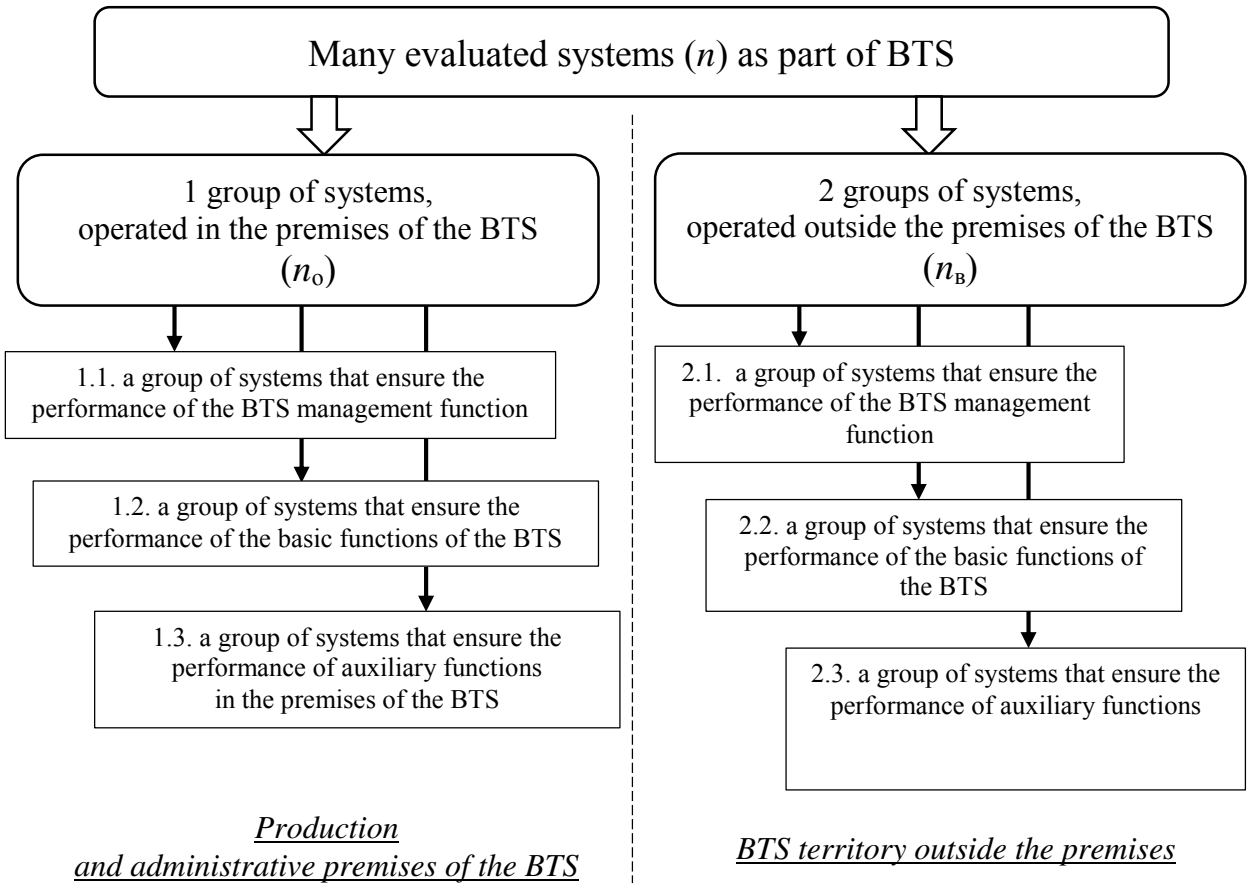


Figure 2.1.3. Classification scheme of BTS systems for quality assessment

For example, for computer equipment as part of the ARM of an official of the BTS management subsystem, the description in accordance with the proposed classification will be as follows:

1. Place (conditions) of the system exploitation: in the administrative building of the BTS.

2. Place in the BTS structure: management subsystem – BTS control point.

3. Functions performed: storage, processing and display of information.

Thus, the application of the third principle allows:

- significantly reduce the time of searching and processing information in the generated information reserves;

- take into account the specifics of the exploitation of systems as part of a particular BTS;

- it is reasonable to make a rating of the evaluated systems in groups and subgroups based on the results of the quality assessment;

- reasonably carry out the selection of systems for evaluation, including analogues operated in similar conditions.

- to reasonably determine the importance (priorities) of systems in the field of ensuring the effective functioning of BTS.

Thus, the principles make it possible to ensure the rational organization of the management decision-making process (fig. 2.1.4).

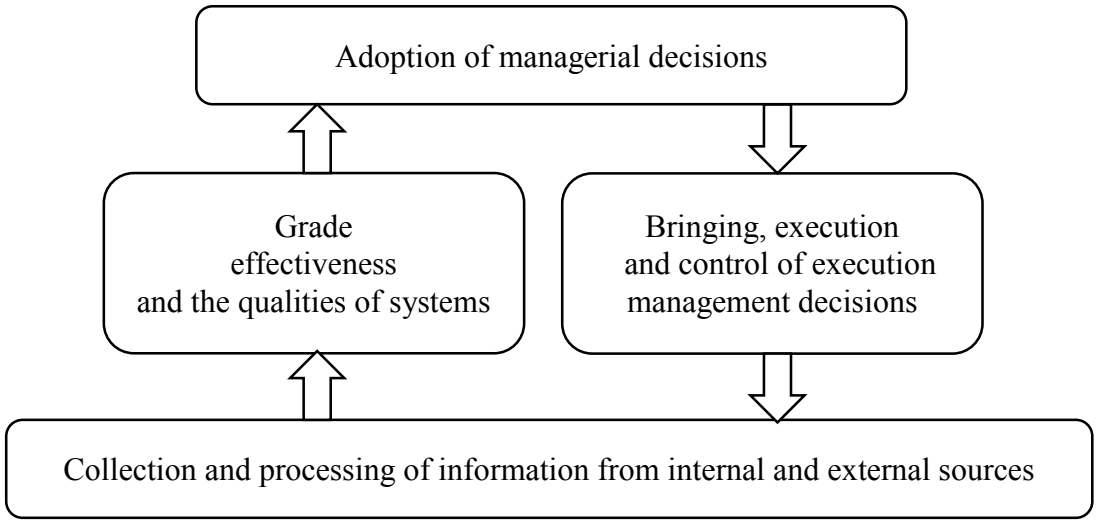


Figure 2.1.4. The cycle of managerial decision-making based on the results of the evaluation of the efficiency and quality of the BTS in the process of exploitation

The formulated principles are largely subject to application in the next paragraph of the dissertation for the development of structural and functional models in the BTS quality assessment method based on structural and functional modeling and subtraction of matrices of values of quality indicators of systems operated as part of the evaluated BTS.

2.2. The method for assessment of the quality of big technical systems based on subtracting matrices of indicators

The setting of the task of dissertation research involves the creation of theoretical foundations of work in order to ensure the most rational achievement of the goal of the study. In the modern world, finding the most rational ways to solve complex poorly constructed problems in the subject of the subject area determines the need to improve traditional methods and means for assessing the quality of systems.

It is important to note that the analysis of the results of scientific works [117, 188] indicates the feasibility of taking into account and implement the possibility of unifying procedures for evaluating the quality of systems and processing information in the management process, which in practice will significantly expand the scope of the developed quality assessment methods. In addition, the formalization of the data on the qualitative state of the systems will contribute to the successful implementation of these methods in computer programs in various application areas.

The methods of qualimetry [4, 159] can be applicable, but require a significant development of methodological tools for each evaluated subject area, as well as for the details of the performed system functions.

Previously, this problem was partially solved by applying the SADT (Structure Analysis and Disign Tecchnique methodology – the methodology of structural analysis and design), which is based on the concept of systemic modeling [106].

This concept allows us to consider the system by describing its functions or objects (data). At the same time, both the classic approach and more modern scientific works [106, 194] in this area demonstrate the narrowly directed nature of the studies of specific technical systems and (or) technological processes. That is, there are obvious gaps in the proposed forms of application of the SADT methodology far from fully meeting modern requirements for unifying the quality of systems in the functioning process.

Systematization of the results of the analysis of scientific works [5, 84, 87, 94, 193] determines the most rational path based on the integrated use of scientific knowledge in the field of increasing management efficiency [9, 12, 213, 216] and the application of the results of improving the applied theory of matrices [92, 93].

In this regard, it seems rational to turn to such a direction of research as the improvement and use of structural-functional models (hereinafter – SFM) of systems, as well as matrices of the values of the quality indicators of the functioning of systems [92, 210, 212, 214].

Therefore, one of the promising and most important directions for the formation of theoretical foundations of the study and the implementation of requirements for the quality of systems is the development and implementation of the method for assessment of the quality of big technical systems based on subtracting matrices of indicators (hereinafter – the method).

Purpose of the method: A comprehensive assessment of the quality of the BTS (systems) and the systematization of the results of quality assessment in the interests of preparing timely and reasonable management decisions [67, p. 99].

The essence of the method: consists in a complex comparison of the values of quality indicators obtained in the form of statistical information from internal and external information resources, taking into account the requirements for BTS and systems in its composition. At the same time, the information is systematized and checked for compliance with the requirements in formalized tabular forms for each selected quality indicator. The proposed approach provides ample opportunities for system analysis and evaluating the quality of systems using large volumes of information, including those received from the Internet [32, 36, 67, 162].

The algorithm for assessing the quality of systems by subtracting matrices of the values of quality indicators is presented in figure 2.2.1.

Scope of the method: assessment of the quality of BTS (systems) in the process of exploitation [78, p. 30].

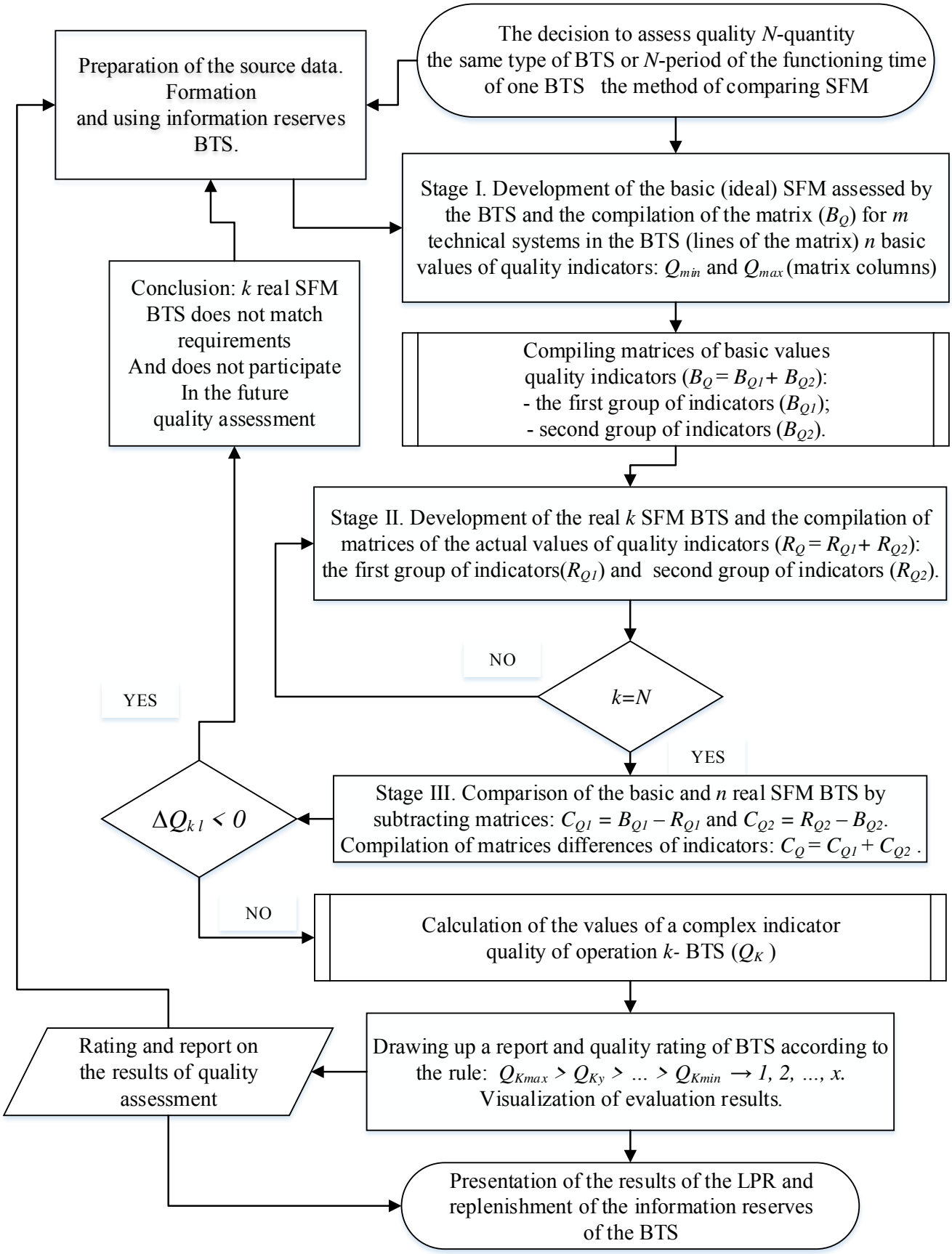


Figure 2.2.1. Scheme of the algorithm for assessing the quality of systems by subtracting matrices of the values of quality indicators

Accepted assumptions: there are many required and valid values of the quality indicators of evaluated systems characterizing the performance of specified functions in the process of exploitation.

Restrictions: The evaluated systems are the same in composition of technical systems (products, software and hardware) and perform the same functions in the same operating conditions for the estimated period of time.

The relevance of the application of the method in this subject area is due to the fulfillment of the following basic requirements in the field of ensuring the adoption of reasonable management decisions (hereinafter – the requirements):

1. Accounting for the purpose and specifics of the exploitation of systems, as well as the limiting values of quality indicators.

2. The rational use of information from external and internal information resources.

3. Processing and systematization of a large amount of statistical information in BTS information reserves.

4. Creation and maintenance of databases when reducing resource and time consumption for processing and access to information.

Therefore, the development of the method required a comprehensive solution to the main problems [78, p. 31]:

- determine the content of the basic SFM and real SFM;

- determine the most rational procedures for evaluating quality by comparing the basic SFM and real SFM, as well as information processing;

- develop unified typical tabular forms for building SFM with the aim of reasonable compilation of matrices of the values of the quality indicators of technical systems (TS) operated in the systems in the evaluated period of time (hereinafter – matrices) [163];

- to ensure the rational implementation of the procedures for the preparation and subtraction of matrices to determine groups of values of quality indicators and formulate the rules for subtracting matrices when comparing the SFM;

- develop a formula for calculating normalized weight coefficients for each quality indicator depending on the priorities performed by the function evaluated by the vehicle operated in the system (q_l);

- develop a formula for calculating a comprehensive indicator of the functioning of the system (Q_K) and the rule of drawing up the quality rating of systems depending on the obtained value Q_K.

In the development of the method, methods of systemic analysis and synthesis [13] were used when compiling a general basic formula for structural-functional modeling of systems in unified typical tabular forms.

The foundations of the SADT methodology [106] were used in determining the stages of the method and representing tabular forms [163].

The theory of matrices [92, 93] was used to formulate the rules for compiling and subtracting matrices of the values of quality indicators (hereinafter – matrices) when comparing the basic and real SFM.

To develop formulas for calculating normalized weight coefficients for each quality indicator (Q_l) and a comprehensive quality indicator (Q_k), as well as for the formula for compiling the quality rating of systems, used:

- basics of qualimetry;

- differential quality assessment method;

- a method of calculating arithmetic progression.

Thus, in the method developed, the required degree of integration of scientific knowledge was achieved with the subsequent unification of the results in the interests of the rational solution of practical problems of assessing the quality of BTS for various purposes in the process of exploitation [78, p. 32].

In order to practical the implementation of this approach and the fulfillment of the requirements, the method is developed on the basis of subtracting matrices formed by constructing the basic and real structural-functional models of the BTS (system).

To achieve practical goals of the study, the method of developing the method used system analysis and synthesis in compiling a general basic formula for structural-functional modeling of the BTS in unified typical tabular forms [67, p. 100].

The basic formula for structural and functional modeling of systems in specially designed unified tabular forms at the I stage ($M_Б$) and stage II (M_P) is the following expression:

$$M_Б = (O, F_N, ST, P, \varphi, S_B, \Delta T_B) \qquad (2.2.1)$$

in which O = (org., m), where org. – the operator of the organization, and M – technical systems operated in the BTS;

- F_N=(Rg., f), where Rg. – rounding operator, and f – the functions of the system;

- ST – BTS structure, structural units;

- P – many indicators of the quality of technical systems (TS) operated as part of the BTS (in table 2.2.2 – from P_1 to P_K);

- φ – many veto coefficients in the form of established restrictions for values P: Q_{min} and Q_{max}.

Similarly, the real SFM is compiled, but already on the basis of the actual values of quality indicators [78, p. 33].

The tabular forms of SFM are used at all three stages of the method for compiling matrices, the algorithm – fig. 2.2.1.

The method for structural and functional modeling provides for the use (at the choice of the contractor) two types of unified tabular forms [163]:

1st type – presented in the form of two interconnected tables 2.2.1 and 2.2.2.

2nd type – presented in the form of a single tabular form used at all three stages of the method (tables 2.2.3, 2.2.4 and 2.2.5).

Unified typical tabular forms of the first type (table. 2.2.1 and 2.2.2) to build structural-functional models of BTS are used depending on the implementation of one of the three stages of the method (fig. 2.2.1).

Table 2.2.1

General information about the functions and structure of the BTS

Functions rounding by their priority (importance)	Structural divisions (SD) performing these functions	Technical systems (TS) as part of SD, ensuring the performance of functions	Number (M) of values (Q) of quality indicators (P) for assessing the set TS (elements) in the composition systems – communication with table 2.2.2
Function 1	*1.1 structural units*	*1.1 TS*	1
	…	…	…
	1.j structural units	*1.j TS*	…
...	…	…	z
Function i	…	…	…
	i.j structural units	*i.j TS*	*m*

Table 2.2.2

The values of indicators of the quality assessment of the system and their distribution depending on the priority of influence on the functioning

Numbers lines/columns compiled matrices	P_1 *(unit)*		...	P_k *(unit)*	
	Minimum value	Maximum value	…	Minimum value	Maximum value
	1	2		$2k-1$	$2k$
1	$Q_{1.1.1min}$	$Q_{1.1.1max}$	…	$Q_{1.1.k.\ min}$	$Q_{1.1.k.\ max}$
2, … z, … $m-1$,	…	…	…	…	…
m	$Q_{i.j.1min}$	$Q_{i.j.1max}$	…	$Q_{i.j.kmin}$	$Q_{i.j.kmax}$

In table 2.2.2. And further: K is the number of quality indicators selected for assessing (P).

Accordingly, in the matrix, the number of lines is equal to the number M (the first column of table 2), and the number of columns (n) is equal to the product: $n = 2k$.

The representation of the SFM in unified tabular forms provides a given degree of detail of the description of the functioning of the evaluated system, the compilation of matrices of quality indicators and the assessment of quality by subtracting these matrices at the third stage of the method [78, p. 34].

So, the method includes the sequential execution of three stages:

Stage I. Development of the basic structural-functional model of the BTS (table 2.2.3 “B”) by systematizing the functions, requirements and restrictions on the system in the form of a specially designed table 2.2.3 “B”.

Where the letter "B" means "basic model of the BTS."

The basic structural-functional model of the BTS is based on the formula (2.2.1), taking into account the planned total consumption of resources and (or) cash resources for the “ideal” BTS and the required period of time ΔT_B, during which the BTS must meet the basic requirements, systematized in table 2.2.3 "B".

Table 2.2.3«B»

Basic structural and functional model of BTS _____

The purpose of the BTS functioning:_____			Date and time of SFM creation: _____					
Functions ranking by their priority (importance)	Subsystems, structural divisions of BTS	Technical systems (quantity)	Requirements for the limit values of indicators for assessing the quality of systems (priority of impact on performance)					
			1 Indicator (unit.) – φ		...		*k- Indicator (unit.)*	
			Min. value	Max. value	...	...	Min. value	Max. value
Function 1	*1.1 SD*	*1.1 TS*	$Q_{1.1Bmin}$	$Q_{1.1Bmax}$	...	...	$Q_{k.1Bmin}$	$Q_{k.1Bmax}$
	…	…	…	…	...	...	…	…
	1.j SD	*1.j TS*	$Q_{1.jБmin}$	$Q_{1.jБmax}$	...	...	$Q_{k.jБmin}$	$Q_{k.jBmax}$
…	…	…	…		...	...	…	…
Function i	…	…	…		...	...	…	…
	…	…	…		...	...	…	…
	i.j SD	*i.j TS*	$Q_{1.jBmin}$	$Q_{1.jBmax}$	...	...	$Q_{k.jBmin}$	$Q_{k.jBmax}$
Total resource consumption (cash.): no more $\underline{S_B}$			The required period of exploitation of the BTS not less: $\underline{\Delta T_B}$					

For critically important values of indicators in the base model, the introduction of a veto coefficient is provided, since in any technical system there are usually requirements for the established parameters of which the reduction of which is strictly unacceptable.

In the method, the veto coefficient is a function that, when any of the most important single indicators for permissible limits, becomes equal to zero, the formula (2.2.2) [78, p. 34].

In all other cases, the veto coefficient $\varphi(Q_i)$ remains equal to one, formula (2.2.2).

$$\varphi(Q_i) = \begin{cases} 1, \text{если } Q_{i_{min}} < Q_i < Q_{i_{max}} \\ 0, \text{если } Q_{i_{min}} \geq Q_i \geq Q_{i_{max}} \end{cases} \quad (2.2.2)$$

For the basic SFM, this will be expressed in the application of the basic requirements to the values Q_{min} and Q_{max}.

In the structural and functional model of the BTS, the ranking of functions, as well as structural units and technical systems that ensure the performance of these functions, is carried out depending on their importance for achieving the goal of the functioning of the BTS [163].

When constructing a structural and functional model, it is recommended to rank critical indicators depending on their significance for achieving the goal of functioning of the BTS from *1* to *k*. Where, respectively, the most important indicator will be in the first place (the 1st indicator in table 2.2.3 "B", and in the last place *k* will be the least important indicator (the *k* indicator in table 2.2.1 "B"), etc.

If a veto coefficient is introduced for an indicator in the base SPS (formula 2.2.1), then this indicator in table 2.2.3 "B" is marked with the letter φ.

Based on the basic structural-functional model BTS (the right part of table 2.2.3 “B”) for further calculations, it is advisable to compose a matrix of basic values of quality indicators (B_{mn} and B_Q) – formula (2.2.3) [78, p. 34]:

$$B_Q = \begin{pmatrix} Q_{1.1.1min} & Q_{1.1.1max} & \cdots & Q_{1.1.k.min} & Q_{1.1.kmax} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Q_{1.j.1min} & Q_{1.j.1max} & \cdots & Q_{1.j.kmin} & Q_{1.j.kmax} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Q_{i.j.1min} & Q_{i.j.1max} & \cdots & Q_{i.j.kmin} & Q_{i.j.kmax} \end{pmatrix} \quad (2.2.3)$$

Depending on the groups of quality indicators, the matrix (2.2.3) can be rationally transformed in accordance with the algorithm (fig. 2.2.2) and the following rules into two matrices, that is $B_Q = B_{1mn} + B_{2mn}$ or $B_Q = B_{Q1} + B_{Q2}$.

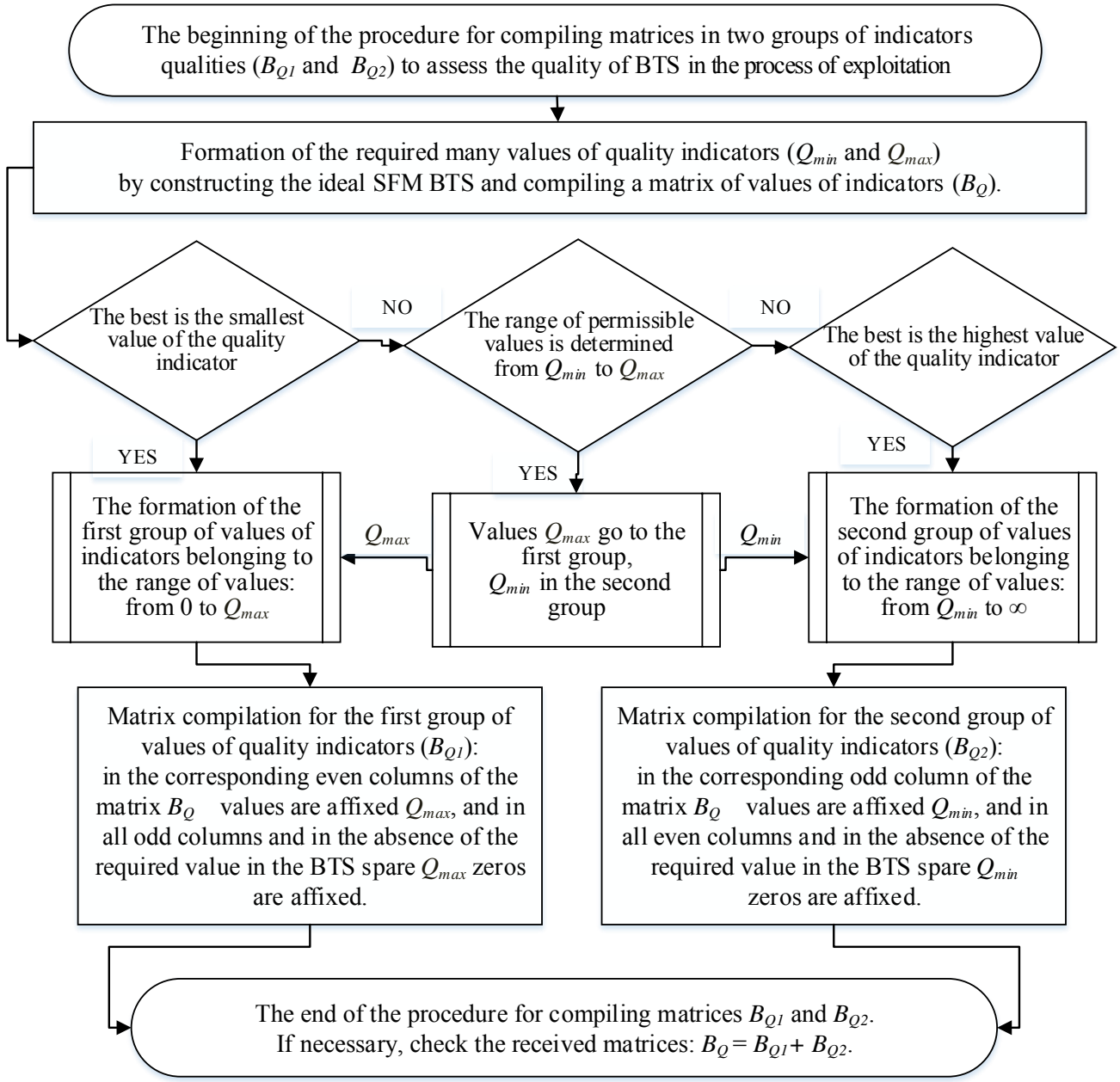


Figure 2.2.2. Diagram of the algorithm of the procedure for compiling matrices for two groups of values of quality indicators

The first rule: compilation of matrices of the first group of values of quality indicators – B_{1mn}. [78, c. 35].

In this matrix, the lowest value of the quality assessment indicator is considered the best (Q_{min}). In the matrix B_{1mn} instead of all minimum values of quality indicators (Q_{min}) zero is set (2.2.4):

$$B_{1mn} = \begin{pmatrix} 0 & Q_{1.1.1max} & \dots & 0 & Q_{1.1.kmax} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & Q_{1.j.1max} & \dots & 0 & Q_{1.j.kmax} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & Q_{i.j.1max} & \dots & 0 & Q_{i.j.kmax} \end{pmatrix} \quad (2.2.4)$$

As can be seen from expression (2.2.4) B_{1mn}, only even columns of this matrix are filled in the matrix B_{1mn} (based on data from the table of the basic SFM).

The second rule: creating matrices of the second group of values of quality indicators – B_{2mn}. Here, the highest value of the quality assessment indicator (Q_{max}) is considered the best. Therefore, in the matrix B_{2mn}, instead of all the maximum values of quality indicators (Q_{max}), put zero. In the matrix of the second group B_{2m}, only odd columns are filled in the formula (2.2.5):

$$B_{2mn} = \begin{pmatrix} Q_{1.1.1min} & 0 & \dots & Q_{k.1.1min} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{1.j.1min} & 0 & \dots & Q_{1.j.kmin} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{i.j.1min} & 0 & \dots & Q_{i.j.kmin} & 0 \end{pmatrix} \quad (2.2.5)$$

The third rule: if a range of basic values from Q_{min} to Q_{max} is set for some indicator, then in this case these values are taken into account according to the above rules both in the first and second group. That is, Q_{min} values will be present in the matrix B_{2mn}, formula (2.2.5), and Q_{max} values will be part of the matrix B_{1mn} – formula (2.2.4).

Stage II. The compilation of matrices of the real values of quality indicators by constructing the required number of real structural-functional models of the BTS in the form of table 2.2.4 “P” for the estimated period of time ΔT_p, Taking into account the spent resources (money) Sp for the exploitation of BTS during the time ΔT_p. Where “P” is, respectively, the real BTS model [78, p. 36].

The number of real SFMs will be equal to the number of evaluated systems and (or) the number of estimated periods of exploitation of one system.

The real SFM reflect the fulfillment by the systems of their functions and the real active structure of the system, which is expressed in the actual values of the quality indicators of the functioning of the system.

Table 2.2.4 "P"

Real structural and functional model BTS _____

The purpose of the functioning of BTS: _____ Result exploitation: The goal has been achieved or not achieved			Assessed period: _____ $\underline{\Delta T_p}$					
Functions ranking by their priority (importance)	Subsystems, structural divisions of BTS (SD)	Technical systems (TS)	Requirements for the limit values of indicators for assessing the quality of systems (priority of impact on performance)					
			1 Indicator (unit.) - φ		*... (unit.)*		*k- Indicator (unit.)*	
			Min. value	Max. value			Min. value	Max. value
Function 1 completed or not fulfilled	*1.1* SD *in stock or not available*	*1.1 TS in stock or not available*	$Q_{1.1\text{pmin}}$	$Q_{1.1\text{pmax}}$			$Q_{k.1\text{pmin}}$	$Q_{k.1\text{pmax}}$
	…	…	…	…	…	…	…	…
	1.j SD *in stock or not available*	*1.j TS in stock or not available*	$Q_{1.j\text{pmin}}$	$Q_{1.j\text{pmax}}$			$Q_{k.j\text{pmin}}$	$Q_{k.j\text{pmax}}$
…	…	…	…		…		…	
Function i completed or not fulfilled	…	…	…	…	…	…	…	…
	…	…	…	…	…	…	…	…
	i.j SD *in stock or not available*	*i.j TS in stock or not available*	$Q_{1.j\text{pmin}}$	$Q_{1.j\text{pmax}}$			$Q_{k.j\text{pmin}}$	$Q_{k.j\text{pmax}}$
Total real resource consumption (money): $\underline{S_p}$			Time period exploitation BTS: $\underline{\Delta T_p}$					

Further, at the second stage of the method, according to the rules for compiling matrices and expressions (2.2.4) and (2.2.5), matrices of the actual values of quality indicators: for the first group – R_{1mn} and for the second group – R_{2mn}.

Stage III. Comparison of the basic and real SFM by subtracting matrices.

In fact, subtracting matrices aims to assess the quality of BTS by comparing the basic and real structural-functional BTS models with the systematization of results in tables 2.2.5 “C” and 2.2.6 [163].

Where «C» – These are the results of comparing these models, taking into account the introduced veto coefficients, formula (2.2.2).

The results of the comparison are entered into the corresponding cell of table 2.2.5 “C” according to the principle “corresponds” or “does not correspond” [163].

Table 2.2.5 "C".

The results of quality assessment BTS_____

by comparing the basic and real structural-functional models

<table>
<tr><td colspan="3">The purpose of functioning BTS: _____</td><td colspan="5">Assessed period: _____ ΔT_p</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Functions ranking by their priority (importance)</td><td rowspan="3">Subsystems, structural divisions of BTS (SD)</td><td rowspan="3">Technical systems (TS)</td><td colspan="5">The actual values of indicators of the quality assessment of systems obtained for the period exploitation Δt (priority of impact on exploitation)</td></tr>
<tr><td colspan="2">1 Indicator (unit.) - φ</td><td colspan="2">...</td><td colspan="2">k- Indicator (unit.)</td></tr>
<tr><td>Min. value</td><td>Max. value</td><td></td><td></td><td>Min. value</td><td>Max. value</td></tr>
<tr><td>Function 1
If completed, it corresponds

if not completed, then does not match</td><td>1.1 SD
if available, then corresponds to if not available, then does not match</td><td>1.1 TS
if available, then corresponds to if not available, then does not match</td><td>$\Delta Q_{1.1\,min}$</td><td>$\Delta Q_{1.1\,max}$</td><td></td><td></td><td>$\Delta Q_{k.1\,min}$</td><td>$\Delta Q_{k.1\,max}$</td></tr>
<tr><td>…</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Function i
If completed, it corresponds

if not completed, then does not match</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td></tr>
<tr><td>…</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td><td>…</td></tr>
<tr><td>i.j SD
if available, then corresponds to if not available, then does not match</td><td>i.j TS
if available, then corresponds to if not available, then does not match</td><td>$\Delta Q_{1.j\,min}$</td><td>$\Delta Q_{1.j\,max}$</td><td></td><td></td><td>$\Delta Q_{k.j\,min}$</td><td>$\Delta Q_{k.j\,max}$</td></tr>
<tr><td colspan="3">Resource expenditure evaluation results (money): $S_T = S_Б - S_p$
if $S_T \geq 0$, then the object meets the requirements for the consumption of resources, and if $S_T < 0$, it does not correspond</td><td colspan="5">BTS rating results for time exploitation: $T = T_Б - T_p$
if $T \leq 0$, then the object meets the requirements for the time, and if $T > 0$, it does not correspond</td></tr>
</table>

Directly, the quality of the systems is carried out by subtracting matrices. The first rule of subtraction of matrices: for matrices of the first group of the difference in values of indicators of the quality of systems are calculated by the formula, (C_{1mn}), (2.2.6):

$$C_{1mn} = B_{1mn} - R_{1mn} \qquad (2.2.6)$$

The second rule of subtraction of matrices: for matrices of the second group of the difference in values of the quality indicators of systems according to the formula, (C_{2mn}), (2.2.7):

$$C_{2mn} = R_{2mn} - B_{2mn} \tag{2.2.7}$$

Next, when adding the resulting results, we get a common matrix of the differences in the values of indicators (C_{mn}) – formula (2.2.8):

$$C_{mn} = C_{1mn} + C_{2mn} \tag{2.2.8}$$

As a result, the C_{mn} matrix takes on the following view:

$$C_{mn} = \begin{pmatrix} \Delta Q_1 & \Delta Q_2 & \dots & \Delta Q_{2k-1} & \Delta Q_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta Q_{2k(z-1)} & \Delta Q_{2k(z-1)+1} & \dots & \Delta Q_{2kz-1} & \Delta Q_{2zk} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta Q_{2k(m-1)} & \Delta Q_{2k(m-1)+1} & \dots & \Delta Q_{2mk-1} & \Delta Q_{2mk} \end{pmatrix}$$

Using the expression (2.5), that is, the C_{mn} matrices, it is possible to justify the tabular forms (table. 2.2.5 “C” and table. 2.2.6) of the differences in the indicators of the quality assessment of the system (ΔQ_l) and distribute them depending on the established In the table of the basic SFM priorities of influence on the functioning of the system [67, p. 101].

Expressions (2.2.6), (2.2.7) and (2.2.8) allow you to formulate the basic rule of comparison of the basic and real SFM: if the matrices C_{1mn} or C_{2mn} contain a negative number ($\Delta Q_{ij} <0$), then conclusion is drawn, that the real SFM does not meet the established requirements and in the further assessment of the quality this SFM (system) does not participate – the algorithm for fig. 2.2.1.

Given the above to assess the quality of systems, it seems to be the most rational to use the integrated indicator of the quality of system functioning (Q_K). In addition, the preparation of the quality rating of systems and (or) periods of the functioning of one system is also advisable to perform using Q_K values. To calculate Q_K values, it is important to consider that in the unified tabular form of the SFM and in the C_{mn} matrix, the most important value of the quality indicator is the smallest serial number: $l=N_{min}=1$.

And vice versa, the least importance of the quality indicator is the largest serial number (l) of the C_{mn} matrix equal to the work: $N_{max}=mn$.

Therefore, in order to enhance the practical significance of the Method, it is advisable to make a table of differences in quality indicators (Table 2.2.6) based on the matrix of the differences in the values of indicators (C_{mn}), formula (2.2.8), and the right part of table 2.2.5 "C" [163].

Таблица 2.2.6

Values of the differences of quality indicators (ΔQ_l),
obtained when comparing the basic and real SFM BTS given the normalized weight coefficients of importance for each indicator value (q_l)

Numbers lines/ columns	Product of the value of the differences in quality indicators (ΔQ_l) and q_l					
	1	2	…	k	…	n
1	$q_1\Delta Q_1$	$q_2\Delta Q_2$	…	$q_k\Delta Q_k$	…	$q_n\Delta Q_n$
2	$q_{n+1}\Delta Q_{n+1}$	$q_{n+2}\Delta Q_{n+2}$	…	$q_{n+k}\Delta Q_{n+k}$	…	$q_{2n}\Delta Q_{2n}$
…	…	…	…	…	…	…
z	$q_{(z-1)n+1}\Delta Q_{(z-1)n+1}$	$q_{(z-1)n+2}\Delta Q_{(z-1)n+2}$	…	$q_{(z-1)n+k}\Delta Q_{(z-1)n+k}$	…	$q_{zn}\Delta Q_{zn}$
…	…	…	…	…	…	…
m	$q_{(m-1)n+1}\Delta Q_{(mz-1)n+1}$	$q_{(m-1)n+2}\Delta Q_{(mz-1)n+2}$	…	$q_{(m-1)n+k}\Delta Q_{(mz-1)n+k}$	…	$q_{mn}\Delta Q_{mn}$

Table 2.2.6 (and in the C_{mn} matrix) normalized weight coefficients of importance for each quality indicator depending on the priorities of the function performed by the technical system or element in the composition BTS (q_l), calculated by the formula (2.2.9):

$$q_l = \frac{2((mn - l) + 1)}{mn + (mn)^2} \qquad (2.2.9)$$

where l – this is a serial number of the difference in indicator in the matrix C_{mn}.

Then using the formula (2.2.9) and systematized in table 2.2.6 and in the matrix C_{mn} the difference in values of indicators of the quality assessment of the system ($\Delta Q_l = \Delta Q_N$) t is possible to calculate the integrated indicator of the functioning of the evaluated system (Q_K), by the formula (2.2.10):

$$Q_K = \sum_{l=1}^{l=mn} \Delta Q_l \frac{2((mn - l) + 1)}{mn + (mn)^2} \quad (2.2.10)$$

At the third stage of the formula (2.2.10) method, it allows you to evaluate many real systems or their SFMs or many identical periods of the functioning time of one system with the construction of the quality rating on the principle: the greater the value Q_K (that is, more value ΔQ_N in the matrix C_{mn}), The higher the quality of the system. Therefore, the rule of drawing up the quality rating of systems or evaluated periods of the functioning time of one BTS can be represented as the following expression (2.2.11) [163]:

$$Q_{K\,max} > Q_{Kl} > ... > Q_{K\,min} \Rightarrow 1,2,..., x \quad (2.2.11)$$

where x – this is the lowest possible place in the ranking.

Thus, the application of the Method will contribute to resolving the contradiction between the need to reduce the time of making managerial decisions on choosing the best systems and the objective need to process significant amounts of data.

An example of a software implementation of the Method is presented in section A.1 of Appendix A of the dissertation. At the same time, it is important to note another positive feature of the Method for its practical application in the following example.

Let's assume that in a real BTS SFM there is a certain set of quality indicators set by LPR: P_1, P_2, P_3, ... P_i.

And let from this set: P_4 – this is the number of failures for the estimated period of exploitation (unit of measurement is the number of failures).

Comment: in the process of compiling the basic SFM BTS, when determining the requirements for the number of failures, we take the most acceptable value, because in practice, the minimum is the possible value of the number of failures – this is always “zero”. Obviously, ideally $P_4 \rightarrow 0$.

That is, in the P_4 method, the first group of values of quality indicators (B_{1mn}), where the smallest value of the quality assessment indicator (Q_{min}) is considered the best.

For matrices of the first group of values of indicators: $C_{1mn} = B_{1mn} - R_{1mn}$.

That is for P_4: $\Delta Q_4 = Q_{4\,basic} - Q_{4\,real}$

Based on this expression, we consider using calculated examples of three possible options for the first group of values of quality indicators (B_{1mn}).

Option 1, $Q_{4\,basic} < Q_{4\,real}$. $\Delta Q_4 < 0$.

And then according to the basic rule of subtracting Matrices: if Matrices C_{1mn} and C_{2mn} contain a negative number ($\Delta Q_l < 0$), The conclusion is concluded that the real BTS SFM does not meet the requirements and this BTS does not participate in the further quality assessment, which does not meet the basic requirements.

Option 2, $Q_{4\,basic} = Q_{4\,real}$.

We have: $\Delta Q_4 = 0$. This means that by value P_4 the BTS SFM assessed is at the basic level, meets the requirements and continues to participate in the assessment of the quality.

Option 3, $Q_{4\,basic} > Q_{4\,real}$. $\Delta Q_4 > 0$.

Conclusion on the third case: the smaller the value $Q_{4\,real}$ (that is, the number of failures is less) the greater the value ΔQ_4, but not more $Q_{4\,basic}$. In other words, ideally in the evaluated BTS: $Q_{4\,real} = 0$ and then $\Delta Q_4 = Q_{4\,basic.}$

Thus, it is possible to derive expressions of the necessary rules for the participation of the BTS in the assessment of quality when applying the method for the values of the quality indicators of the first group (Q_{1l}): $0 \leq \Delta Q_{1l} \leq Q_{1lbasic.}$

Similar physical meaning is preserved for the values of the indicators of the second group.

Hence we get an expression of the necessary rules for the participation of the BTS in the assessment of quality when applying the method for the values of the quality indicators of the second group (Q_{2l}): $Q_{2l} \geq Q_{2lbasic}$.

To enhance the positive effect of using the method, it is advisable to systematize quality indicators used in matrices.

Today, based on the results of the development and integration of infocommunication technologies in the BTS, as well as regulatory and technical documents for the exploitation of technical systems, to rationally determine the list of basic indicators of quality.

1. The quality indicators of the BTS of the first group ($Q_{min} \rightarrow 0$).

1.1. The number of system failures in the estimated period of exploitation.

1.2. The consumption of resources for the creation, exploitation, maintenance, repair, modernization and disposal of systems (minimum consumption at all stages of the life cycle).

1.3. The time of transmission of the message to the information control loop and (or) the time of management information cycle.

1.4. The time of maintenance and repair (recovery) of the system.

1.5. The number of personnel serviced.

1.6. The number of external infrastructure elements necessary for the stable exploitation of the BTS (systems in its composition).

1.7. The time is required for commissioning and training of personnel.

1.8. Resources consumption for maintenance and training of personnel.

1.9. The likelihood of loss (distortion, interception, entry of false information into the information control loop) information.

1.10. The probability of a malfunction (destruction) of a given number of elements in the BTS and (or) BTS as a whole.

2. Quality indicators of the BTS of the second group ($Q_{max} \rightarrow \infty$).

2.1. The volume of transmitted (processed) information in the ICC.

2.2. The speed of transmission (access, processing) of information.

2.3. The volume of stored information.

2.4. The time of stable exploitation of the BTS in adverse environmental conditions.

2.5. The operating time of the system to planned maintenance (overhaul, modernization).

3. Indicators of the quality of BTS, which, when compiling matrices, can be included in the first and second group, that is, this is the case when the range of parameters sets:

$$Q_i \in [Q_{min}, Q_{max}].$$

3.1. The number of BTS elements in exploitation (readiness)

3.2. The number of BTS service personnel.

3.3. The number and type of required communication and processing services.

These indicators express the requirements of technical regulations, restrictions in resources and requirements (standards) to ensure the process of operating control of the BTS.

The software implementation of the method (section A.1 of Appendix A dissertation) allows many visualization options (examples in fig. 2.2.3 - 2.2.8) of the evaluation results in forms convenient for the perception of information of the LPR and officials of the Governing organs [53]. This circumstance will additionally contribute to the improvement of the control of the BTS [67, p. 101].

The use in the method of matrices, compiled on the basis of tabular forms of basic and real SFM, provides ample opportunities for visualization and modeling of the dynamics of indicators during the exploitation of BTS.

Consider examples of the most common forms of visualization in the form of graphs and diagrams built using various computer programs that implement the method [53, 163].

The main form of visualization is the construction of the quality rating of BTS or periods of exploitation of one BTS (hereinafter – the rating).

Figure 2.2.3 presents a tabular form with the possibility of accounting for the time and date of the rating. Another rating option is in figure 2.2.4.

The main recommendation of the LPR for the most rational use of the rating is that the base model is not always “ideal”, it is only a basic level for evaluation, since assessment is always a comparison with something in our case with a given basic level.

The concept of “ideal model” is true only from the point of view of the compiler of the LPR (person) and (or) technical regulations (which also make up people), and as you know, people can be mistaken or the requirements for the BTS evaluated can radically change.

Рейтинг ТКС /время/дата/		
Место	№ ТКС	Q_i
1	5	5,14
2	8	4,37
3	4	4,30
4	7	4,20
5	3	3,71
6	6	3,68
7	2	3,39
8	1	2,51

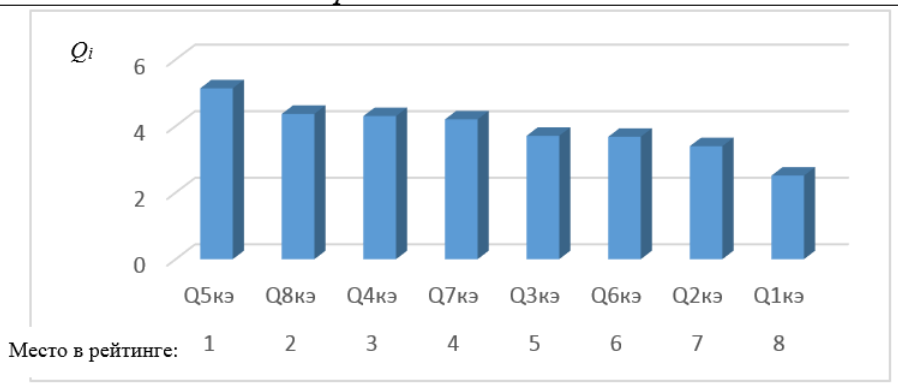


Figure 2.2.3. An example of an option for visualizing the quality rating of systems

To substantiate various options for managerial solutions to change the composition of the BTS and (or) the modernization of equipment, it is possible to use the diagram of the contribution of the values of the actual indicators of the quality of the vehicle included in the BTS to the size of the integrated quality indicator of the given BTS assessed. In this matter, an example in figure 2.2.5 illustrates the state of affairs when assessing the quality of the basic station of the GSM cellular network of the Said (in fig. 2.2.5 is TKS-3) [67, p. 103].

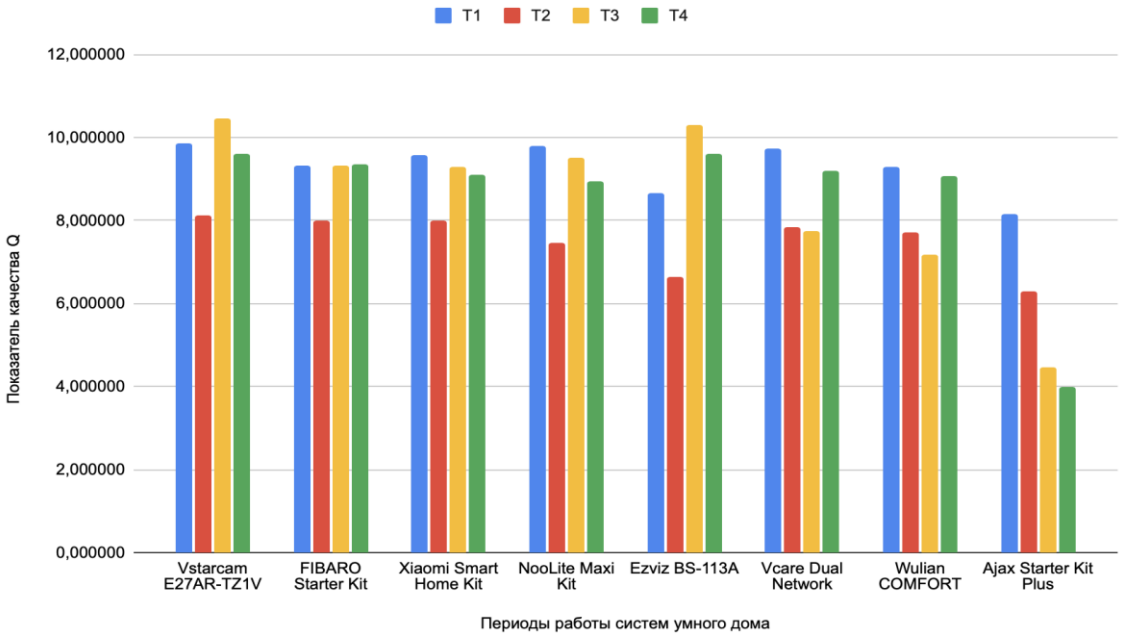


Figure 2.2.4. The results of comparison of values complex quality indicators (Q) of the Smart House systems for four estimated periods of time (T1, T2, T3 and T4)

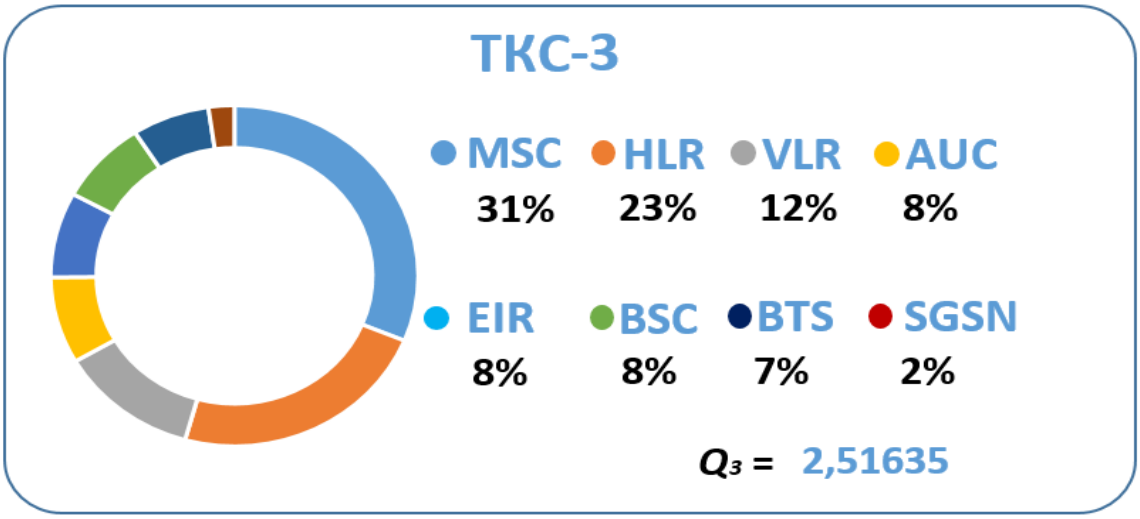


Figure 2.2.5 The influence of various values of the actual quality indicators on the value of the complex quality indicator TKS-3 (Q_3)

For similar purposes, as well as to justify decisions when developing the requirements for BTS, it is rational to use information about the dependence of the values of the integrated quality indicator of the evaluated system on changes in the minimum and maximum values of the quality indicators of the elements as part of this system (examples – fig. 2.2.6, 2.2.7 and 2.2.8) [67, p. 103].

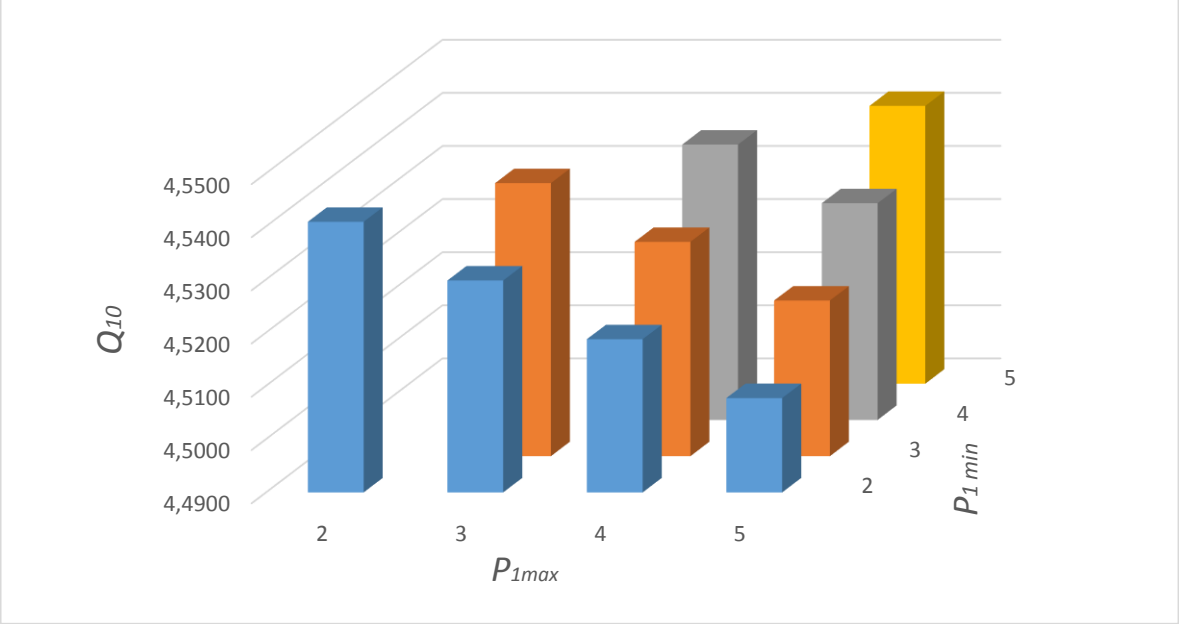


Figure 2.2.6. Dependence of the values of the complex quality indicator Q_{10} from changes in the minimum and maximum values of the quality indicator P_1 for BTS-10

At the same time, forms visualization of the results of assessing the dependence of the values of the complex indicator on the average values of the difference in the values of the actual indicators of the quality of the BTS, that is, the systems obtained as a result of exploitation (example – fig. 2.2.7) [67, p. 104], allow us to summarize the dynamics of many poorly constructed data on the technical condition of the BTS (fig. 2.2.7 and 2.2.8).

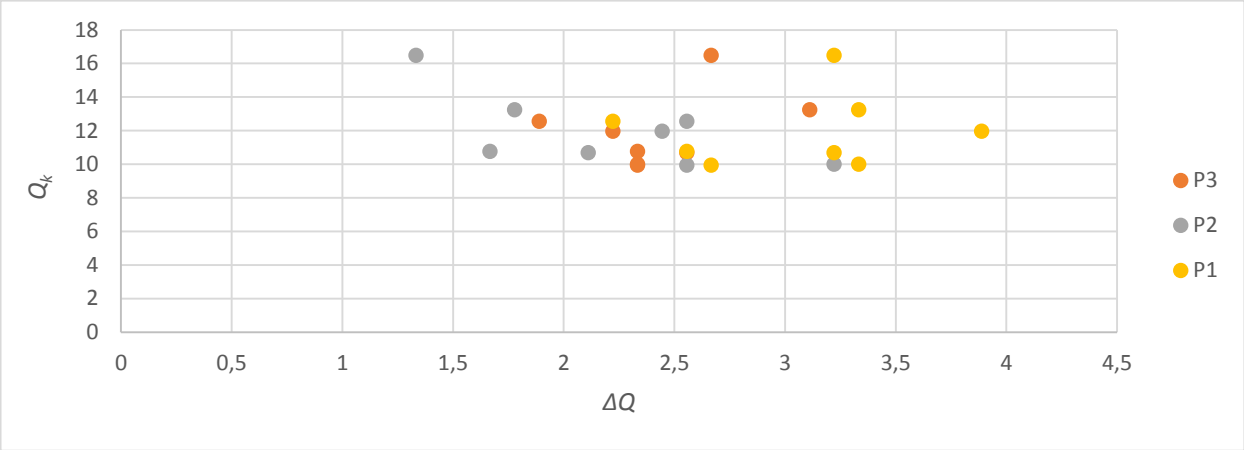


Figure 2.2.6. The dependence of the Q_K value on average values ΔQ_1, ΔQ_2 и ΔQ_3 for eight BTS

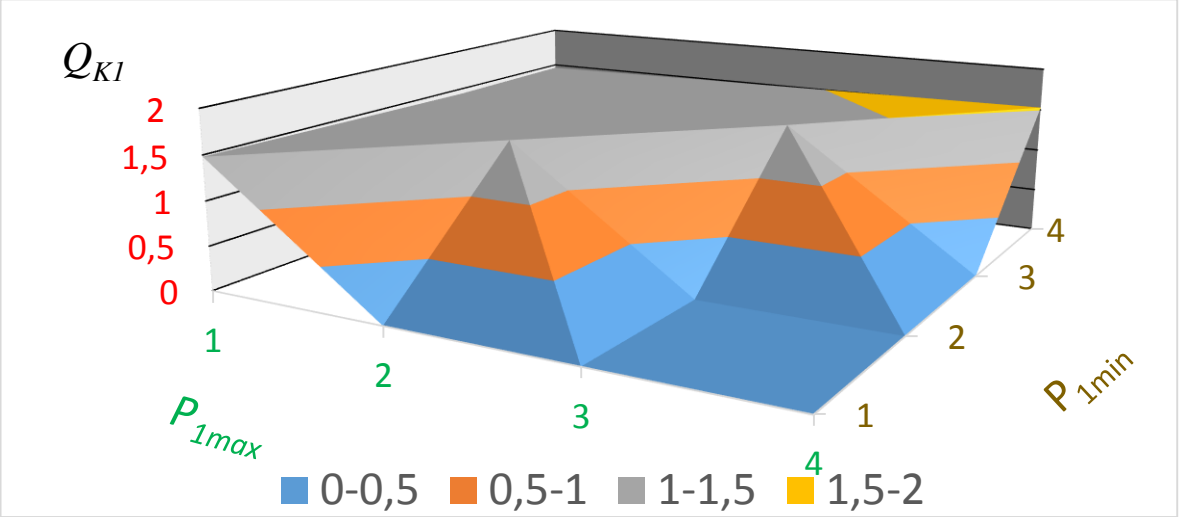


Figure 2.2.8. An example of visualization of the dependence of changes in the values of the integrated quality indicator of BTS (Q_{K1}) from the dynamics of the minimum and maximum values of the quality indicator of the technical system (P_1) operated in its composition

The presented forms of visualization do not reflect the entire possible spectrum of rational application of the method using matrices.

Therefore, it is important to note that the wide possibilities of applying the method in practice favorably distinguish it from classical benchmarking [51, 163].

Since if the benchmarking allows you to determine the most effective subsystems (elements, products) as part of the evaluated system [72 p. 98].

As a result of the application of the method, it is possible to analyze the dependencies of deterioration or improve indicators in various evaluated systems (periods of time), which will help to identify problems during the exploitation of the BTS and make reasonable rational decisions on their correction.

A critical analysis of the results and their comparison with the results of other researchers allows you to formulate the main drawback of the method: the correct and permissible area of application is limited to the quality assessment of the same type of BTS and their subsystems operated in the same conditions.

But not everything is so clear.

Since the use of qualimetry methods (for example, the differential method of quality assessment) will require the development of assessment methods that take into account the specifics of the exploitation of specific evaluated systems [28, 32, 74].

At the same time, determining the weight coefficients of the importance of indicators will require the use of expert methods and attracting a significant number of experts. This circumstance will objectively increase the consumption of time and resources for quality assessment.

Expert assessments are to a certain extent subjective and therefore in practice it is not always possible to achieve the required consistency of expert opinions [168].

In turn, the interpretation of the results of the practical application of the SADT methodology and the IDEF0 standard allows us to conclude about the description of business processes with the actual use of two types of models: models focused on the description of the system functions and data model.

Therefore, in the subject of the subject area, the application of the developed method has a number of advantages, including the methods of multicriterial optimization using the Pareto criterion [175, 195] when solving the problem of reasonable choice of the best BTS.

Namely, the presented typical tabular forms, matrices of the values of the quality indicators and the subtraction formula of matrices contribute to ensuring the required degree of detail in modeling complex systems.

In this regard, it is important to clarify that the chosen terminology in the name of the SFM: “basic SFM” and “real SFM” reflect the essence of the method as applied to its use both for evaluating real-functioning systems, and to assess the results of modeling the functioning of systems in various modes.

Including taking into account the changes in the values of the selected quality indicators under the influence of the external environment, which ensures the implementation of the iteration approach in managing the functioning of complex systems.

The disadvantages of the method are rationally compensated by its complex application with the modified DEA method developed by the author and the improved method of paired comparisons – the decision making algorithm based on the results of the quality assessment of systems in the process of exploitation (fig. 5.1.3) from the model of support for technical systems in the process of exploitation (Paragraph 5.1 of the dissertation).

In a dissertation study, the presented method is a new scientifically based methodological solution in the field of improving the management of the exploitation of the BTS.

The use of the proposed method in computer programs is aimed at reducing the costs of resources and time to make rational management decisions based on the results of the quality assessment of the BTS (an example is presented in section A.1 of the dissertation) [53].

The practical significance is that, within the framework of previously given restrictions, the method is applicable to assess the quality of various BTS (their production and auxiliary subsystems) in the process of exploitation.

Additionally, the practical significance of the method is enhanced by the integrated use of matrices of the actual values of the quality indicators and the quality rating of the BTS in the interests of ensuring the adoption of timely and reasonable managerial decisions to increase the effectiveness of the functioning of systems.

Using the compiled rating, will make a reasonable choice of the best BTS (system), as well as taking into account the experience of the functioning of these best systems, will make a reasonable managerial decision in the field of effective management of exploitation and technical support of other and (or) similar systems [30, 55].

The systematic application of the Method with a reasonable choice of the best system will significantly reduce the subjectivity of the evaluation of the decision maker and documenting the filling of the SFM will act as an obstacle to making an erroneous management decision when choosing the best system and (or) the best period of operation of one evaluated system.

The Method offers two tabular forms for the formation of the SFM, which in practice allows the Method to be applied in various conditions and depending on the management objectives and the specifics of the systems being evaluated.

Further, in the dissertation, developed in the SFM method is used as a theoretical basis in the practical part of the work when creating and the introduction of models and methodologies.

In addition, the method, together with the third principle, found its reflection in the formation of the structure of information reserves, regarding the systematization of information (the results of quality assessment) in databases and archives, as components of the information resources of the BTS.

Thus, the method is a new scientifically substantiated methodological solution for a comprehensive assessment of the quality of the BTS in the process of exploitation.

2.3. Improved method of paired comparisons

Quite a lot of scientific research is devoted to the improvement and application of the method of paired comparisons [18, 19, 99, 154, 157, 159, etc.]. However, the setting of the task of the dissertation, the need to fulfill the principles and the features of the subject area of quality assessment BTS substantiate the need to further improve the method of paired comparisons – the creation of an improved method of paired comparisons for evaluating BTS (systems) in the process of exploitation (hereinafter referred to as the paragraph – method) [80 , 161].

Since the analysis of modern scientific research in this subject field has revealed the main trends most pronounced in the following scientific work.

Article [139] considers the methodology consisting in determining the problem situation, identifying factors affecting the adoption of rational decisions, choosing methods and means that ensure the successful fulfillment of the task. The presented trend is justified by a comparative analysis of the use of multicriterial methods [139].

A similar problem is investigated in scientific work [148] when evaluating innovative projects. For this, the task of choosing the method of forming the scales of criteria intended for evaluation in the process of examination is solved. The authors proposed the use of the developed modification of the analysis method of hierarchy T. Saati [141], taking into account the features of its application in the field of management of innovative projects. The modification of the method is based on a change in the scope of evaluating the criteria [148].

In addition to the review of the article [148], it is advisable to bring another direction of scientific research [111]: a modification of the method of paired comparisons of the Saati [141], based on the use of an alternative scale for evaluating superiority.

In [111], the advantages of an alternative scale over a classic scale in the context of the task of prescribing the weights of fuzzy cognitive cards are identified and demonstrated.

However, already in 2020, the scientific work [155] provides the results of studies of the mathematical justification of the judgment on the basis of interconnected observations, paired comparisons of factors, criteria and alternatives, calculating priorities and their synthesis in final assessments. It is especially important to note that in [155] it is shown at what restrictions in the procedures of the method of analysis of hierarchies, having a pair of pair assessment and not knowing the type of ranking function, it becomes possible to calculate priorities and choose the desired solution [155].

And finally, the scientific study [118] considers the task of evaluating alternative ratings according to paired comparisons of alternatives in accordance with several criteria, as well as paired comparisons of criteria. To solve the problem, it is proposed to make decisions on the basis of Chebyshevsky approximation in the logarithmic scale of paired comparisons by symmetric matrices of a single rank (coordinated matrices), with the help of which the elements of the vectors of the scales of criteria and alternatives are determined [118].

Thus, with all the importance of these research [108, 111, 118, 139, 141, 148, 155], it is currently relevant [154, 157] the need to further improve the software implementation of the method of paired comparisons in the interests of increasing management efficiency. At the same time, the fulfillment of the requirements for checking the incoming expert information for consistency additionally substantiates the development of the method.

In essence, the proposed method may have wider application in the field of evaluation of the quality of objects and processes of various nature.

Purpose of the method: ensuring a significant reduction in time in the processing of information, understandability and simplicity of software implementation [77] assessment of the quality of systems by paired comparisons [80].

The essence of the method: the formulation of the rational rules of logical conclusions in the paired comparison of the systems and the systematization of these rules in the form of table 2.3.2 to ensure automatic software filling in the questionnaires of experts (table 2.3.1) based on the minimum necessary initial data introduced by experts. Moreover, in the method, in order to verify the results of evaluation for consistency, the

concepts of the number of points scored by one system are introduced z (B_z), and quality quality factors (K_z), a verification table 2.3.3 was also developed and calculation formulas were displayed B_z and K_z. [161].

Scope: information processing, quality assessment of systems in the Process of Exploitation and checking the results of the evaluation for consistency.

Method content:

1. The rules of logical conclusions in paired comparison of systems for automatic software filling in the comparison table of systems (table 2.3.1) when using the initial information introduced by an expert (official).

Table 2.3.1.

Table of processing and systematization of expert information when assessing quality of n number of systems with the help of paired comparison method

Expert number _____	Systems				K	Number of scores, B_n	Check
Systems	1	2,…z,…	*n-1*	*n*			
1	2	….	n	n+1	n+2	n+3	n+4
1	1	R_{1z}	$R_{1(n-1)}$	R_{1n}	K_1	B_1	
2	$2–R_{12}$	T 2.3.2	T 2.3.2	T 2.3.2	K_2	B_2	
3	$2–R_{13}$	T 2.3.2	T 2.3.2	T 2.3.2	K_3	B_3	
2,…z,…	$2–R_{1z}$	1	T 2.3.2	T 2.3.2	K_z	B_z	
n-1	$2–R_{1(n-1)}$	$R_{(n-1)z} = 2 – R_{z(n-1)}$	1	T 2.3.2	$K_{(n-1)}$	$B_{(n-1)}$	
n	$2-R_{1n}$	$R_{nz} = 2 – R_{zn}$	$2–R_{(n-1)n}$	1	K_n	B_n	
Total:							
Results of checking data for consistency:							
Comment: “T 2.3.2” means that this cell is filled by the program automatically on the basis of the rules systematized in the table 2							

Rule № 1. In the case of the comparison of a system with itself (R_{nn}), the result of the comparison always equals to 1 (one) score, $R_{nn}=1$, i.e. the program automatically puts “1” in corresponding cells in the diagonal of the table of comparison (table 2.3.1).

Rule № 1 is performed automatically by the program without participation of an expert [161].

Rule № 2. If a system (*n-1)* equals to a system *n*, both systems get 1 (one) score and an expert puts "1" in a corresponding cell, as a result, the program automatically fills the cell of the table 2.3.1, where it is required to put the result of the comparison of a system *n* with a system (*n-1)*, with the same score "1", $R_{(n-1)n} = R_{n\,(n-1)} = 1$.

Rule № 3. If a system (*n-1)* is better than a system *n* by a chosen indicator of a system's quality, the system (*n-1)* gets 2 (two) scores and an expert puts "2" in a corresponding cell, $R_{(n-1)n}=2$.

Then the system *n* gets 0 (zero) scores when compared to the system (*n-1)*, according to the formula (2.3.1):

$$R_{n(n-1)} = 2 - R_{(n-1)n} \qquad (2.3.1)$$

Accordingly, using the formula (1) the program automatically fills the cell of the table 1, where it is required to put the result of the comparison of a system *n* with a system (*n-1)*, by putting "0" in it, $R_{n(n-1)}=0$.

Rule № 4. If a system (*n-1)* is worse than a system *n* by a chosen indicator of a system's quality, the system (*n-1)* gets 0 (zero) scores and an expert puts "0" in a corresponding cell, $R_{(n-1)n}=0$.

As a result, similar to the rule № 3, a logical conclusion is made that the system *n* should get 2 (two) scores when compared to the system (*n-1)*, according to the formula (1), i.e. $R_{n\,(n-1)}=2$ (table 2.3.2).

Comment: for the further program realization of the implementation of the functions of systems' comparison it is necessary to make possible logical conclusion from the table 2, on the basis of the data received when an expert filled the first line of the table 1 by the rules №№ 1-4 and implementing rules №№ 5-10 (hereinafter, the rules).

The rules are systematized in the table 2.3.3.

The rules are systematized in table 2.3.2, which is the basis of the method [77, 80, 161].

Table 2.3.2

Possible logical conclusions of the results of the expert comparison of a system *n* with a system *(n+1)* ($R_{n(n+1)}$), depending on the results of the comparison of a system *(n-1)* with a system *n* ($R_{(n-1)n}$) and a system *(n-1)* with a system *(n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$)

Results of the comparison of system *(n-1)* with system *(n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$)	Results of the expert comparison of a system *(n-1)* with a system *n* (R(n-1) n)		
	$R_{(n-1)n}$ =2, system *(n-1)* is better than system *n*	$R_{(n-1)n}$ =1, system *(n-1)* equals to system *n*	$R_{(n-1)n}$ =0, system *(n-1)* is worse than system *n*
$R_{(n-1)(n+1)}$=2, system *(n-1)* is better than system *(n+1)*	?*	$R_{n(n+1)}$=2	$R_{n(n+1)}$=2
$R_{(n-1)(n+1)}$=1, system *(n-1)* equals to system *(n+1)*	$R_{n(n+1)}$=0	$R_{n(n+1)}$=1	$R_{n(n+1)}$=2
$R_{(n-1)(n+1)}$=0 system *(n-1)* is worse than system *(n+1)*	$R_{n(n+1)}$=0	$R_{n(n+1)}$=0	?*
*Comment: "?"means that it is impossible to make a logical conclusion; the expert has to identify the value of Rn(n+1) on one's own.			

Rule № 5. If a system *(n-1)* is better than a system *n* ($R_{(n-1)n}$=2), while the system *(n-1)* is equal to a system *(n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$=1), then, the system *n* is worse than the system *(n+1)*, $R_{n(n+1)}$=0, formula (2.3.2):

$$\text{If } R_{(n-1)n}=2 \text{ and } R_{(n-1)(n+1)}=1, \text{ then } R_{n(n+1)}=0 \qquad (2.3.2)$$

Rule № 6. If a system *(n-1)* is better than a system *n* ($R_{(n-1)n}$ =2), while the system *(n-1)* is worse than a system *(n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$=0), then, the system *n* is worse than the system *(n+1)*, $R_{n(n+1)}$=0, formula (2.3.3):

$$\text{If } R_{(n-1)n}=2 \text{ and } R_{(n-1)(n+1)}=0, \text{ then } R_{n(n+1)}=0 \qquad (2.3.3)$$

Rule № 7. If a system *(n-1)* equals to a system *n* ($R_{(n-1)n}$ =1), while the system *(n-1)* is better than a system *(n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$=2), then, the system *n* is better than the system *(n+1)*, $R_{n(n+1)}$=2, formula (2.3.4):

If $R_{(n-1)n}$ =1 and $R_{(n-1)(n+1)}$=2, then $R_{n(n+1)}$=0 (2.3.4)

Rule № 8. If a system *(n-1)* equals to a system *n* ($R_{(n-1)n}$ =1), while the system *(n-1)* equals to a system *(n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$=1), then, the system *n* equals to the system *(n+1)*, $R_{n(n+1)}$=2.

If $R_{(n-1)n}$ =1 and $R_{(n-1)(n+1)}$=1, then $R_{n(n+1)}$=1 (2.3.5)

Rule № 9. If a system *(n-1)* equals to a system *n* ($R_{(n-1)n}$ =1), while the system *(n-1)* is worse than a system *(n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$=0), then, the system *n* is worse than the system *(n+1)*, $R_{n(n+1)}$=0.

If $R_{(n-1)n}$ =1 and $R_{(n-1)(n+1)}$=0, then $R_{n(n+1)}$=0 (2.3.6)

Rule № 10. If a system *(n-1)* is worse than a system *n* ($R_{(n-1)n}$=0), while the system *(n-1)* is better than a system *(n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$=2), then, the system *n* is better than the system *(n+1)*, $R_{n(n+1)}$=2.

If $R_{(n-1)n}$ =0 and $R_{(n-1)(n+1)}$=2, then $R_{n(n+1)}$=2 (2.3.7)

Rule № 11. If a system *(n-1)* is worse than a system *n* ($R_{(n-1)n}$=0), while the system *(n-1)* equals to a system *(n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$=1), then, the system *n* is better than the system *(n+1)*, $R_{n(n+1)}$=2.

If $R_{(n-1)n}$=0 and $R_{(n-1)(n+1)}$=1, then $R_{n(n+1)}$=2 (2.3.8)

Rule № 12. It is impossible to make a logical conclusion without an expert's participation when comparing a system *n* with a system *(n+1)* ($R_{n(n+1)}$) in two cases (two variants of input data):

- if a system *(n-1)* is better than a system *n* ($R_{(n-1)n}$ =2), while the system *(n-1)* is better than a system *(n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$=2), i.e. when $R_{(n-1)n}$ =2 and $R_{(n-1)(n+1)}$=2;

- if a system *(n-1)* is worse than a system *n* ($R_{(n-1)n}$ =0), while the system *(n-1)* is worse than a system *(n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$=0), i.e. when $R_{(n-1)n}$ =0 and $R_{(n-1)(n+1)}$=0.

In these cases a question mark ("?") is put in the corresponding cell of the table 2 (table 1), and an expert needs to compare a system *n* with a system *(n+1)* on one's own and put the result of this comparison $R_{n(n+1)}$ in the table's cell.

The rules enable a program realization of the automatic implementation of logical conclusions in the real time regime when comparing a system *n* with a system *(n+1)*.

In other words, they allow to reasonably and objectively get the value $R_{n(n+1)}$, in the case of availability of reliable input data received after two paired comparisons of systems:

- a system *(n-1)* with a system *n*, $R_{(n-1)n}$;

- a system *(n-1)* with a system *(n+1)*, $R_{(n-1)(n+1)}$.

In addition, analysis of the formulas (1-8) and the table 2 shows that there are only 7 (seven) possible variants of the results of logical conclusions of the comparison of a system *n* with a system *(n+1)* ($R_{n(n+1)}$) when using initially received input data of the results of comparison of a system *(n-1)* with a system *n* ($R_{(n-1)n}$) and a system *(n-1)* with a system *(n+1)* ($R_{(n-1)(n+1)}$). All these seven variants do not require participation of an expert in the comparison of a system *n* with a system *(n+1)* ($R_{n(n+1)}$).

To summarize, systemic application of the rules and the table 2 in the paired comparison method (table 2.3.1) considerably decrease the amount of time and resources needed to process information, moreover, it ensures consistency of the results of the quality assessment [161].

2. Checking the results of paired comparison of systems (table. 2.3.1) for consistency for the purposes of rational software implementation of the method and (or) methodology for evaluating quality based on this method (chapter 4, dissertation).

In the method, verification is carried out by calculating the number of points scored by one system *z* (B_z), and indices of systems quality (K_z).

It is proposed to use the following formulas (2.3.9 – 2.3.14) for the calculations [74, p. 105]:

$$B_z = \sum_{i=1}^{n} R_{zn} \qquad (2.3.9)$$

where *n* is the number of compared systems,

z is the number of one of compared systems, within the scope of integral numbers from 1 to *n*.

$$K_z = \frac{B_z}{n^2} \qquad (2.3.10)$$

In what follows, verification of the expert information for consistency and control of operator's errors (prevention of false information input) in the table 1 is done through the use of the formulas 2.3.9 – 2.3.14 and a table 2.3.3.

Verification for consistency is fulfilled within a paired comparison of systems by following the rules and making calculations by the formulas 1 – 8 in the columns 2 – (n+1) of the table 2.3.1.

Value of the systems' quality index (K_n) in the column (n+2) of the table 1 is checked for consistency by following the normalization rules, i.e. the sum of values K_n should be equal to 1, otherwise the program will issue an error report. The messages appear at the bottom of the column (n+2) of the table 2.3.1 [161].

Value of the systems' quality index (K_z) in the column (n+2) of the table 1 is checked for consistency line-by-line by the simultaneous fulfilment of two conditions:

- the first condition, comparison of K_z of each system with the minimum possible value K_{zmin}, detected by the formula:

$$K_{z\min} = \frac{1}{n^2} \qquad (2.3.11)$$

if $K_z < K_{z\,min}$, then the program issues an error report, in all other cases values conform to the norm;

- the second condition, the maximum possible $K_{z\,max}$ is calculated by the formula:

$$K_{z\max} = \frac{2n-1}{n^2} \qquad (2.3.12)$$

Thus, if $K_z > K_{z\max}$, i.e. $K_z > \frac{2n-1}{n^2}$, then the program issues an error report, in all other cases values conform to the norm.

The messages appear in the corresponding cell (n+4) of the table 2.3.1.

The examples of values K_{zmin} и K_{zmax} are given in the table 2.3.3.

Value of the sum of scores of one system (B_z) is checked for consistency line-by-line by the simultaneous fulfilment of two conditions:

The first condition, by comparing B_z with a minimum possible value of the sum of scores of one system z, B_{zmin}=1, i.e. the system z is worse than all other systems by the chosen characteristic.

Thus, if B_z<1 or B_z< B_{zmin}, then the program issues an error report, in all other cases values of B_z conform to the norm.

The second condition, by comparing B_z with a maximum possible value of the sum of scores of one system z:

$$B_{z\,max} = 1+2(n-1) \tag{2.3.13}$$

Thus, if $B_z > B_{zmax}$, i.e. $B_z > 1+2(n-1)$, then the program issues an error report, in all other cases values of B_z conform to the norm [80, 161].

The messages with the result of the verification appear in the corresponding cell (n+4) of the table 2.3.1.

The examples of values B_{zmax} are given in the table 2.3.3.

Value of the sum of scores B_n (the value is located in the cell ($n+1$;n +3) of the table 1) for all compared systems of n number is checked for consistency by fulfilment of one condition: the sum of scores of the comparison results should be equal to the check number calculated by the formula:

$$B_n = n^2 \tag{2.3.14}$$

If $B_n = n^2$, then the value of B_n conforms to the norm, in all other cases the program issues an error report.

The messages with the result of the verification appear in the cell ($n+1$;n +3) of the table 1. The examples of check values B_n are given in the table 2.3.3.

Based on the results of the calculations by formulas 2.3.9 – 2.3.14, the table 3 systematizes maximum check values of the systems' quality indices (K_{zmax}), of the sum of scores for one system (B_{zmax}) and maximum values of the sum of scores of all compared systems (B_n) depending on the number of chosen systems (n) (from 2 to 20 in the table, as an example) when using the paired comparison method [80].

Table 2.3.3.

Check values in paired comparison method of 2 to *n* systems

Number of systems *n*	Maximum possible values of:		Minimum possible values of:		Check values of the sum of scores of all compared systems (*n* number), $B_n = n^2$
	sum of scores of one system, z B_{zmax}= 1+2(*n*-1)	system's quality index $K_{z\max} = \frac{2n-1}{n^2}$	sum of scores of one system, z B_{zmin}=1	system's quality index $K_{z\min} = \frac{1}{n^2}$	
2	3	0,75	1	0,25	4
3	5	0,55555	1	0,111111	9
4	7	0,4375	1	0,0625	16
5	9	0,36	1	0,04	25
6	11	0,305555	1	0,027778	36
7	13	0,265306	1	0,020408	49
8	15	0,234375	1	0,015625	64
9	17	0,209877	1	0,012346	81
10	19	0,19	1	0,01	100
11	21	0,173554	1	0,008264	121
12	23	0,159722	1	0,006944	144
13	25	0,147929	1	0,005917	169
14	27	0,137755	1	0,005102	196
15	29	0,128889	1	0,004444	225
16	31	0,121094	1	0,003906	256
17	33	0,114187	1	0,00346	289
18	35	0,108025	1	0,003086	324
19	37	0,102493	1	0,00277	361
20	39	0,0975	1	0,0025	400
…	…	…	1	…	…
n	B_{zmax}=1+2(*n*-1)	$K_{z\max} = \frac{2n-1}{n^2}$	1	$K_{z\min} = \frac{1}{n^2}$	$B_n = n^2$

Recommendations: a specially developed table 2.3.3 containing systematized data on verification values when using the pair comparison method from 2 to N systems, it is advisable to use to create programs for collecting, processing information, as well as evaluating the quality of systems [161].

In addition, it is advisable to use the method when drawing up technical specifications for creating computer programs designed to complete the problem in the field of system quality assessment, comparison and processing of information.

In the dissertation, the method is used in the development of a methodology for evaluating the effectiveness of the BTS (systems) together with the computer program “Analysis and assessment of systems effectiveness” (paragraph No. 2.4, dissertation) and a comprehensive methodology for assessing the quality of technical systems in the process of exploitation (chapter 4, dissertation) [74].

The diagram of the rational application of the method is presented in paragraph No. 4.1 (chapter 4 of the dissertation).

In practice, the method is used in the computer program “Expert evaluation of systems with an improved method of paired comparisons”, as a technical solution for a rational assessment of the quality of systems with an improved method of paired comparisons [77].

An example of the program implementation of the method is given in section A.2 of Appendix A dissertation.

The presented method has a certain versatility and can be quite successfully used in assessing not only technical systems in the process of exploitation, but also to assess the quality of other different objects and processes.

The method allows in the shortest possible time to take into account and detail the opinions of various experts in a given subject area, which in practice contributes to the adoption of sound management decisions, taking into account the opinions of a large number of qualified specialists, including external experts: scientists, teachers and employees of other enterprises.

Thus, the method is a new scientifically substantiated solution in the field of development and improvement of the methodological support of the quality assessment of the BTS in the process of exploitation.

2.4. The modified DEA method for analysis and assessment of the effectiveness of big technical systems

Based on the first chapter of the dissertation, it can be quite reasonably argued that in modern conditions the effectiveness of the control of the BTS and the systems in their composition (hereinafter – the systems) largely depends on the timely adoption of managerial decisions based on the assessment of their effectiveness and taking into account the specifics of the evaluated systems.

The setting of the task of the dissertation research provides that an objective assessment of the effectiveness of systems requires detailed detail and the most complete accounting of many factors and conditions that accompany the functioning of the systems, as well as their comparison with similar systems and (or) with different periods of the functioning of the evaluated systems.

Therefore, in the theoretical part of the work, one of the promising areas of ensuring the achievement of the goal of research is the creation and use of the modified DEA method [33, 37].

To assess the quality of a system of any nature, the most important characteristic is the effectiveness of its functioning. However, it is obvious that no separate private indicator can be used for universal use in assessing the effectiveness of various systems. Therefore, A.Charnes, W.Cooper, E.Rhodes developed the Data Envelopment Analysis method (DEA), set forth in many scientific works [161, 164-167, 169, 179-181, 201].

At the same time, the application of the DEA method does not explain the causes of the state of the system and, accordingly, does not give additional reasonable information to make the most rational management decision.

In the proposed modified DEA method, these shortcomings are eliminated using tested mathematical methods. In addition, the proposed method is more suitable for software implementation due to the use of systematized calculated tabular forms.

The modified DEA method is a symbiosis of the DEA method [172-175, 179] and calculating the correlation of dependence [21, 23, 31].

Based on the scientific papers, M.J. Farrell [180, 181] in the development of methods of non -parametric boundary analysis [181, p.271], the following areas of application of the modified DEA method can be formulated:

1. Effectivence – determining the degree of achievement of the goal assessed by the system in a given period of time.

2. Efficency is the ratio of the costs of resources and the result achieved by the system evaluated in a given period of time.

Thus, in the most general form, the purpose of the modified DEA method in the field of evaluating the effectiveness of the system is reduced to determining the effectiveness and efficiency of the consumed resources into the resulting results.

With the modern variety of various evaluated systems as part of the BTS, performing the same functions, the most promising direction of using the modified DEA method and the effectiveness of the effectiveness methodology will be the first direction, that is, the assessment (comparison) of the achieved result with the required (basic) value of this result for a given period of time, subject to the same costs of resources, evaluated systems [21, 23, 33, 37].

For this purpose, the modified DEA method uses a paired comparisons of the quantitative values of all expended resources (X_1, X_2, ... X_i) and the quantitative values of the achieved result (Y). Or comparison of the achieved result (y) with its established basic (required) values (Y_b). Comparisons of all evaluated systems and (or) evaluated periods of the functioning of one system are carried out.

The key point in the modified DEA method is the recommendation to establish basic quantitative values for the result (Y_b) and spent resources (X_{ib}).

In the developed method, comparison is recommended to be carried out by constructing the relevant settlement tables 2.4.1 and 2.4.2:

- table 2.4.1 – for comparing the quantitative values of the achieved result (Y);

- table 2.4.2 – for comparing the quantitative values of all expensed resources (X_1, X_2, ... X_i) with their basic values.

In tables 2.4.1 – this is the number of types of resources spent, and N is the number of evaluated systems (periods of time for one system).

Table 2.4.1 "Assessment of the effectiveness of systems" implements the first direction of application of the modified DEA method: "Effectivence", that is, determines the degree of achievement of the goal assessed by the system in a given period of time compared to the established basic (required) quantitative value of the result (Y_B) , which must be achieved by systems during its functioning.

Table 2.4.1

Assessment of the effectiveness of systems by _____

(name of the result)

System	The name of the result (unit)		Place in rating	Conclusions about the effectiveness of systems (periods of time)		
				The system has reached the required result		System did not reach the desired result
	achieved by the system	required ($Y_б$)		exceeded the required result	located on the border of its effectiveness	
1	Y_1	$R_{1б}$				
2	Y_2	$R_{2б}$				
…	…	…				
n	Y_n	$R_{nб}$				

Obviously, for an objective assessment of the value of the required results for all evaluated systems, it should be equal: $R_{1б} = R_{2б} = \ldots = R_{nб}$.

However, the method provides for calculations and different values of the required results depending on the established consumption of resources (for example, fuel and lubricants for the winter and summer periods of exploitation) and the operating conditions of systems (for example, in the underground or ground-based subway and mines).

The second column of table 2.4.1 compares the results with their baseline value, on the basis of which conclusions are drawn about the effectiveness of the system by calculating the performance coefficient of the *j*-system – $R_{j\delta}$.

Table 2.4.1 evaluates the performance of output systems according to three criteria:

1. If $R_{j\delta} = \frac{Y_j}{Y_\delta} > 1$, then the *j*-system achieved the desired result and exceeded the required result by R_{jb} times or by 100 R_{jb} percent(s).

2. If $R_{j\delta} = \frac{Y_j}{Y_\delta} = 1$, then the *j*-system has achieved the desired result and is at the limit of its effectiveness.

3. If $R_{j\delta} = \frac{Y_j}{Y_\delta} < 1$, then the *j*-system did not achieve the required result and the achieved result is less than the required by (*100 – 100* R_{jb}) percent(s).

In table 2.4.1, the place in the rating of systems is determined by the rule:

$$R_{j\delta\max} > R_{(j-z)\delta} > \ldots > R_{j\delta\min} \Rightarrow 1, 2, \ldots, N$$

where *N* is the number of places in the rating of systems, there may be a situation where one place in the ranking with equal values $R_{j\delta}$ will occupy two or more systems. That is, *N* may not always be equal to the number of evaluated systems *n*. From the above rule it is clear that in the first place of the rating will be the system with the highest value $R_{j\delta}$ and, accordingly, in the last place will be the system with the lowest value of the quantitative value of comparing the achieved result with the required one.

If necessary, the method for filling out table 2.4.1 provides for the construction of a diagram of the distribution of results, an example is figure 2.4.1.

In figure 2.4.1, systems that have not achieved the required (baseline) result (systems 2 and 5) are below the baseline ($R_{j\delta} = 1$),and systems that exceeded the required result (systems 4, 7 and 3), respectively, are higher. Systems that have achieved results equal to the baseline are located at the basic level (systems 6 and 1).

Figure 2.4.1. System rating and results distribution

As a comment, it should be noted that given the specific requirements for systems, an important part of the developed method is the veto $\varphi(Q_i)$ coefficient. Since the system can be established in the system, the decrease of which is categorically unacceptable.

For example, the number and capacity of serviceable batteries in the reserve power supply system, the number of fuel and lubricants, etc.

In relation to the assessment of the effectiveness of systems according to table 2.4.1, it is advisable to introduce a veto coefficient for systems that have an effectiveness coefficient below the unit, that is, when $R_{j\bar{o}} < 1$.

In this case, for example, figure 2.4.1 of the LPR is proposed not to be taken into account when further assessing the system 2 and 5, as not achieved the required result.

In principle, according to theory, in complex quality indicators, the low values of some single indicators can be compensated by the high values of others. But for some evaluated systems, such compensation will contradict the real requirements for their effective functioning, since in some cases it is unacceptable to compensate for the values of some indicators with high values of others.

To exclude this possibility, as well as taking into account the principle of universality and various specific requirements for different BTS systems, an important part of the developed method is a veto coefficient.

In the method, the veto coefficient may consist in establishing the LPR of the lower and (or) upper threshold of the values of the quality indicators of systems, which are determined based on the specifics of the system, for example $R_{i\text{б}} < 1$ for table 2.4.1. (systems 2 and 5 in fig. 2.4.1).

In this case, it is advisable to use the formula for table 2.4.1:

$$\phi(Q_i) = \begin{cases} 1, & \text{R}_{\text{jб}} \geq 1 \\ 0, & \text{R}_{\text{jб}} < 1 \end{cases} \qquad (2.4.1)$$

In table 2.4.2 “Assessment of the economy of systems for the consumption of the X_i resource to achieve the result Y_j”, calculations and evaluation are carried out according to the same rules as for table 2.4.1.

With the exception of the rules for drawing up the rating of systems on the consumption of resources, since in the first place of the rating there should be a system with the smallest consumption, and in the latter – with the largest.

Hence the rule of drawing up a rating of economy acquires a form:

$$S_{xi\min} < S_{x(i-z)} < \ldots < S_{xi\max} \Rightarrow 1, 2, \ldots, N$$

S_{xi} – this is the coefficient of efficiency of resource consumption of X_i to achieve the result Y_j,

$$S_{xi} = \frac{X_i}{X_{i\text{б}}}.$$

Table 2.4.2

Assessment of the efficiency of systems for the consumption of resource X_i to achieve the result Y_j

System	Resource consumption X_i (unit)		Place in rating	Conclusions about the efficiency of systems (one system in different periods of time)		
				The system is economical		System not economical, $C_{xi} > 1$
	real	The required resource consumption no more $X_{iб}$		Consumption less $X_{iб}$, $C_{xi} < 1$	The consumption is equal $X_{iб}$, $C_{xi} = 1$	
1	X_1	$X_{1б}$				
2	X_2	$X_{2б}$				
	…	…				
n	X_n	$X_{nб}$				

Under certain conditions, equality can be performed $X_{1б} = X_{2б} = \ldots = X_{nб}$.

Table 2.4.2 is compiled for each evaluated resource.

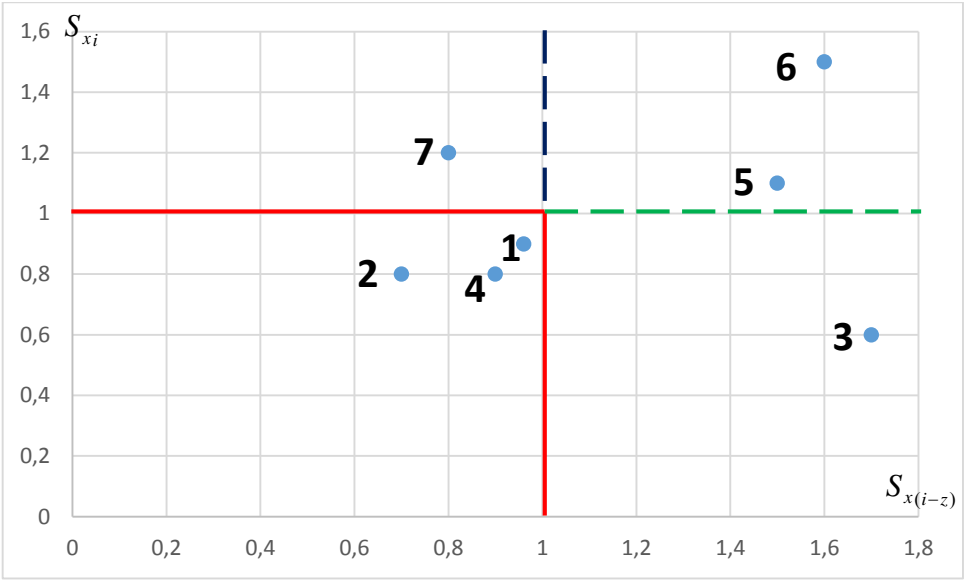


Figure 2.4.2. The schedule for the distribution of the efficiency of the resource expenditure X_i и $X_{i\text{-}z}$ seven systems to achieve the result Y_j.

Analysis of the distribution of values S_{xi} и $S_{x(i-z)}$ in figure 2.4.2, LPR allows the following conclusions by analogy with the three criteria of the table 2.4.1:

1. Systems located inside the square with sides S_{xi} =1 и $S_{x(i-z)}$=1, economical in resource consumption X_i and X_{i-z} to achieve the result Y_j , in the example in figure 2.4.2 these are systems 1, 2 and 4.

2. Systems located to the right of this square, that is $S_{x(i-z)}$>1, but below the line S_{xi} =1, economical in resource consumption X_i , and not economical in resource consumption X_{i-z}, in the example in figure 2.4.2, this is a system 3.

3. Systems located on top of this square, that is S_{xi} >1, но $S_{x(i-z)}$>1, but to the left of the line $S_{x(i-z)}$=1 ($S_{x(i-z)}$<1), economical in resource consumption X_{i-z}, and not economical in resource consumption X_i, in figure 2.4.2, this is a system 7.

4. Systems located diagonally from above from this square, that is S_{xi} >1 и $S_{x(i-z)}$>1, not economical in resource consumption X_{i-z}, and X_i, in the example in figure 2.4.2 these are systems 5 and 6.

If necessary, you can calculate the standardized importance coefficients for each consumed resource – c_k. Where k – this is the number of the type of resource, which is an integer in the range from 1 to i with a step equal to unity.

The calculation of values (c_k) can be carried out in the following ways:

- by building a basic structural-functional model;

- based on the subjective opinion of LPR or experts, for example, through the ranking of resources;

- based on the calculation of the cost of resources depending on the total exploitation of systems.

When calculating the value of c_k, the rule should be observed: the more important the k-resource, the less its normalized coefficient of importance should be (c_k).

In order to comply with the specified rule, it is most rational to calculate the value (c_k) for each type of resources based on the subjective opinion of LPR, expressed by ranking of i-roles of resources on the principle of the principle of the resource, the smaller number of the place in the ranking it receives, that is, in the first place There will be the

most important resource, and in the last 4th place the least important type of resource. Hence, in accordance, with the formula rule of calculation of the value of c_k acquires a form:

$$c_k = \frac{N_k}{\sum_{k=1}^{k=i} N_k},$$

where N_k – this is the number of the place in the rating of the type of resource.

In the modified DEA method based on data data compiled for each type of consumed resources and normalized coefficients of the importance of spent types of resources (c_k), it is recommended to calculate the integrated indicator of the economy of resource expenditure ($X_1, X_2, \ldots X_i$) system m to achieve the result (C_m) [68, p. 112]:

$$C_m = \sum_{k=1}^{k=i} c_k S_{x\,k\,m}, \qquad (2.4.2)$$

where m – this is the number of the evaluated system, which is an integer from 1 to j with a step equal to unity, and $S_{x\,k\,m}$ – this is the coefficient of efficiency of consumption of the X_k resource to achieve the result by the system m.

Based on the results of the assessment of the effectiveness and efficiency of systems (table 2.4.1 and 2.4.2), it is advisable to draw up a rating of the efficiency of evaluated systems, using table 2.4.3 for this purpose.

Table 2.4.3

The performance rating of systems

System	Efficiency coefficient, $R_{mб}$	A comprehensive indicator of economy, C_m	Efficiency coefficient systems, E_m	Place in rating
1				
…				
n				

Table 2.4.3 the rating is determined by the highest value of the system efficiency (E_m), that is, by the highest value of the amount of points of the estimated system m.

The quantitative value of the efficiency of the system is calculated by the formula (2.4.3):

$$E_m = e_R R_{m\text{б}} + e_C (1 - \frac{C_m}{\sum_{m=1}^{n} C_m}) \qquad (2.4.3)$$

where e_R – this is a normalized weight coefficient of performance coefficient, equal to all performance coefficients of the *j*-capital of evaluated systems ($R_{1\text{б}}$, $R_{2\text{б}}$, … $R_{j\text{б}}$);

e_C – this is a normalized weight coefficient of the importance of a comprehensive indicator of economy, also equal to all comprehensive performance indicators in table 2.4.3 (C_1, C_2, … C_j) [68, p. 115].

In the method of using values e_R and e_C are not mandatory.

Value e_R and e_C they are used if necessary, when compiling a rating of specific requirements for systems and it is recommended to calculate on the basis of expert opinions.

To do this, each expert is recommended to propose to evaluate the importance of R_{jb} and C_j to draw up the performance rating by distributing a predetermined number of points *B* between these two indicators, so that the amount of distributed points is equal to this certain number of points (*B*), that is, that is, $B = B_R + B_C$.

Where B_R – this is the number of points obtained by the efficiency coefficient ($R_{j\text{б}}$), and B_C – this is the number of points obtained by a comprehensive indicator of efficiency (C_j).

Hence the formulas of calculations of normalized values e_R and e_C they acquire the following view:

$$e_R = \frac{B_R}{B} \text{ и } e_C = \frac{B_C}{B}, \text{ that is } e_R + e_C = \frac{B_R}{B} + \frac{B_C}{B} = 1.$$

This method takes into account that with an integrated approach to the analysis of the effectiveness of the functioning of LPR systems, it receives a fairly large amount of information, which must be processed and presented in a form convenient for making a rational decision to increase efficiency.

For this purpose, calculations of correlation dependences (r_{xy}) are used according to the formula for calculating the Pearson correlation coefficient [33, 37, 109], which is intended in the developed method to identify the existence of a dependence and a relationship between pairs of variables used in the calculations (table 2.4.4). Pearson's correlation coefficient formula takes into account paired data of selected real values of system operation quality indicators $\{(x_1,y_1), \ldots, (x_n,y_n)\}$, consisting of n pairs, r_{xy} :

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}},$$

where, respectively, the sample mean of the variables is calculated by the formulas:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \quad \text{and} \quad \bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$$

After performing the calculations of the correlation coefficient for each pair of compared values, it is recommended to enter the received data to a specially developed table 2.4.4. Based on the generally accepted ratios of the tightness of the relationship between the variables, it is advisable to convert data from table 2.4.4 into table 2.4.5 [37, p. 615].

Table 2.4.4.

The results of calculations of the correlation dependence

Quantitative values of indicators					
	x_i	y_i	z_i	…	j_i
x_i	-	$r_{x_i y_i}$	$r_{z_i x_i}$	…	$r_{j_i x_i}$
y_i	$r_{x_i y_i}$	-	$r_{y_i z_i}$	…	$r_{y_i j_i}$
z_i	$r_{x_i z_i}$	$r_{y_i z_i}$	-	…	$r_{j_i z_i}$
…	…	…	…	-	…
j_i	$r_{x_i j_i}$	$r_{y_i j_i}$	$r_{z_i j_i}$	…	-

Table 2.4.5.

The degree of correlation dependence
between pairs of values of quality indicators

Very weak correlation $0 < \|r\| < 0,5$	Weak correlation $0,5 < \|r\| < 0,7$	Average correlation $0,7 < \|r\| < 0,8$	High correlation $0,8 < \|r\| < 0,9$	Very high correlation $0,9 < \|r\| < 1$
x_i y_i , …, z_i j_i	x_i j_i ,…	x_i z_i , …	y_i z_i , …	z_i j_i , …

Features of this method are the simplicity of its application for officials and a practical orientation to increase management efficiency.

Quantitative values in tables 2.4.4 and 2.4.5 imply the preparation of scatter diagrams if necessary.

Systematic information obtained as a result of calculations will allow the LPR to analyze in more detail the dependencies of deterioration or improve the values of correlation dependence. The application of the method in practice can be used to improve control influences aimed at achieving the goal of the system.

In fact, the developed modified DEA method is a benchmarking tool. Benchmarking allows you to determine the most effective subsystems (elements, products) as part of the evaluated system [100, 131, 197].

Ideally, when using the modified DEA method, analyzing dependencies of deterioration or improving consistency on various evaluated events (solutions), will help to identify problems in the management process and make reasonable rational decisions on their correction [31, p. 50].

The accumulated information (information reserves of the system) will allow not only to evaluate the effectiveness, but also to identify and formulate the shortcomings of specific process functioning processes. With the help of this information, it is most rational to formulate reasonable management decisions to correct these shortcomings, which will ultimately increase the effectiveness of the evaluated systems [162, 167, 179, 190, 205].

In addition, the use of information reserves will allow interested LPR to predict adverse events in the system and make early management decisions to eliminate them. Which, in turn, will create objective conditions for a significant increase in the efficiency of BTS functioning.

In the dissertation, the modified DEA method, as a new scientifically based methodological solution, is the theoretical basis for the development of a methodology for evaluating the effectiveness of technical systems and a computer for computers "Analysis and assessment of systems effectiveness" [33, 37, 46].

Methodology of assessment of the effectiveness of technical systems

The development of the modern methodological apparatus in the field of efficiency evaluating [113, 114, 115, 143, 150, 151] and the possibility of applying the results of evaluating the effectiveness in the management of complex systems [123, 139, 140, 145, 149, 170, 178] allow the full allowance Use the modified DEA method to develop the proposed methodology for assessing the effectiveness of systems (BTS) together with the computer program "Analysis and assessment of systems effectiveness" [33, 37, 46, 59] (hereinafter referred to as the paragraph – methodology and programs).

Methods and programs [46, 59, 162] are designed to analyze and assess the effectiveness of systems and (or) one system in various periods of its functioning time.

The technique implemented by the program performs all the necessary calculations for creating tables, systematizing the obtained values of correlation dependence of the functioning of systems, building graphs and diagrams. Allows you to compare the systems (periods of time) according to the result and (or) indicator of the functioning of the systems, as well as in the ratio of spent resources (X) and the result (Y) and draw up system ratings (fig. 2.4.3 and 2.4.4).

The quantitative values of two (X_1, X_2) and more types of resources (X) are used. In the program, the cost of spent resources, units of measurement of the result and the total cost of the result are measured in thousands of rubles.

The sequence of actions when performing a methodology (a computer program algorithm [46]) includes [33, 37]:

1. Determination (using the structural-functional model) of evaluated systems as part of the BTS (or as part of other BTS) that perform similar functions, or periods of functioning of one system (complex from several systems).

For example, before and after modernization or before and after improving this or before and after advanced training of personnel, etc.

If necessary, the establishment of the required (basic) values of the result (Y_B) and the spent resources (X_{B1}, X_{B2}, ..., X_{Bi}).

2. Determination of the achieved result and its quantitative value (Y) for each system (time).

Note: Usually, the quantitative value of the required result is strictly regulated in the BTS assessed. Therefore, in the example (fig. 2.4.3) Y is the amount of exploitation of the system with the required mode (on day), the same for all systems.

So, albeit in the example $Y = 10$ days (fig. 2.4.3).

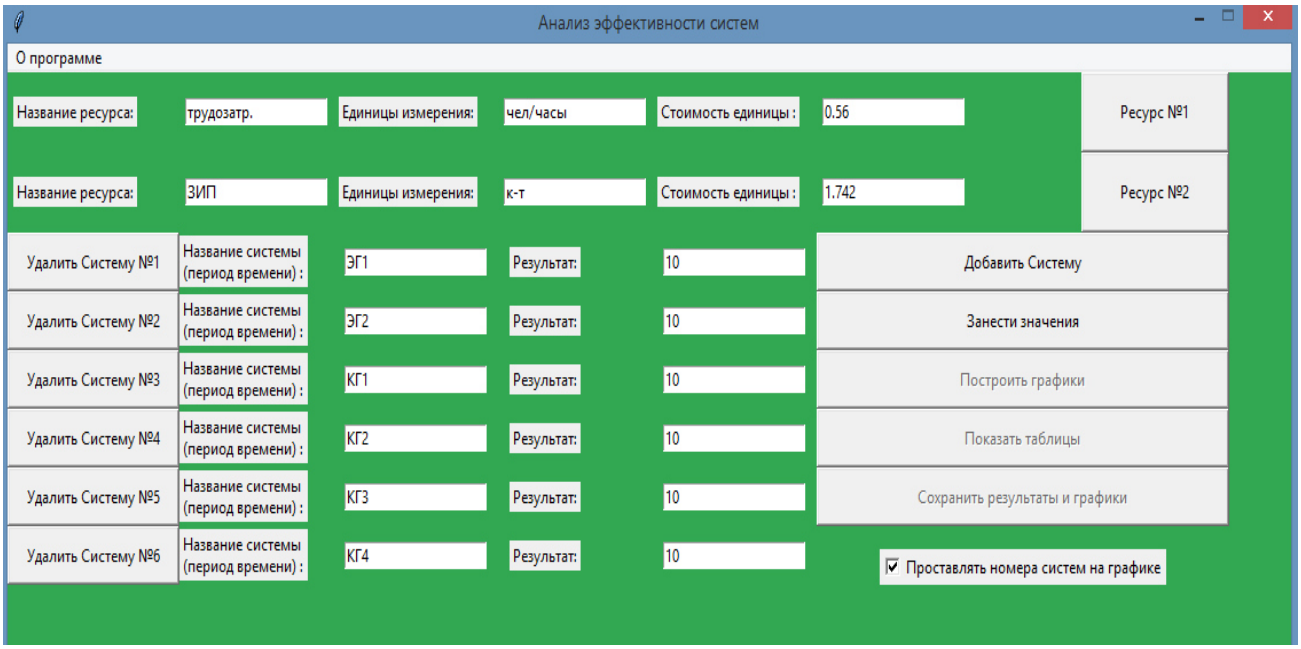


Figure 2.4.3. Start work with the program: entering and systematizing data

3. Drawing up a list of resources spent on achieving the result (indicators) and determining their quantitative values *(X_1, X_2, ..., X_i)*. Drawing pairs of compared indicators – fig. 2.4.3.

3. Conducting paired comparison of quantitative values *($X_1, X_2, ..., X_i$)*.

4. Comparison of resource costs *($X_1, X_2, ..., X_i$)* and the result *(Y)*, example – 2.4.4.

5. Compilation of the rating of systems (periods of time) – fig. 2.4.5.

Note: The example presents an assessment of the relative technical efficiency of the system by quantitative ratio of the actually spent resources and result (fig. 2.4.4), which is especially in demand, taking into account the specifics of most industrial enterprises (fig. 2.4.4).

The programmatic implementation of such an assessment, in turn, emphasizes the uniqueness and practical applicability of the modified DEA method (fig. 2.4.5) to achieve the purpose of the study.

Система	Количество израсходованных ресурсов		Стоимость единицы измерения израсходованного ресурса в тыс. рублей		Стоимость затрат ресурсов на достижение результата	Количественное выражение полученного результата (y)	Стоимость единицы измерения полученного результата	Соотношение затрат ресурсов и результата	
	1 (чел/часы	x2 (к-т)	p1	p2				x1/y	x2/y
ЭГ1	92.1	11.0	0.56	1.742	70.738	10	7.0738	9.21	1.1
ЭГ2	91.0	12.0	0.56	1.742	71.864	10	7.1864	9.1	1.2
КГ1	103.0	15.0	0.56	1.742	83.81	10	8.381	10.3	1.5
КГ2	98.3	15.0	0.56	1.742	81.178	10	8.1178	9.83	1.5
КГ3	98.0	17.0	0.56	1.742	84.494	10	8.4494	9.8	1.7
КГ4	104.4	14.0	0.56	1.742	82.852	10	8.2852	10.44	1.4

Figure 2.4.4. Calculation results (example)

Система	Количество набранных баллов по результату	Количество набранных баллов по стоимости общ	Количество набранных баллов по расходу x1	Количество набранных баллов по расходу x2	Количество набранных баллов по общ. ст. ед. изм. результата	Общее количество баллов
ЭГ1	5	6	5	6	6	28
ЭГ2	6	5	6	5	5	27
КГ1	1	2	2	3	2	10
КГ2	2	4	3	2	4	15
КГ3	3	1	4	1	1	10
КГ4	4	3	1	4	3	15

Рейтинг систем по наибольшему значению набранных баллов, при условии равных коэффициентов важности показателей оценки эффективности: :
1. ЭГ1 - 28
2. ЭГ2 - 27
3. КГ4 - 15

Figure 2.4.5. An example of compiling a system rating

6. Calculation of correlation dependence and systematization of results.

Correlation dependence is calculated by the pieron formula, table 2.4.5 is used to systematize the results, example – fig. 2.4.6.

Степень корреляционной зависимости между парами значений показателей

Очень слабая корреляция 0 < |r| <0,5	Слабая корреляция 0,5 < |r| < 0,7	Средняя корреляция 0,7 < |r| < 0,8	Высокая корреляция 0,8 < |r| < 0,9	Очень высокая корреляция 0,9 < |r| < 1
X1 И Y r = nan	X1/Y И X2/Y r = 0.6174492650289735			
X2 И Y r = nan	X1 И X2 r = 0.6174492650289733			
Собщ. и У r = nan				

Figure 2.4.6. An example of calculating and analyzing correlation dependence

7. Construction of graphs and diagrams with the results of all comparisons of resource costs (X_1, X_2, ..., X_i), result (Y), cost of resources and result, example – drawings 2.4.7 and 2.4.8.

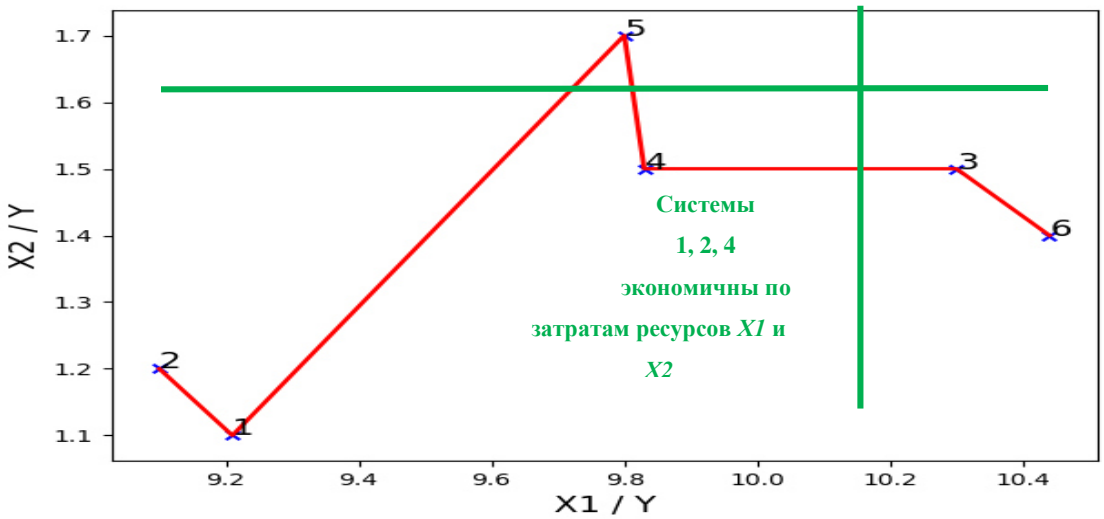


Figure 2.4.7. An example of a schedule

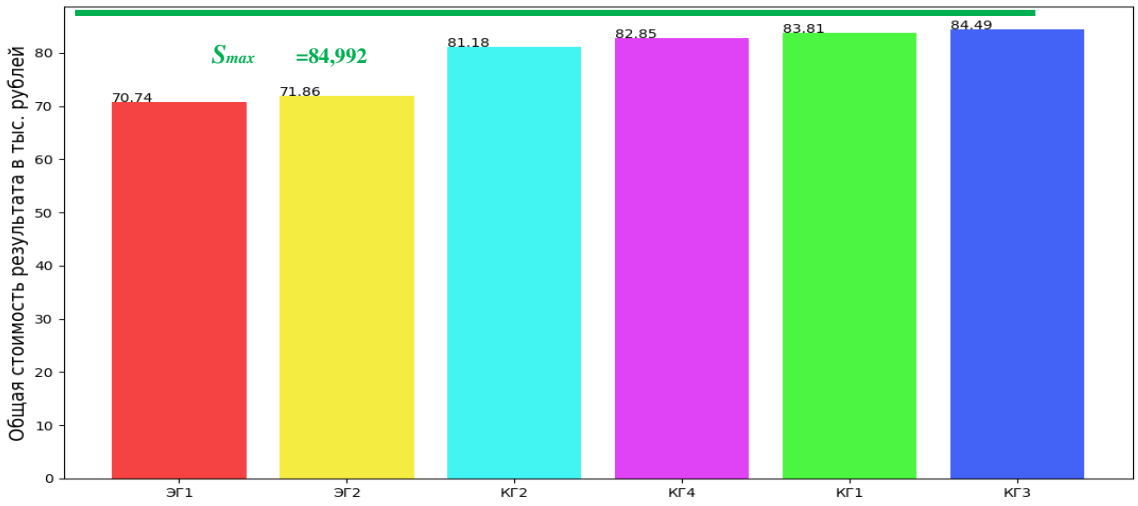


Figure 2.4.8. An example of building a diagram

8. Presentation of the Republic of LPR: The program provides for the possibility of forming reports in Word format, as well as visualizing the results in real time.

The report may contain brief conclusions.

For example, if in paragraph 1 of the methods in the presented example, basic values are introduced:

- X_{b1} = 102 people/hour;

- X_{B2} = 16 sets of spare instruments and accessories (ZIP);

- Y_b = 10 days;

- exploitation budget S_B = 84,992 thousand rubles.

Then the application of the methodology implemented by the program allows us to draw the following conclusions:

- technically effective systems 1, 2 and 4 (fig. 2.4.7);

- all systems met the established budget of exploitation (fig. 2.4.8).

The methodology provides for the possibility of aggregation (generalization of information about spent resources at the input of the system).

Aggregation occurs by summing up the cost of all actually spent resources $(X_1, X_2, ..., X_i)$ for each object or system in its composition.

As a result, each system will correspond to one input – financial costs (budget) to achieve the required result and, accordingly, one way out – the result of exploitation or, as an option, the cost of a unit measurement of the result, for example, the cost of one day of the autonomous operating mode of the BTS.

The program has a simple and intuitive interface (fig. 2.4.3). Programming language: Python.

Program volume: 307 kb. [46].

In practice, another computer program based on this methodology is also used: “Assessment of the effectiveness of the communication operator based on the modified DEA method” [59].

More detailed examples are given in Appendix A “Examples of calculations and application of computer programs” dissertation.

The main positive effect, achieved from the implementation of the methodology and programs: the understandability and visibility of the results, as well as the reduction of time and resources to assess the effectiveness and increase the validity of managerial decisions due to the possibility of comparison and the required details of the spent resources (X) when analyzing and evaluating the effectiveness of systems.

Thus, the methodology for evaluating the effectiveness of systems developed on the basis of the modified DEA method, together with the computer program “Analysis and assessment of systems effectiveness”, respectively, are new scientifically substantiated methodological solutions and technical solutions, which in practice contribute to increasing the efficiency of BTS management through timely and a detailed assessment of the effectiveness of these systems.

In the conclusion of paragraph No. 2.4, it is important to note that the presented technique and computer programs are effectively used to evaluate the effectiveness in the implementation of feedback in the information control circuit (ICC) and in the control of exploitation and the BTS – Appendix B dissertation.

Including for assessing the effectiveness of managerial decisions made based on the results of the quality assessment of systems.

In the dissertation, feedback on the basis of the developed methodology is implemented in a comprehensive methodology for assessing the quality of technical systems (chapter 4 of the dissertation) and in the model of supporting technical systems in the process of exploitation (paragraph No. 5.1 – the algorithm scheme in fig. 5.1.3).

In addition, the modified DEA method and the technique can be used to increase the efficiency of import substitution due to a significant reduction in time and resources to make reasonable management decisions to choose the best and (or) timely replacement of the product (products, services) with highly effective analogues in accordance with their functional purpose.

Thus, in accordance with the setting of the study problem, the modified DEA method, the methodology and computer program is an additional factor in the strengthening of the positive effect of the implementation of methods and means, including ensuring proactive management of exploitation and technical support of the BTS.

2.5. Mathematical modeling of technical systems for the purpose of a rational organization of quality assessment in the process of exploitation

The results of the dissertation set forth in the first chapter predetermine the need to develop traditional approaches to the mathematical modeling of technical systems (paragraphs No. 1.3 and 1.4, dissertations) in the interests of evaluating their quality in the process of exploitation as part of the BTS (table 1.3.2).

A characteristic feature of the BTS, as complex systems, is the presence in the system of a set of subsystems with functional redundancy. Usually, in the event of a refusal of the element, the technical product stops performing its function if there is no reserve and (or) duplication of this function. However, the BTS does not always stop their functioning with a malfunction of a certain number of elements and, in some cases, whole subsystems in their composition. This property of the BTS is manifested subject to functional redundancy. In this case, the condition of the BTS functions are redistributed to other subsystems in its composition [1, 9, 83, 89]. The main indicator of the complexity of the BTS is the difficulties of explaining and predicting the trajectories of a moving system (its dynamic behavior). The structural complexity of the BTS has an impact on its behavior, and, consequently, on its dynamic complexity. At the same time, the reverse statement is not true. The system (for example, the warehouse of the enterprise) can be structurally simple, but its dynamic behavior can be complicated.

Complex behavior may not be caused by the presence of non-linearity, stochastic effects, but is caused by the structural features of the BTS – the connections of elements in its composition [20, p.119]. The concept of dynamic complexity can be determined by the presence in the behavior of the BTS “strict components of movements associated with the multi-scale (multi-member) processes” in the BTS, presented further in the dynamic model [35, 83, 89, 93].

The dynamic model of the BTS is rationally developed on the basis of assumptions, the BTS can consist of the final set of autonomous linear systems. Moreover, each such

autonomous linear system consists of two independent interacting subsystems, for example, the BTS control system and the technical system or technical system and support subsystem, etc. Then the behavior of the autonomous linear system can be described by the following expressions [83, p.14]:

$$\begin{aligned} \frac{dv_1}{dt} + a_1 v_1 = 0, \\ \frac{dv_2}{dt} + a_2 v_2 = 0 \end{aligned} \qquad (2.5.1)$$

with initial conditions $v_1(0), v_2(0)$, where $a_1 > 0, a_2 > 0$ – system parameters.

System (2.5.1) is characterized by free movements [83, 89]:

$$v_1(t) = v_1(0)\, \mathrm{e}^{-a_1 t}, \quad v_2(t) = v_2(0)\, \mathrm{e}^{-a_2 t},$$

monotonously decreasing with growth t .

Suppose the parameter value a_2 significantly exceeds the value a_1 $(a_2 >> a_1)$. Then component $v_2(t)$ fades much faster than $v_1(t)$, and, starting from some moment of time *t*, the behavior of the system characterized by the vector $v(t) = (v_1(t), v_2(t))^m$, it is determined by the component $v_1(t)$.

However, when the system is movement (2.5.1) by the diverse method, the integration step h it is determined by the component $v_2(t)$, insignificant from the point of view of the behavior of the system. To do this, it is rational to apply the explicit method of Euler:

$$\frac{x_{1\,n+1} - x_{1\,n}}{h} + a_1 x_{1\,n} = 0, \quad \frac{x_{2\,n+1} - x_{2\,n}}{h} + a_2 x_{2\,n} = 0, \qquad (2.5.2)$$

where $x_{i\,n} = x_i(t_n),\ i = 1, 2$, will be stable if the step *h* satisfies the two inequalities at the same time: $a_1 h \le 2$, $a_2 h \le 2$.

$a_2 >> a_1 > 0$, the condition of stability leads to a limitation $h \le 2/a_2$.

The presented dynamic model of the system allows us to conclude that each of the system equations (2.5.2) should be solved independently of each other with its integration step $h_j, j = 1, 2; \quad h_j \le 2/a_j$. However, similar difficulties arise in the study of the behavior of the linear model of the control system of any complexity presented in the form of Koshu

$$\frac{dv}{dt} = Av, \tag{2.5.3}$$

If the matrix of the coefficients and this system has a large scatter of its own numbers.

Therefore, when evaluating the computational complexity of the modeling task, two factors are significant:

1) the structure of the field of the directions of the trajectories in the vicinity of the studied temporary trajectory;

2) the properties of the matrix A, and in a more general, nonlinear case - the properties of the Jacobi matrix (J(v)) [83, p.16].

Simultaneously with the above when modeling, it is important to take into account that the setting of the study problem (paragraph No. 1.4, dissertation) involves the presence of three important properties of the developed mathematical models of systems:

1. Focus on the rational organization of quality assessment of systems in the process of exploitation.

2. Ensuring sufficient universality of models for their use in assessing the quality of systems for various purposes, taking into account the specifics and conditions of their exploitation in BTS (*K*).

3. Accounting for external environmental influences (Δt, ΔY_j, ΔX_i, ΔP_z) and the dynamics of metrics space (t_T, Y_{T1}, Y_{T2}, ... Y_{Tj}; t_p, Y_{p1}, Y_{p2}, Y_{p3}, ... Y_{pj}; X_1, X_2, ... X_i; P_1, P_2, ... P_z) to assess the quality and effectiveness of systems $Q=f(t_p, Y_{pj}, P_z, K)$.

The above properties of mathematical models can be achieved when using a cybernetic approach in the description of the dynamics of the functioning of the evaluated systems [20, p.120].

In relation to the subject area of the dissertation research, the mathematical dynamic model BTS (fig. 2.5.1.), Developed on the basis of the cybernetic approach (table 1.3.2), BTS is described as the interaction of the following elements [20, p.120]:

- control systems (CS) BTS, as a subject of management;

- the control object in the form of a technical system operated in the estimated period of time as part of BTS;

- real results of the functioning of BTS (evaluated systems);

- managerial decisions made on the basis of the results of the quality assessment and efficiency of systems;

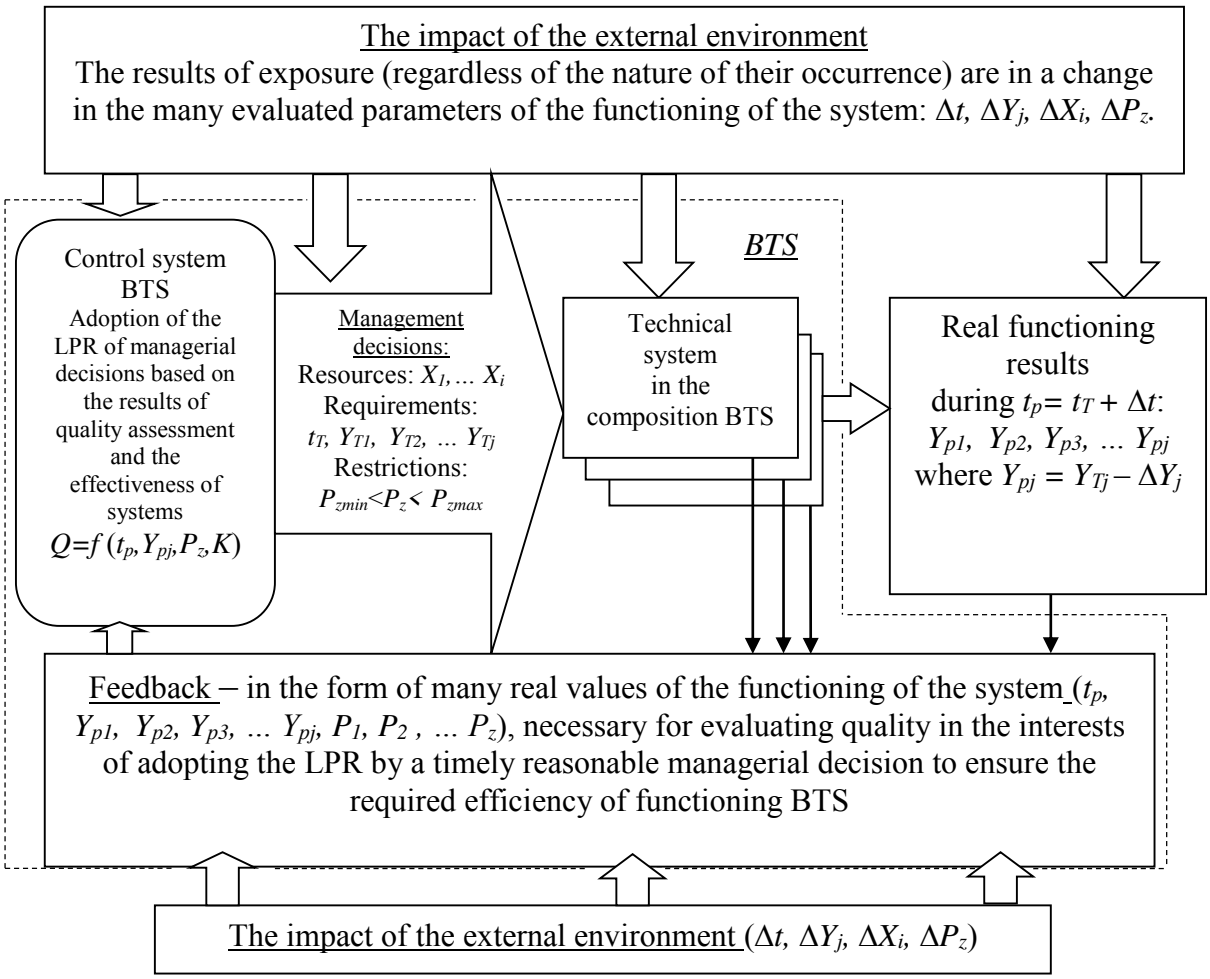


Figure 2.5.1. Dynamic BTS model for rational quality assessment in the process of exploitation

- feedback SC BTS with the technical system and the results of the functioning of systems;

- the whole set of external environment influences on all of the above listed elements of the model (fig. 2.5.1).

By the entire set of external environmental influences in this model, we mean the following components, depending on their impact on the achievement of the goal, as the totality of the required results of the functioning of the system (t_T, Y_{T1}, Y_{T2}, ... Y_{Tj}) [20, p.120]:

1. Favorable influences are timely and fully supplying quality resources (X), rational legal foundations of the functioning of BTS, developed external infrastructure that ensures the functioning of the system, etc.

Favorable influences of the external environment improve the values of the real results of the functioning of systems (t_p, Y_{p1}, Y_{p2}, Y_{p3}, ... Y_{pj}), the actual values of the quality indicators of systems (P_1, P_2 , ... P_z) and (or) reduce the required time expenses (t_T) and resources (X_1, X_2, ... X_i) to achieve the required results (Y_{T1}, Y_{T2}, ... Y_{Tj}).

2. Adverse effects are natural disasters, the actions of attackers, accidents, etc., that is, all external influences that worsen the results of the functioning of the system, increase the costs of resources and time, and also disable systems (elements) in BTS.

3. Neutral influences of the external environment. Moreover, if the effect of the external environment is neutral (no exposure), then the condition is met: $\Delta t=0$, $\Delta Y_j=0$, $\Delta X_i=0$, $\Delta P_z=0$.

In general, the target function in the dynamic model BTS (*Objective Function – OF*) can be described by expression:

$$OF=\Phi(E,K,G,P,Y) \qquad (2.5.4)$$

where Φ – functional operator displaying functional spaces:

- all input variables E (SC impact on the technical system in the composition of BTS), that is, resources X_1, X_2, ... X_i and requirements t_T, Y_{T1}, Y_{T2}, ... Y_{Tj};

- spaces of specified variables that express the specifics and conditions of exploitation systems in BTS (K), that is, limiting the values of the quality indicators of

systems $P_{zmin}<P_z< P_{zmax}$, the introduction of veto coefficients, limiting time expenditures (t_p) and expenditure by type of resources (X);

- a set of external environment influences G, that is Δt, ΔY_j, ΔX_i, ΔP_z;
- variable states of the evaluated system P, that is P_1, P_2 , ... P_z;
- achieved results of functioning Y, that is t_p, Y_{p1}, Y_{p2}, Y_{p3}, ... Y_{pj}.

Figure 2.5.1 characterizes the effect on the system from the point of view of the process approach (paragraph No. 1.1). It is logical to draw the following conclusions based on the results of the analysis of the model presented in figure 2.5.1:

1) the effects of the external environment are subject to all components of the process of the functioning of the system;

2) the reserve of time, the supply of resources, the terms and their volume will be a determining factor for the system under consideration;

3) in modern conditions, a large number of reliable information about the subject area and about the qualitative state of the in the process of exploitation systems are necessary to make a rational decision.

The presence of information and the correctness of its use largely determine the rationality of the chosen solution [20, p.120].

V.S. Anfilatov draws the following conclusions: “It follows from the axiom that the management consists in limiting the variety of the states of the controlled object. This means that the entropy of the control object should be equal to zero $H(Y) = 0$. In other words, the uncertainty regarding the states of the control object in the control system should be completely absent and the control object should be in a strictly defined state with a probability equal to one” [13, p. 205].

Thus, the degree of reduction in the entropy of the control object in the process of interaction can serve as a quantitative characteristic when describing external and internal information processes and information collection and processing algorithms.

If the controlled object is characterized by one quality indicator y_i^l and can be in n states y_i^l , y_2^l , … , y_i^l with probability $p(y_i^l)$, $p(y_2^l)$, … , $p(y_i^l)$, then the message Y about which of the conditions is the object in the system with full information will contain the amount of information equal to its entropy:

$$H(Y) = -\sum_{i=1}^{n} p(y_i^l) \log_2 p(y_i^l) \tag{2.5.5}$$

To assess the conditions of an object characterized m by quality indicators y^j, It is required to summarize j, j= 1,2,..., m [13, p.205].

From the theory of information, it is also known that the amount of information has two important properties: positive and symmetry.

The first property indicates that the amount of information is always more or equal to zero $(I \geq 0)$.

According to the second property, the amount of mutual information $I(A,B)$, which contains the adopted message about the sent, is equal to the number of mutual information $I(B,A)$, which contains the sent message about the adopted:

$$I(A,B) = I(B,A).$$

The indicated characteristics of the information allow us to analyze the control influences regarding their compliance with the states of the controlled object [13, p. 206].

In the system of the system (fig. 2.5.1), the control component (SC BTS) cannot change the condition of the external environment, but can affect the control object (technical system) – E, according to the effects of the environment G and the state of the object of the P, the state of the object P affects on the state of the needs of the subject $A = (\alpha_1,...,\alpha_k)$, where α_i – the state of the i-needs of the subject.

При моделировании на основе результатов анализа предметной области (параграф № 1.1 диссертации) и для учета специфики exploitation BTS введем ограничение, что SC BTS, строит свое поведение исходя из минимизации потребностей в ресурсах (X) при exploitation BTS:

$$\alpha_i(E,G) \rightarrow \min_{r \in X}(i = \overline{1,k}). \tag{2.5.6}$$

Let be E_x^* – solving the problem (2.5.6). The method of solving the problem (2.5.6) is called the control algorithm [83, 89]:

$$E_x^* = \varphi(A_t, G) \qquad (2.5.7)$$

where φ – control algorithm depending on the effects of the external environment G and the needs of the subject A_t.

The needs of the subject A_t They are a function of time, reflecting the change in priorities, in the pro -strocess of exploration BTS and depend on changes in the state and environment (fig. 2.5.1).

The management algorithm φ, can be recorded in recurrent form:

$$E_{N+1} = (E_N, A_t, G)$$

at every step, improving management

$$A_{t+1}(G, E_{N+1}) < A_t(G, E_N).$$

The synthesis of the control algorithm can be divided into two parts:

$$A_t \rightarrow Z^* \rightarrow E^*.$$

At the first stage, management goals are formed Z^*, At the second stage, control exposure is synthesized for control goals E^*:

$$Z^* = \varphi_1(G, A_t)$$
$$E^* = \varphi_2(Z^*, G)$$

Separation of control algorithms into two parts φ_1 and φ_2 Reflect the division of management tasks into tasks solved ACS BTS and solutions made by LPR based on the results of quality assessment.

Management tasks (including quality assessment), solved by ACS BTS, can be formalized and performed by software and software, in particular the author developed by the author [43, 44, 45, 46, 47]. The model of the interaction of elements in exploitation BTS is presented in figure 2.5.2.

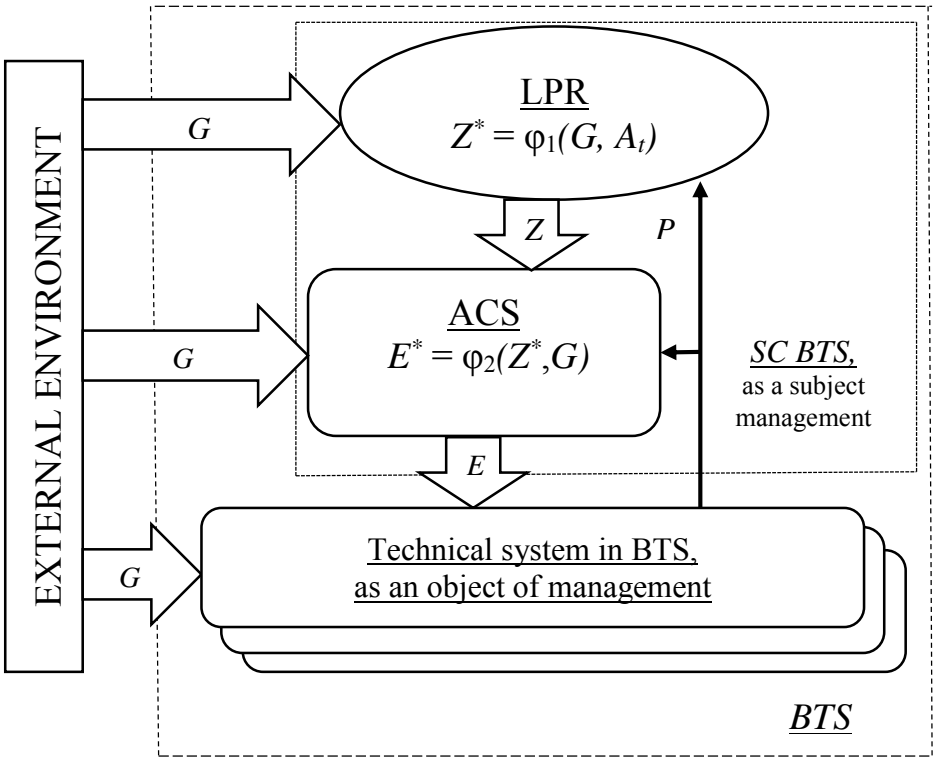


Figure 2.5.2. Exploitation BTS elements interaction model

As a commentary on figure 2.5.2, it is important to note that SC is a special class of dynamic systems that differ in the presence of independent functions and management goals and the high level of a special system organization necessary for the implementation of these functions and goals.

Within the framework of modeling (fig. 2.5.1 and 2.5.2), to achieve the purpose of the dissertation research regarding the development of methods and models of quality assessment (practical part of the study), it will rationally identify eight stages of management [83, p. 32]:

1. Formation of system management goals in BTS.

Management goals can be determined both in relation to external influences *G* and

the needs of the subject A_t.

In this dissertation study, it is rational to determine three types of goals [68, p.107]:

1.1. Stabilization – maintaining the parameters of the system in given values

$$Z_i^* = k_i .$$

1.2. Restrictions – finding targeted variables in established intervals

$$k_i^{\text{нижн.}} \le Z_i^* \le k_i^{\text{верх.}} .$$

1.3. Extreme goal is to achieve targeted variables of maximum values

$$Z_i^* = \max(Z_i) .$$

2. Determination of the control object – the evaluated technical system as part of BTS.

3. Structural synthesis of the model.

3.1. Determination of the external structure of the model.

3.2. Decomposition of the model.

3.3. Determination of the internal structure of the elements of the model.

4. Identification of the parameters of the object of the object. This stage is associated with the determination of the numerical values of the parameters of the links of the model.

5. Planning of the experiment. The purpose of the experiment is to determine the desired parameters of the model of the control object, to check the hypotheses about the structure and parameters of the model.

6. Control synthesis. The type and parameters of the control influences of *E*, aimed at achieving the set management goals, are selected Z^*.

7. Implementation of management.

For synthesized control, *E* is built real management effects E^*. If when implementing management using E^* The goal is not achieved, then it is necessary to return to the previous block to redefine the goals of control, which meets the change in the state of the system *P* and the external environment *G*.

8. Correction. The specificity of complex systems is that the information obtained at the previous stages approximately reflects the state of the system.

Changes in the values *P* and *G* can lead to the fact that the target targets obtained at the previous stages, the system of the system needs to be corrected.

In this case, the transition to the implementation of the above seven stages of control of the BTS is carried out.

The dynamic model of the BTS presented in this paragraph is intended for a rational quality assessment in the process of exploitation and provides a description of the management process as an information process.

Moreover, in the presented model, this information process consists in the cyclic performance of the following actions:

- in the collection and processing of information about the quality state of systems, the impact of the external environment, the costs of resources and time achieved results;

- adoption of a managerial decision based on the results of assessing the efficiency and quality of systems operated in the BTS;

- the development of the corresponding managing effect and bring it to the evaluated systems.

Thus, the dynamic model of the BTS, developed to rational assessment of the quality of systems, reflects the dependence of the change in time parameters and the expenditure of resources to exploitation on the influences of the external environment and the management decisions made.

In the future, the presented dynamic model of the BTS will serve as one of the foundations for the development of a model of supporting technical systems in the process of exploitation (paragraph 5.1), as the basis of the component part of the “QUALITY ASSESSMENT” of this model (fig. 5.1.1) and the model of ensuring the stability of the BTS (paragraph 3.3 of the dissertation).

Second chapter research findings

In accordance with the task of the dissertation, for the formation of the theoretical basis for achieving the goal of the study, principles are formulated as defining rules in the field of evaluation of systems, on the basis of which the methods and models presented in this chapter are developed. The principles allow you to fully take into account the established requirements, restrictions and assumptions in the development and implementation of methods and means. A method for evaluating the quality of systems based on the construction and comparison of the basic and real structural-functional models of the system has been developed. The construction of system models and their comparison occurs according to the established criteria, including the introduction of a veto coefficient. The proposed unified form of development of models provides for both taking into account the requirements for the universality of the methods and the need for the required detail when evaluating quality for the most complete accounting for the specifics of the exploitation of systems as part of the BTS.

The method of advanced paired comparisons differs from all other options for paired comparisons by the systematization of the rules of logical conclusions for the software implementation of comparison of systems in order to substantial reduction of resources and time. This method provides for the use of specially designed formulas and tables of verification values to verify the results of the evaluation for consistency and to control the entry of false information (error prevention).

The modified DEA method allows you to evaluate the effectiveness and efficiency of systems when reducing the impact of disadvantages of classical methods. Principles and methods are a new scientifically based methodological decision in the field of improving management and making managerial decisions, acting as a theoretical basis for the creation of models, methods, algorithms, method, computer programs and BTS information reserves. In addition, it is possible to use the theoretical part of the dissertation to prepare the technical specifications for the implementation of R&D in order to develop and improve the BTS and systems in their composition.

Chapter 3. Model and methodology of assessment of the processes of ensuring of the stability and probabilistic characteristics of big technical systems

3.1. The methodology for analysis and assessment of the probability of a big technical system's non-performance of its functions in the process of exploitation

Development of a methodology together with the computer program “Calculation and analysis of probabilistic characteristics of a system” (hereinafter referred to as the paragraph – methodology and program) [34, 35, 44] is the development and improvement of scientific research in the application of the binominal law of distribution in samples with a return [8, 13, 14, 159]. The theoretical basis of the methodology is the work of the author [34, 35, 41, 70, 81] for the development and improvement of scientific research of professor Shishkin I.F. [158, 159] in the field of standardization and quality management.

Theoretical basis of the methodology.

In the process of exploitation of modern BTS, constant monitoring (fig. 2.1.4) of the qualitative state of technical systems (elements, products in their composition. During the control process, multiple measurements of the selected controlled parameter Q on the relationship scale occur.

As a result, an array of experimental data is formed by measuring this parameter in each evaluated system operated in the BTS.

In another embodiment, multiple measurement is performed according to the order scale. This can be, for example, a measurement by comparison with a template or image, as well as the measurement of quality by the expert method.

Therefore, the main theoretical base of the methodology is based on a sample without a return. Since during the exploitation of technical systems (elements) in the BTS, each of them is essentially checked for performance (serviceability), and remaining in the BTS.

Thus, the probability of a good or faulty product in the process of exploitation will remain the same. In this case, there is a series of independent measurements (checks) on the order scale [41, 70].

If we indicate through *P*, the probability of a faulty technical system (or the probability of a system failure in the process of exploitation) is indicated in the BTS, then the probability of a good system will obviously be *1 – P*.

The probability of the appearance of *x* faulty systems (elements) in the BTS with the total number of technical systems – *n*, rationally calculate by the formula [158, 159]:

$$P_n(x) = C_n^x P^x (1-P)^{n-x} = \frac{n!}{x!(n-x)!} P^x (1-P)^{n-x} \qquad (3.1.1)$$

where C_x^n – the number of combinations from n elements according to *x*.

Accepting discrete values at different *x = 0, 1, ..., n* function $P_{n(x)}$ is called in the dissertation by the binomal distribution of the likelihood of the appearance of In the process of exploitation BTS, consisting of n technical systems (elements), the number of faulty (simultaneous failures) of systems (simultaneous failures) elements) – *x*.

In this case, the result of assessing the probability of the appearance of *x* the number of faulty elements in the system obeys the binominal law of probability distribution with numerical characteristics:

$$M(x) = nP \quad \text{и} \quad D(x) = nP(1-P)$$

Mathematical expectation of a share of faulty systems in the composition BTS:

$$M\left(\frac{x}{n}\right) = \frac{M(x)}{n} = P \qquad (3.1.2)$$

In practice, under probability *P*, we will consider the share of faulty systems in the BTS consisting of *N* systems. Wherein $P = \frac{N_{неиспр}}{N}$.

Therefore, it is possible to establish the following rule for making a decision on the possibility of BTS to fulfill the tasks of purpose and (or) achieve the goal of functioning:

- at $M(\frac{x}{n}) \geq P_н$ assessed BTS is able to fulfill the tasks of purpose and (or) achieve the purpose of its functioning;

- at $M(\frac{x}{n}) < P_н$ assessed BTS is not able to fulfill the tasks of purpose and (or) achieve the purpose of its functioning.

However, it is realistic in practice to determine the value $M(\frac{x}{n})$ impossible [158].

You can only set in the process of exploitation the share of faulty systems in a particular BTS, which contains a certain number of systems – *n* [81].

From the theory it is known that this value is different from $M(\frac{x}{n})$ on the healer of the trust interval $\varepsilon = t\sigma_{x/n}$ with some confidential probability, while dependence *t* (where *t* – the coefficient of sterifier) differs from confidential probability from the same dependence with the normal law of distribution.

Therefore, it will be rational if the formulated rule for making a decision is changed to a practically implemented rule:

- if $\frac{x}{n} \geq P_н$, then the BTS evaluated is not able to fulfill the tasks of purpose and (or) achieve the purpose of its functioning;

- if $\frac{x}{n} < P_н$, then evaluated BTS can fulfill the tasks of purpose and (or) achieve the purpose of its functioning.

The rule will be fair with the probability of appropriate [158, 159]:

$$t = \frac{\varepsilon}{\sigma_{x/n}} \qquad (3.1.3)$$

If this probability is set and established the accuracy with which replacement is

allowed $M(\frac{x}{n})$ on $\frac{x}{n}$, that is, the hemisphere of the trust interval ε, then from the last expression you can find the required number of systems *n*.

In this case, the size *n* can be considered the necessary volume of sample.

Then the dispersion of the share of faulty systems in this sample can be calculated by the formula:

$$D(\frac{x}{n}) = \frac{1}{n^2} D(x) = \frac{P}{n}(1 - P) \qquad (3.1.4)$$

With this in mind, formula (5.1.2) gives the following number of systems in the sample ormula (5.1.2) gives the following number of systems in the sample:

$$n = \frac{P}{\varepsilon^2}(1 - P)t^2 \qquad (3.1.5)$$

The proportion of faulty or inoperative systems (elements, products) in the BTS cannot be known in advance in formula (3.1.5).

This implies the need to use some a priori information. This information can be obtained in the following versions [81]:

1. It is rational to proceed from what this share was in similar conditions or to the most similar to the existing conditions of exploitation BTS.

2. Instead of the calculated value *P(1 – P)* In some cases, it is advisable to use the greatest value of this work, which is taken equal to 0,25 [159, p. 28].

The sample set set in the formula (3.1.5) is a non -accident. Therefore, the previously formulated rule for making a decision to assess the BTS ability to fulfill the tasks of purpose and (or) to achieve the purpose of its functioning can be replaced by a simpler and more improved rule:

- at $x \geq A_c$ we establish the condition that BTS is not able to fulfill the tasks of purpose and (or) achieve the purpose of its functioning;

- at $x < A_c$ We establish the condition that BTS is able to fulfill the tasks of purpose and (or) achieve the purpose of its functioning.

In this rule, a control number is accepted as the threshold $A_c = nP_n$.

The result of measuring or observing the state of BTS is the number *x*.

This number *x* obeys the binomal law of probability distribution – formula (3.1.1) and expresses the number of faulty systems (elements) or the number of their failures in the Exploitation composition of BTS.

If the LPR or the officials, it is necessary to calculate the probability that the number of faulty systems (elements) does not exceed *x*.

This probability is called accumulated, or cumulative, and is determined by formula (3.1.6):

$$F_n(x) = \sum_{k=0}^{x} P_n(k) \tag{3.1.6}$$

Cumulative probability depends on *x, n* and *P*.

To organize a rational quality assessment of BTS in the process of exploitation, it is advisable to create conditions for using a small volume of sample *n*. Since in this case it will be possible to use a simple ratio connecting two neighboring terms in the formula (3.1.7) [158, 159]:

$$\frac{P_n(x+1)}{P_n(x)} = \frac{(n-x)P}{(1+x)(1-P)} \tag{3.1.7}$$

or what is most rational for implementation in computer programs according to the formula (3.1.8):

$$P_n(x) = \frac{P_n(1+x)^2(1-P)}{P(n-x)} \tag{3.1.8}$$

Thus, using the above theoretical basis, the methodology and program were developed on the basis of the principles and the application of the structural-functional model to determine the functions and the number of systems (elements) – *n*, performing these functions in the BTS [41, 70].

As a rule, a small total number of systems (elements) as part of the BTS estimated and the required number of systems that should be in exploitation under various modes (fig. 1.1.2) determines that “the difference between the sample with the return and without return is leveled” [159, p. 34].

Therefore, the probability ($P_{n(x)}$) of the appearance of the x faulty systems in BTS, were n is the total number of systems, will be calculated according to the main formula (3.1.1) [159, p. 29].

The diagram of the algorithm of the methodology and the work of a computer program that implements this methodology in practice (examples of calculations and application of a computer program are given in Appendix A to the dissertation) is presented in figure 3.1.1.

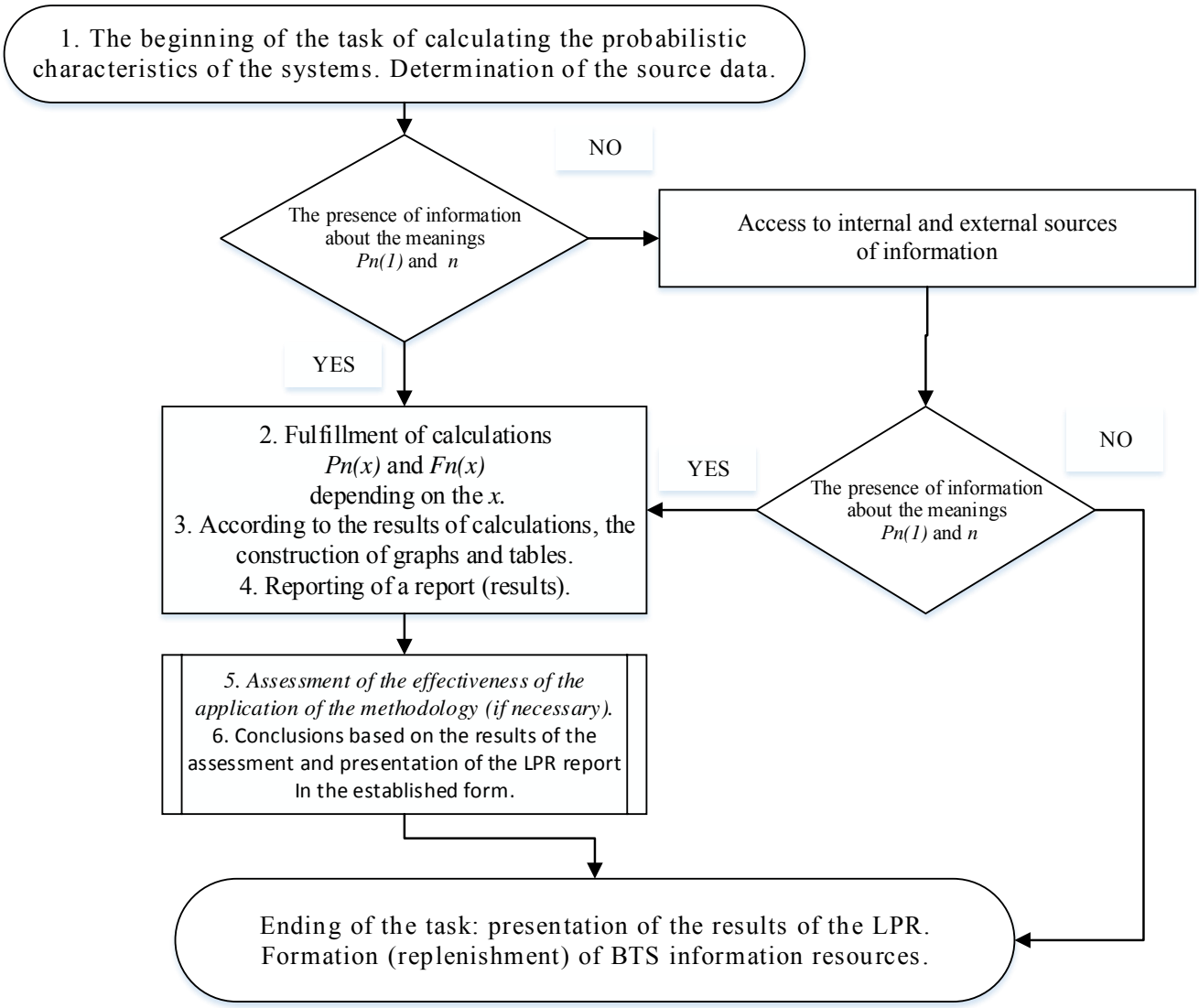


Figure 3.1.1. Scheme of the algorithm of the rational application of the methodology for analysis and assessment of the probability of a BTS non-performance of its functions in the process of exploitation

Purpose (possibilities) of the methodology and computer program:

1. To calculate the actual values of the probability ($P_n(x)$) of the simultaneous failure (malfunction) of the number of elements (x) in the system, with a simultaneous failure of which the system is guaranteed not to perform its functions, and the cumulative probability ($F_n(x)$). Calculations are carried out depending on the given probability of failure of one element ($P_n(1)$) and the total number of estimated elements (n) in the system, on which the performance of one or several functions of the system and (or) the functioning of the system as a whole for a given period of time depends.

2. To analyze the dependences of the values ($P_n(x)$ and $F_n(x)$) on each other, as well as on the probability of failure of one element ($P_n(1)$) and the number of estimated elements (n).

3. To determine the number of elements (x and n) and the requirements for the values of the basic probabilistic indicators ($P_n(1)$, $P_n(x)$ and $F_n(x)$) in the sphere of performing individual functions (functions) of the system or in the sphere of the effective functioning of the entire system

4. To calculate and compare the values of x, n, $P_n(1)$, $P_n(x)$ and $F_n(x)$ with their basic indicators (requirements) or with values for different periods of system operation or for comparison with the values of these indicators of other similar systems.

5. To determine the «weak link» in the functioning of the system: when performing which function of the system, the probability of failure of the function will be the greatest, that is, the case will come when the value of $P_n(x)$ will be the greatest.

6. To save time and resources for testing the number of evaluated elements (x and n) in real conditions with a known value of $P_n(1)$, by predicting the probability in the sphere of stable functioning of systems (by constructing tables of values of $P_n(x)$ and $F_n(x)$)

Restrictions:

1. Detailization of the BTS composition by the number of systems is limited to the requirements for the development of the basic structural-functional model of BTS.

2. A prerequisite for the implementation of the methodology is the presence of the initial real values: the probability of a refusal of one system ($P_n(1)$) and the total number of systems (n) for the estimated period of time.

Assumptions:

1. The application of the methodology and program is possible subject to the correct determination of the number n systems in the composition of BTS, performing a given function. In other words, in the methodology it is allowed that any object (system) can be represented in the form of a certain amount (n) of interconnected heterogeneous or homogeneous systems (elements) – example, figure 3.1.1.

In the BTS evaluated, the first assumption fully refers to communication systems, ACS, signaling and warning, power systems, transport systems, emergency recovery systems, technical protection systems and access control systems.

2. The application of methods and programs in relation to heterogeneous systems (elements) as part of BTS is most rational in the "pessimistic scenario", that is, during calculations, the most probability of failure of one system is selected ("weak link") – $P_n(1)_{max}$.

As an important comment, it is worth noting that the second assumption illustrates the most difficult case of applying the methodology when the system under study consists of heterogeneous elements that have various $P_n(1)$ values obtained during the study (testing).

Then, in order to obtain the results as close as possible to practice, it is advisable to take the greatest value of $P_n(1)_{max}$ for calculations on formulam (3.1.1), (3.1.6), (3.1.7) and (3.1.8).

That is, to take into account the greatest probability of the appearance of a malfunction (failure) of an element of a system that affects the achievement of the goal of the system.

This will make it possible to take into account the random and poorly predicted influences of the external environment on the stability of the evaluated system [34, 35, 36, 70].

3. The system always has a given number of elements (x), with the simultaneous failure of which the system or object will fail or will not fulfill the required function (task) [81].

Thus, the probability of a simultaneous refusal of the elements $P(x)$ can be reasonably accepted for the probability of failure to fulfill the task or failure of the system [41].

For example:

- restoring j of the number of BTS elements will not occur during the set time $\Delta t_{\text{в}}$ with the calculated probability $P(x)$ in the presence of a given amount (x) of the non - explosive technical means of technical means;

- achieving the goal of the functioning of the system is possible with the calculated probability $(1 - P(x))$ if there is a given amount $(n - x)$ working elements (with the number of faulty elements of x) for the established period of time exploitation of the system.

The purpose of the methodology, as well as adopted assumptions and restrictions, make it possible to form a scheme for the rational application of the methodology (fig. 3.1.1), taking into account the availability of BTS information reserves and the need for their relevant replenishment according to the task of the dissertation.

In accordance with the scheme (fig. 3.1.1), the content of the methodology (computer program) is as follows [68, p. 116]:

1. Determination of the initial data for assessing the quality of systems.

1.1. Formulation of the purpose (purpose) of the application of the methodology and computer program, by choosing and combining the above-described points 1 – 6 of the methodology purpose.

1.2. Determination of the function (functions), the performance of which is influenced by the evaluated elements, or the establishment of the minimum required number of systems (elements of one system), in which the system will be in the required state.

1.3. Depending on the purpose of the application of the technique (p. 1 – 6 assignment), set the initial values *x, n*, or P_n *(1)*.

2. Performing calculations and plotting graphs – examples in the figure.

2.1.

$$P_n(x) = C_n^x P^x (1-P)^{n-x} = \frac{n!}{x!(n-x)!} P^x (1-P)^{n-x}$$

(3.1.1)

where C_n^x – is the number of combinations of *n* elements in *x*;

2.2.

$$F_n(x) = \sum_{k=0}^{x} P_n(k) \qquad (3.1.6)$$

The cumulative probability depends on *x, n, P*.

2.3. If in practice the volume *n* is small, then to calculate P_n *(x)* it is rational to use the formula (3.1.8):

$$P_n(x) = \frac{P_n(1+x)^2(1-P)}{P(n-x)} \qquad (3.1.8)$$

3. Construction of tables with calculation results (example – tables 3.1.1 and 3.1.2) and dependencies (examples – fig. 3.1.1 and 3.1.2) [68, p. 120].

4. Registration of the results of analysis and quality assessment in the form convenient for LPR: in the form of text and (or) graphic documents [70, 81].

The computer program presents the possibility of choosing a brief report or a detailed report in Word documents format (examples are presented in Appendix A “Examples of settlements and the application of comp computer programs”).

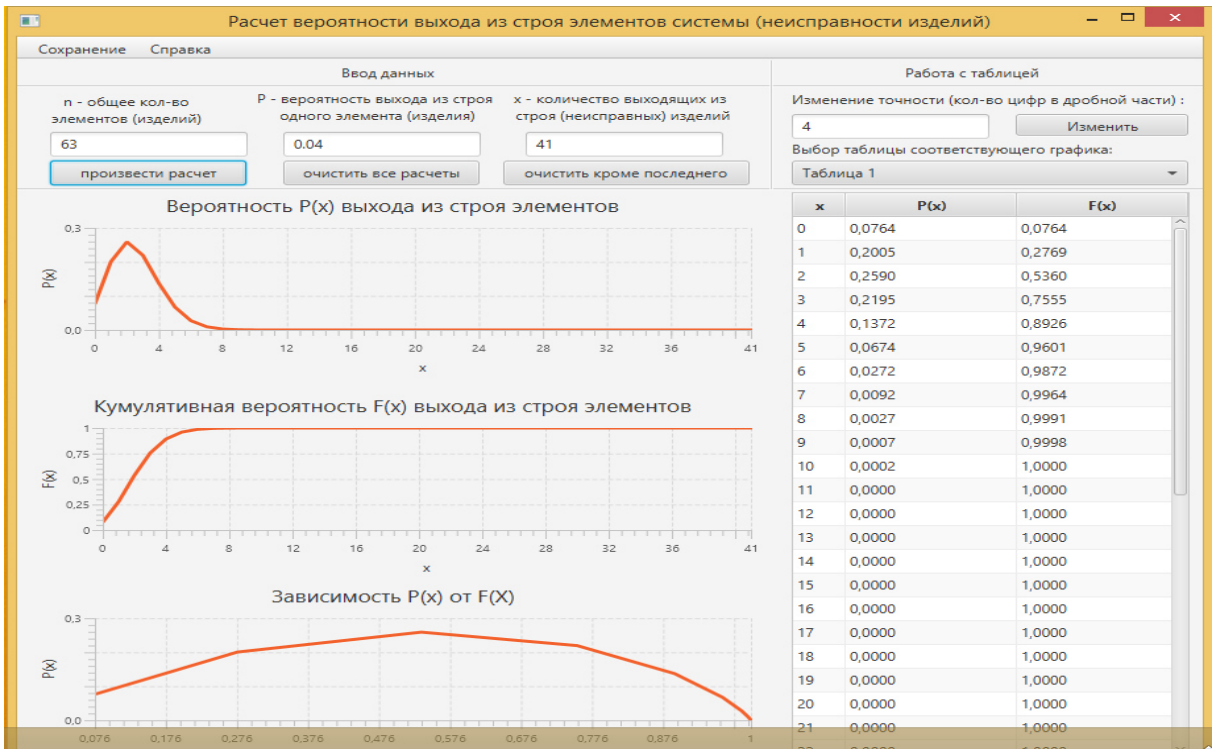


Figure 3.1.2. Calculation results and graphs for $n = 63$, $x = 41$, $P_n(1) = 0,04$

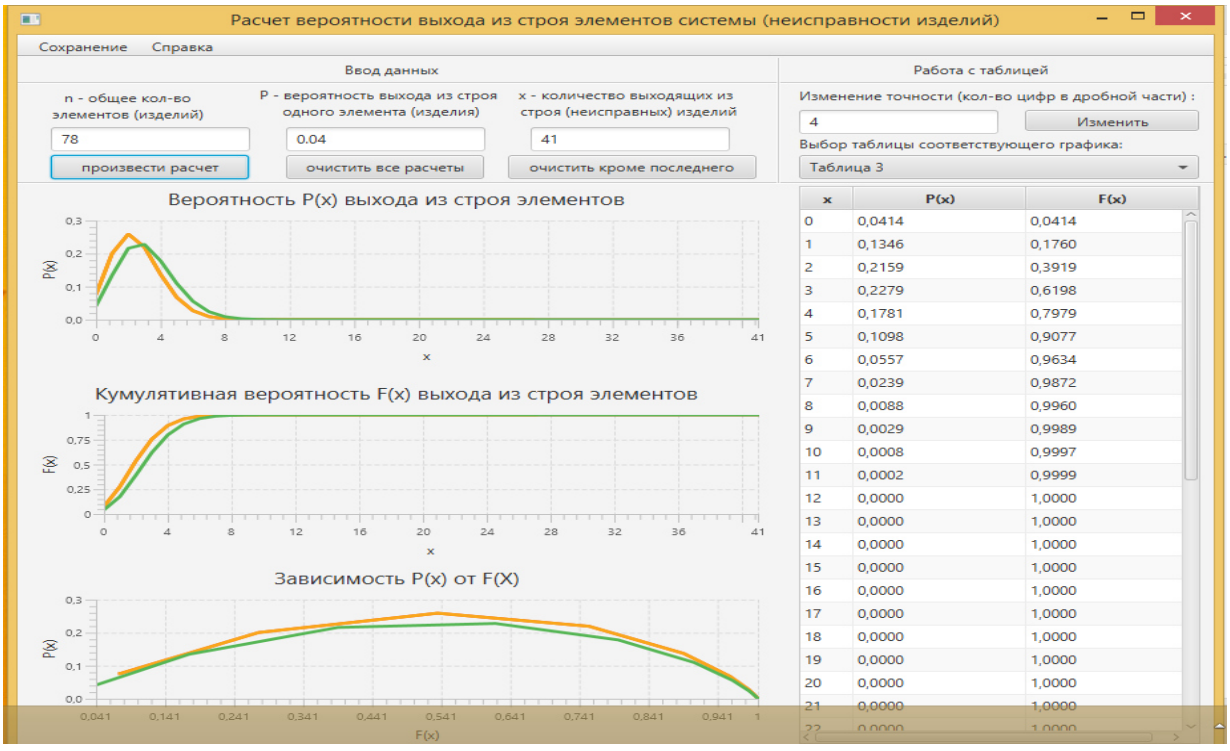


Figure 3.1.3. The results of calculations with the second schedule, built with an increase in the number of systems to $n=78$

Table 3.1.1

The initial data for t_0: *n=78, x=41, Pn(1)=0,04. (fig.5.1.3)*		
X	$F_0(x)$	$P_0(x)$
0	0.04141485804420176	0.04141485804420176
1	0.17601314668785747	0.13459828864365572
…	…	…
8	0.9960453727894724	0.008821680578511508
…	…	…
41	0.9999999999999999	2.6262744769388977E-36

Table 3.1.2

X	The initial data for t_0: *n=78, x=41*, $P_n(1)=0,04$. *(fig.5.1.3)*		The initial data for t_1: *n=63, x=41*, $P_n(1)=0,04$. *(fig.5.1.2)*		Changing indicators for the period of functioning time BTS: $[t_0 ; t_1]$	
	$F_0(x)$	$P_0(x)$	$F_1(x)$	$P_1(x)$	$\Delta F(x)$	$\Delta P(x)$
0	0.0414	0.0414	0.0764	0.0764	*– 0,035*	*– 0,035*
1	0.1760	0.1346	0.2769	0.2005	*– 0,1009*	*– 0,0659*
…	…	…	…	…	…	…
8	0.9960	0.0088	0.9991	0.0026	*– 0,0031*	*– 0,0026*
…	…	…	…	…	…	…

5. Assessment of the effectiveness of the application of a methodology and computer program using a computer for computers “Analysis and assessment of systems effectiveness” (if necessary).

6. Conclusions based on the results of the assessment. Presentation of LPR results in the established form and in the required volume.

Additionally, it is important to note that a computer program that implements the methodology allows you to analyze the probabilistic and temporal characteristics of the system failures (products) based on primary statistical data obtained at the estimated time of the exploitation systems.

The program can be used to model and analyze the probability of failures of a given number of system elements and cumulative probability.

To achieve this goal, the program provides for the following functionality: calculating the probability of failures (malfunctions) of the set number of system elements

and cumulative probability, depending on the total number of elements in the system. The program performs the construction and comparison of graphs and tables, as well as their preservation and export to Word and (or) in Excel.

Programming language: Java. Program volume: 324 KB.

The main positive effect of the development and implementation of the methodology, together with the computer program, is a significant reduction in time and resources:

- to assess the probability of failure to fulfill the functions of the system *P(x)*, depending on the number of damaged (faulty) elements (*x*);

- for the preparation and execution of reports, presentations, reports and managerial solutions in the field of ensuring stability BTS (systems);

- for the preparation and conduct of testing due to modeling based on the source data on the probability of failure of the system elements, in which case saving time ($\Delta T(n)$) and resources ($\Delta S(n)$) is proposed to calculate by formulas:

$$\Delta T_{Э} = T(n) - T(1) - T_{M} \tag{3.1.9}$$

$$\Delta S_{Э} = S(n) - S(1) - S_{M} \tag{3.1.10}$$

where *T(n)* and *S(n)* – This is, respectively, the total consumption of time and resources (the total cost of the spent resources) for the preparation and conduct of testing with exploitation of the number of systems (*n*) in the BTS for the required time in a given mode (Fig. 1.1.2);

T(1) and *S(1)* – this, respectively, is the consumption of time and resources for the operation of one system in the BTS for the required test time in a given mode;

T(n) and *S(n)* – this, respectively, is the consumption of time and resources for modeling BTS states, depending on the calculated probability of failures (malfunctions) of the set number of system elements and cumulative probability, as well as preparation of reports.

Thus, formulas (3.1.9) and (3.1.10) can be used in the implementation of the scheme of rational application of the methodology in paragraph 5 “Evaluation of Efficiency” separately or together with a computer program “Analysis and assessment of

systems effectiveness" [44].

Assessment of the results of the implementation of the methodology and program, as well as further recommendations on their rational use to achieve the goal of research are formulated in paragraph No. 5.3 of the dissertation.

The disadvantage of the proposed methodology is the fact that the value of *P(1)* in a given mode and for the required period of time exploitation of the system may not always be accurately known.

But it is important to take into account that in adverse conditions of functioning, the stability of BTS and systems in its composition (hereinafter referred to as the system) largely depends on the speed of adoption, bringing and fulfilling managerial decisions, which, in turn, are determining for the real values of the time characteristics indicators of the functioning of the system [41, 70].

Temporary characteristics will determine the likelihood of a timely achievement of the goal of the system, for example, the timely translation of the system into the required mode of exploitation.

Therefore, it is advisable as an additional indicator of the quality assessment of the system to study the possibility of assessing the probability of achieving the goal of the system without determining the values of *P(1)* and *n*.

This issue is considered in the next paragraph No. 3.2, as an additional tool for strengthening the practical part of the study.

In conclusion, it is important to note that the development and implementation of the methodology and program, as a new scientifically based technical solution, has led to a significant reduction in information processing during the preparation of managerial decisions without the cost of additional resources (Appendix B the dissertation "Acts of the implementation of the results of the dissertation research, acts of installation of programs for programs for computers and certificates of state registration of computer programs ").

3.2. Methodology of assessment of the probability of achieving the goal of the system functioning

In the interests of an additional assessment of the quality of systems in the dissertation, a methodology for assessing the probability of timely achieving the goal of the system functioning together with the computer program "Calculation of the probability of timely achievement of the purpose of a system's functioning in unfavorable conditions depending on the time of making and announcing of managerial decisions in information management cycle" (hereinafter this paragraph is a methodology and a computer program) [34, 43]. The methodology is based on the scientific works of G.I. Azarov in the field of application of the integral equation of Voltaire's second-order Voltaire in the calculations of probabilistic and temporal characteristics of the communication system [2, 3].

In the methodology and program for computers, a calculation of the probability of the timely achievement of the goal of the system functioning using the integral equation of Voltaire of the second second-order regarding this probability [2, p. 32]:

$$P(t_н,t) = 1 - F(t_н) + \int_0^{t_н}\int_0^{t_0} P(t_н - \tau, t_0 - \Theta) dF_v(\Theta) dF(\tau) \qquad (3.2.1)$$

In the basic formula (4), $P\ (t_n,\ t)$ is the probability of timely achievement of the goal of the system functioning under the condition of the required (normal) functioning of the system in the initial period of time. In this case, $1 - F\ (t_n,\ t)$ is the probability of failure-free functioning of the system during time t_n.

$P\ (t_n - \tau,\ t_0 - \Theta)$ is the probability that the system, being in the initial period of time in failure, will restore operability and complete tasks before the rest of the reserve time $t_0 - \Theta$ is consumed.

$dF_v\ (\Theta)$ is the probability of system recovery in time $\Theta < t_0$.

$dF\ (\tau)$ is the probability of the first system failure at the moment $\tau < t_n$.

Purpose of the methodology: calculate the probability of timely achieving the goal of the system functioning, depending on the timeless functioning of the system, reserve

time and the maximum possible number of failures (malfunctions) of elements in the system. The developed methodology and a computer program (implementing this methodology) can be used to justify management solutions in ensuring the operational of the system stability.

Restriction: the initial amount of breakdown of numerical intervals for numerical modeling N_1=100.

Assumption: the accuracy of calculations of numerical calculations is ε.

The sequence of actions when performing the Methodology (algorithm of the computer program [43] – the second stage of the Methodology):

Stage I. Definition and input of initial data.

1. t_n – the minimum required time to achieve the goal of the system functioning in favorable conditions (there are no malfunctions, accidents and other destructive influences). That is, this is the operating time of the system when there are no failures (malfunctions of elements) that affect the achievement of the goal.

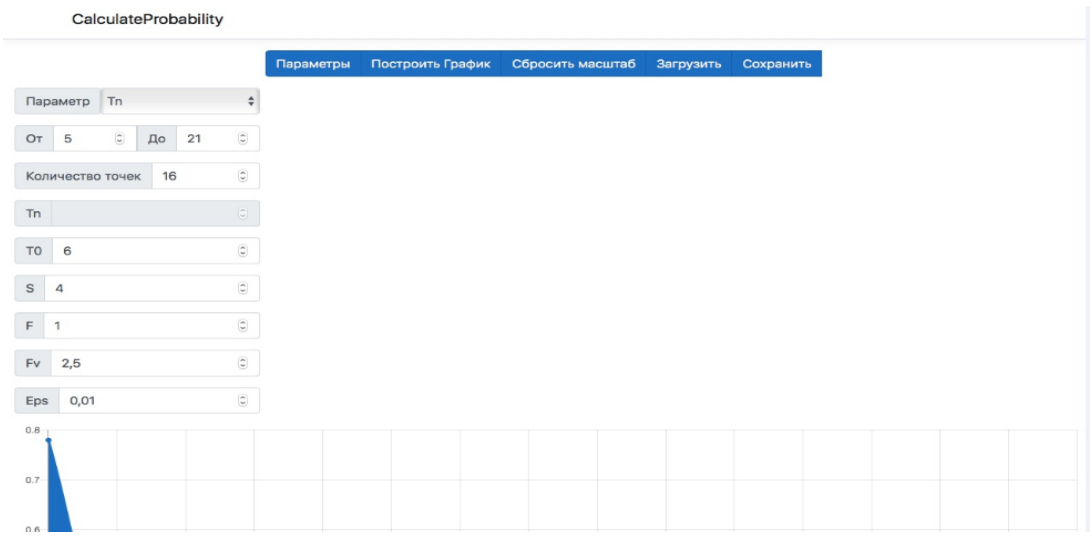


Figure 3.2.1. Start work with the program: entering data

2. t is the required (set) time to achieve the goal of the system functioning, while the condition must be met: $t \geq t_n$, the value of t is not entered into the program for calculations (the second stage of the Methodology).

3. t_0 – standby time, calculated as the difference between the values of the required time (t) and the minimum required time (t_n): $t_0 = t - t_n$.

4. S – is the limiting number of failures, in the form of a set of damages, malfunctions, lack of resources and the consequences of untimely and (or) incorrect and (or) untimely management decisions that negatively affect the achievement of the goal of the system's functioning.

5. Parameters of the distribution functions F and F_v.

Stage II. Performing calculations using a computer program (algorithm):

1. Input of t_n, t_0, S, F and F_v values.

2. Dividing the ranges $[0, t_n]$ and $[0, t_0]$ evenly into 100 segments, since it is assumed that $N_1 = 100$.

3. At the nodes t_n, the calculation of the values of the parameters of the distribution functions F and F_v, for

$n = \overline{0, N}$ and $F(t_n) = F(n) = 1 - e^{-\lambda t_n}$, on the segment $[0, t_n]$

$F_v(t_n) = F_v(n) = 1 - e^{-\mu t_n}$, on the segment $[0, t_0]$.

Similarly, the values of the derivatives of these functions are calculated at the nodes t_n at the corresponding time intervals.

4. Calculation of the values of functions at the nodes t_n:

$$P_0(t_H) = 1 - F(t_H) \text{ и } P_{v0}(t_0) = F_v(t_0).$$

5. At the nodes t_n on the segment $[0, t_n]$, the calculation of the value of $P_i(n)$,

$$i = \overline{1, S}, \quad n = \overline{0, N}$$

$$P_i(n) = \sum_{k=0}^{n} (P_{i-1}(n-k) F'(k)) \omega h,$$

$$\omega = \begin{cases} 0.5, & \text{for } k = 0 \text{ and } k = n \\ 1, & \text{for others } k \end{cases}$$

- weights of numerical integration by the trapezoid method, h-step between nodes t_n. [3, 5]

6. At the nodes t_n on the segment [0,], the calculation of the value of $F_{vi}(n)$,

$$i = \overline{1,S}, \quad n = \overline{0,N}$$

$$F_{vi}(n) = \sum_{k=0}^{n} (F_{vi-1}(n-k) F_v^{/}(k)) \omega h,$$

$$\omega = \begin{cases} 0.5, & \text{for } k = 0 \text{ and } k = n \\ 1, & \text{for others } k \end{cases}$$

- weights of numerical integration by the trapezoid method, h-step between nodes t_n.

7. Upon completion of steps 2-6, the result is calculated:

$$P(t_н, t_0) = \sum_{k=0}^{S} P_k(t_H) F_{vk}(t_0)$$

Next, the accuracy of the calculations performed with the parameter ε is checked.

If the obtained values do not satisfy the specified accuracy, then $N_2 = N_1 + N_1$ and steps 2-7 are repeated with the value N_2 until the accuracy ε is achieved.

8. The output of the value $P(t_н, t_0)$.

Stage III. Presentation of the results of the assessment of the LPR in the form of table 3.2.1 and (or) in the form of a graph – an example, figure 3.2.2.

Table 3.2.1.

Results of assessment of the probability

of achieving the objective of a system's functioning ($P(t_н, t)$)

Number refusals, S	Options for the values of temporary characteristics (units of measurement)								
	1 option			…			j option		
	$t_{н1}$	t_{01}	$P_1(t_н, t_0)$	…	…	…	$t_{нj}$	t_{0j}	$P_j(t_н, t_0)$
1				…	…	…			
2				…	…	…			
…				…	…	…			
i				…	…	…			

The program for computers uses programming language: C#.

Program volume: 392 KB [43].

The main positive effect: a significant reduction in the probability of achieving the

goal of the system functioning in adverse conditions, the clear physical meaning of the introduced variables and the possibility of analyzing the dependence of an increase in the probability of achieving a system with a decrease in the time of making the correct management decisions due to the application of methods and means.

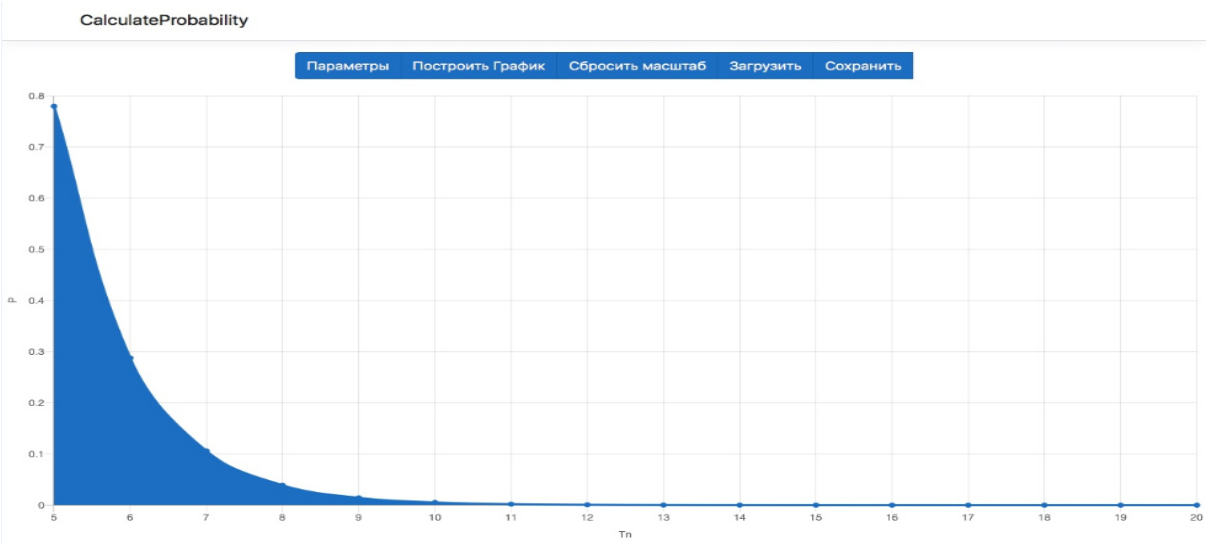


Figure 3.2.2. Building a graph dependence of the values on S = 4

The technique and program can be applicable for educational purposes, when modeling the dynamics of the development of the situation in BTS under adverse conditions, depending on the number of failures. But at the same time, in practice, it is quite difficult to accurately predict the introduced values of the variables (with the exception of the required time to achieve the goal) in the influence of destructive influences.

In addition, in this technique there is no dependence of the timely achievement of the goal on the spent resources, and this is especially important for the BTS evaluated.

Thus, in order to achieve the purpose of the study, it is advisable to consider the methodology and a computer program as an additional tool to strengthen the main methodology for assessing the probabilistic characteristics presented earlier in paragraph No. 3.1 of the dissertation.

3.3. Big technical system sustainability model

The setting of the task of dissertation research, the relationship of elements of theoretical and practical parts of the work (fig. 1.4.2), as well as scientific research in sustainability issues [119, 144] and methodological support of management [116, 121, 131, 136, 195] substantiate the use of approaches To the construction of the structural-functional model of the BTS (paragraph No. 2.2 of the dissertation) in the development of a model for ensuring stability of the BTS [35, 36, 38, 76] (hereinafter referred to as the model).

At the same time, the scientific and educational-methodical works of the author [22, 69, 75, 76, 83] make it possible to develop a model through a systematic approach to assessing the influence of adverse conditions on the stability of the BTS, taking into account the loss of BTS, the consumption of resources and time for restoration.

In theory, such mathematical models can be both determined and stochastic, describing the process of preserving the resources of the BTS and the timely deployment (commissioning) of the elements (products) of the system.

In deterministic models, all factors that affect the development of the decision - making situation are unambiguously defined and their significance are known at the time of the decision.

Stochastic models suggest the presence of an element of uncertainty, take into account the possible probabilistic distribution of the values of factors and parameters that determine the development of the situation [39, 100].

It should be noted that deterministic models, on the one hand, are more simplified, since they do not allow enough to take into account the element of uncertainty. However, deterministic models allow you to take into account many additional factors (important for LPR during the exploitation of BTS), often inaccessible to stochastic models. Given the given restrictions on the development of methods and means in our subject area, it is advisable to take determinated models as a basis.

Since in practice, the regulatory regulation of the process of operating the BTS determines the need for LPR based on the actual values of the specified quality indicators, determined directly during the exploitation of the BTS [39, 76, 162].

Thus, the proposed model is a mathematical description of the stability of the BTS, the criteria and the capabilities of the BTS to restore [36, 38, 69]. The form of representation of the model is in the form of interconnected systematic tabular forms (table 3.3.1 - 3.3.6) and conclusions.

Medication of the model:

1. Analysis of changes in stability of systems in adverse conditions of functioning.

2. Prediction of the state of systems depending on the consequences of exposure to various adverse factors.

3. Increasing the validity of managerial decisions to create reserves of systems, resources reserves, training of specialists, as well as the formation of basic requirements for the values of the quality indicators in the field of ensuring the stability of the BTS in the process of exploitation [82, p. 33].

Restriction when applying the model:

1. The model is applicable together with the structural-functional model of the BTS (system), provided that the evaluated object, with the required detail, can be represented in the form of many elements that perform the corresponding functions of the BTS.

2. The model is applicable, if the designated (paragraph 1 of these restrictions) many elements performing the corresponding functions of the BTS can be correctly divided into three groups of elements:

- elements in constant exploitation (readiness);
- elements that are in reserve and are ready for commissioning;
- faulty elements to be restored.

3. For the correct assessment of the stability of the BTS in comparison with the stability of other BTS, as well as with the basic values of stability (if any), when applying the model, it is recommended not to take into account the replenishment of personnel and resources reserves.

4. The models explore only the consequences of destructive effects on the object and at the same time do not consider the specific destructive effects themselves (accidents, natural and technological disasters, the actions of attackers, staff errors, etc.).

Assumptions:

1. At the initial point in time (T_0), the object is stable, its initial values of indicators are known and stability criteria are established.

2. The system model is represented as BTS elements that can fail, get damage and be faulty due to destructive effects.

3. Depending on the degree of detail of the structural-functional representation of the estimated BTS, the maximum values of the time, labor costs and consumption of resources for the restoration of one element that performs the function (function) of the BTS are taken, that is, the pessimistic scenario of the development of events is considered due to destructive influences on the object in adverse conditions.

This assumption allows you to take into account the poorly predicted events during the exploitation of the BTS in adverse conditions.

The model allows you to take into account the change in the initial indicators of the functioning of the systems depending on the results of the exposure to adverse conditions [39, 70].

For this, the model includes a set of interconnected tables containing metric of indicators (2 and 3 columns of table. 3.3.1), description of the requirements, criteria and dynamics of changes in the main indicators: stable functioning time, resources, number of subsystems (elements), number of personnel, number of personnel, number labor costs, malfunctions, the capabilities of the system to restore and the results of recovery – table 3.3.1 - 3.3.6 [82, p. 34].

Table 3.3.1

The minimum necessary standard requirements to ensure sustainable functioning BTS for a period of time (Δt) _____ (day) and criteria for determining stability BTS

№ p/n	Name of the indicator	Designation indicator	Unit measurements	Quantitative value and criteria for determining stability BTS
1	Number of systems located in continuous exploration (readiness)	N_{min}	set	If $N > N_{min}$, then the object is stable, If $N < N_{min}$, then the object is not stable, If $N = N_{min}$, then an object on the border of its stability.
2	Number of systems located in reserve	$n_{p.min}$	set	If $n \geq n_{p.min}$, then the object is stable; If $n < n_{p.min}$, then an object on the border of its stability; If $n_{p.min} = 0$, то объект не устойчив.
3	The total number of systems, as part of BTS	$N_{общ.min}$	set	$N_{общ.min} = N_{min} + n_{p.min}$ If $N > N_{общ.min}$, then the object is stable, If $N < N_{общ.min}$, then the object is not stable, If $N = N_{общ.min}$, then an object on the border of its stability.
4	The minimum number of personnel required for exploitation BTS	$L_{эк.\ min}$	specialist	If $L_{эк.} > L_{эк.\ min}$, then the object is stable, If $L_{эк.} < L_{эк.\ min}$, then the object is not stable, If $L_{эк.} = L_{эк.\ min}$, then an object on the border of its stability.
5	Electricity, the minimum necessary power consumption for the normal functioning of BTS	W_{min}	kW/hour	If $W = W_{min}$, then the object is stable and electricity consumption fine. If $W > W_{min}$, then the object is stable, but electricity consumption is higher than the norm. If $W < W_{min}$ ($W=0$), then the object is not stable and electricity consumption below normal (or absent, that is $W=0$).

№ p/n	Name of the indicator	Designation indicator	Unit measurements	Quantitative value and criteria for determining stability BTS
6	Stocks of fuel and lubricants	G_{min}	litr	If $G > G_{min}$, then the object is stable, If $G < G_{min}$, then the object is not stable, If $G = G_{min}$, then an object on the border of its stability.
7	Spare tools and accessories	Z_{min}	set	If $Z > Z_{min}$, then the object is stable, If $Z < Z_{min}$, then the object is not stable, If $Z = Z_{min}$, then an object on the border of its stability.
8	Reserves of other resources necessary for the production of products (for BTS industry) and (or) to maintain the required state	$X_{n\ min}$	Accepted units. Izm. other resources	If $X > X_{min}$, then the object is stable, If $X < X_{min}$, then the object is not stable, If $X = X_{min}$, then an object on the border of its stability.
9	Budget exploitation and repair and restoration work BTS	S_{min}	thousands of rubles	If $S > S_{min}$, then the object is stable, If $S < S_{min}$, then the object is not stable, If $S = S_{min}$, then an object on the border of its stability.
10	The minimum required result of the functioning of BTS: the number of products, services rendered and (or) maintaining the required number of systems in the readiness of the required number (N_{min})	Y_{min} или N_{min} (п.1 таблицы)	For Y_{min} accepted units. izm. products (services)or for N_{min} set	If $Y \geq Y_{min}$, then the object is stable, If $Y < Y_{min}$, then the object is not stable.
11	The number of vehicles (equipment)	D_{min}	set	If $D > D_{min}$, then the object is stable, If $D < D_{min}$, then the object is not stable, If $D = D_{min}$, then an object on the border of its stability.
12	The number of sources of the backup electr. power for systems located In continuous exploration (readiness)	A_{min}	set	If $A > A_{min}$, then the object is stable, If $A < A_{min}$, then the object is not stable, If $A = A_{min}$, then an object on the border of its stability.

In the developed model, the description of the stability state of the BTS stability at any time t_i occurs using the systematized values of the selected indicators of the functioning of the BTS (system) with the subsequent assessment of the values of these indicators in accordance with the specified criteria (table 3.3.1) [69, 76].

Criteria reflect the specifics of exploitation BTS and requirements to achieve the purpose of its functioning. The calculation of the values of quality indicators (table 3.3.1) at the time of time t_i is made according to the formula:

$$K_i = K_{i-1} - K_{ni} + K_{вi} \quad (3.3.1)$$

where K_i – значение показателя качества в момент времени t_i;

K_{i-1} – the previous value of the quality indicator BTS (system) before the occurrence of the moment of time t_i, that is, at the time of time t_{i-1};

$K_{вi}$ – quantitative value, expressing an increase in resources of resources and the number of restored BTS elements (systems), that is, an increase in the value of the quality indicator by the time of time t_i;

K_{ni} – the quantitative value expressing the loss of resources and loss (malfunction) of BTS elements (system), that is, a decrease in the value of the quality indicator by the time of t_i time or during the period of time:

$$\Delta t_i = t_i - t_{i-1} \quad (3.3.2)$$

In the model, the main value characterizing the influence of the quality of systems on the stability of BTS is the amount of time (Δt_y), during which the object is able to steadily function in adverse conditions without the receipt of external resources and with the same amount of resources in the initial state (table. 3.3.3), that is, before the start of exposure to adverse conditions:

$$\Delta t_y = t_i - t_0 \quad (3.3.3)$$

where t_0 – the time of the beginning of the impact of unfavorable conditions on the object and (or) on the system in its composition.

Thusм, Δt_y can reasonably be considered the main quality indicator when assessing the quality (comparison) of various systems in the field of stability of similar BTS operating in the same adverse conditions, or when assessing the quality of systems of one BTS before and after modernization.

Based on the foregoing, it is advisable to develop a criterion for assessing the stability of BTS, which consists in the fact that at any time t_i in the estimated period of time Δt_y:

$$K_i \geq K_{imin} \tag{3.3.4}$$

where K_{imin} – the minimum allowable value of the indicator at a point in time t_i.

The object is stable, if at any moment of the estimated period of time the value of the selected quality indicator is greater than or equal to its minimum allowable value.

Based on formula (3.3.4), table 3.3.1 systematizes the general criteria for assessing the stability of a BTS according to the main indicators for assessing the quality of a BTS in the area of its sustainability.

Formula (3.3.4) implies the derivation of a criterion for assessing the capabilities of BTS to ensure its sustainability by restoring its faulty (damaged) elements (resource reserves):

$$K_{вi} \geq K_{ni} \tag{3.3.5}$$

The object is stable, if at any moment of the estimated period of time the value ($K_{вi}$), expressing the increase in the reserves of resources and the number of restored elements of the BTS (system), is greater than or equal to the value (K_{ni}), which expresses the loss of resources and losses (malfunctions) of the elements of the BTS (system) [39].

That is, to ensure its constant stability, the system must recover its losses in time, in accordance with the established requirements – table 3.3.2.

Table 3.3.2

Requirements for the cost of resources to restore the sustainable operation of the BTS (carrying out repair and restoration work)

№ n/p	Name of indicator	Designation indicator	Unit measurements	Quantitative meaning
1	Labor costs for restoration 1 system element	E_1	person/hour	
2	The cost of spare tools and accessories for the restoration of 1 system element	Z_1	set	
3	Costs of fuel and lubricants for the restoration of 1 element of the system	G_1	litr	
4	Costs of other resources for the restoration of 1 element of the system	X_1	adopted units other resources	
5	The cost of restoring 1 element	S_1	thousand rubles	
6	Number of specialists in one repair and restoration team used to restore 1 BTS element	L_1	specialist	
7	Recovery time of 1 element	T_1	unit of measurement – hours	
8	Number of vehicles (equipment) to be restored 1 element	D_1	set	

Therefore, stability is affected by the recovery time of systems – BTS elements, on which the achievement of the goal of functioning depends [82, p. 35].

The minimum amount of time to restore n BTS systems (T_{nmin}) will always be equal to the minimum possible time to restore one system (T_{1min}):

$$T_{nmin} = T_{1min} \qquad (3.3.1)$$

This equality is possible provided that the number of repair and restoration teams (j) with the number of personnel equal to or greater than the maximum number of specialists required to restore one system (element) (L_{1max}) will be greater than or equal to the number of elements (n) that need to be restored (carrying out repair and restoration work).

From here, we can mathematically express the condition for the restoration of BTS in the shortest possible time – T_{nmin}:

$$T_{nmin} = T_{1min} \text{ at } j \geq n, \quad \text{where} \quad j = \frac{L}{L_{1max}} \tag{3.3.2}$$

This means that if the above condition $j \geq n$ is met, the number j will characterize the number of systems in the BTS that can be restored by the BTS personnel in the shortest possible time:

$$T_{nmin} = T_{1min}.$$

That is, in fact, this will be the rate of recovery of BTS, subject to the availability of a sufficient supply of spare tools and accessories, fuel and lubricants and other necessary resources (table 3.3.2).

Table 3.3.3

Time spent on the restoration of 1 system (element) BTS (repair and restoration work), depending on the number of specialists involved at the required maximum labor costs (E_1) _____ person/hour

Required labor costs for restoration 1 element BTS (person/hour)	Number of staff, L_1. Within the possible range of values: from L_{1min} to L_{1max} in steps $\Delta L=1$	Time spent, T_{1i} (unit of measurement – hours)
E_1	$L_1=L_{1min}$	$T_{1max}= E_1/ L_{1min}$
	…	…
	$L_1=L_{1i}$	$T_{1i}= E_1/L_{1i}$
	…	…
	$L_1 \geq L_{1max}$	$T_{1min}= E_1/ L_{1max}$

Accordingly, the shorter the minimum possible system recovery time according to the technical regulations (table 3.3.3) and the lower the labor costs and resource costs for the restoration of this system (table 3.3.2), the less time and specialists are needed for repair and restoration work. This means that the stability of BTS increases due to faster recovery of faulty (damaged) systems.

At the same time, it is important to note that the number of specialists in one repair and restoration team for the restoration of one system, the values of labor costs for

restoration and the restoration time of one system are usually taken from the technical documentation in accordance with the technologies and regulations for repair and restoration work or found empirically [39].

Table 3.3.4

Initial state and possibilities of BTS

at the time of the onset of exposure to adverse conditions (t_0)

№ n/p	Name of indicator (K_0), $K_0 \geq K_{min}$	Designation indicator	Unit measurements	Quantitative meaning
1	Number of systems located in continuous exploitation (readiness)	N_{01}	set	
2	Number of systems located in reserve	n_{0p}	set	
3	Total number of systems	$N_{общ.min}$	set	$N_{общ}=N_{01} + n_{0p}$
4	Number of staff	$L_{эк.0}$	specialist	
5	Electricity, power consumption	W_{min0}	kWh	
6	Stocks of fuels and lubricants	G_0	litr	
7	Stocks spare tools and accessories	Z_0	set	
8	Stocks of other resources necessary for the production of products (for BTS in industry) and (or) to maintain the required state BTS	X_{n0}	adopted units other resources	
9	Budget for exploitation and repair work BTS	S_0	thousand rubles	
10	The result of the operation of the BTS: the number of products released, services rendered and (or) maintaining the required number of systems in readiness (N_{01})	Y_0 or N_{01} (item 1 of the table 3.3.1)	adopted units rev.	
11	Number of vehicles (machinery)	D_0	set	
12	Number of backup power sources	A_0	set	

In practice, it is usually not advisable to involve a larger number of specialists, and a decrease in the recovery time set by the repair technology worsens the quality of repair and restoration work and increases the risk of a repeated system failure.

An exception may be the protection of the BTS, security, loading and unloading, repair and recovery operations and emergency rescue operations related to the removal of rubble, the installation of supports and fasteners, earthworks, etc.

The listed types of work are not included in the subject area of this dissertation research.

Thus, taking into account the above and based on tables 3.3.2 and 3.3.3, it is rational to calculate the time and resources spent on restoration $n_п$ faulty BTS systems (required labor $E_n=n_пE_1$) depending on the number of specialists involved with the required labor costs for the restoration of one element (E_1).

That is, the developed Model with the number of systems (elements), n, allows us to consider the range of quantitative values:

from 1 to n, with a step $\Delta n=1$.

At the same time, modeling of BTS stability states proves and determines that its quality indicators in the field of sustainability will be:

1. System recovery time (T_{1min}).

2. Labor costs (E_1).

3. Resource consumption (X_1) for carrying out repair and restoration work in case of damage to technical systems (elements) as part of the BTS [82, p. 35].

Accordingly, the lower the minimum possible time and expenditure of resources according to the technical regulations for the restoration of the system and the lower the labor costs for the restoration of this system, the less time and specialists are needed for repair and restoration work.

This means that the improvement in the values of indicators T_{1min}, E_1, X_1 increases the stability of BTS due to faster recovery of faulty (damaged) systems.

Based on the above, in the Model, the stability state of BTS at any given time (t_i) is described by filling in the table 3.3.5.

Table 3.3.5.

The state of stability BTS at the time of time (t_i) after the start of exposure to adverse conditions, where $t_i = t_0 + \Delta t_i$

№ p/n	Name of the indicator (K_i)	Designation indicator	Unit measurements	Quantitative value	Grade stability based on the criteria in the table 3.3.1.
1	The number of systems in continuous exploration (readiness)	N_{i1}	set		T 3.3.1.
2	The number of systems in reserve	n_{ip}	set		T 3.3.1.
3	The total number of systems in BTS	$N_{iобщ.}$	set		T 3.3.1.
4	The number of staff	$L_{iэк.}$	specialist		T 3.3.1.
5	Electricity consumed by the functioning of BTS	W_i	kW/hour		T 3.3.1.
6	Stocks of fuel and lubricants	G_i	litr		T 3.3.1.
7	Spare tools and accessories	Z_i	set		T 3.3.1.
8	Stocks of other resources	X_{in}	Accepted units		T 3.3.1.
9	Budget exploitation and repair and restoration work BTS	S_i	thousands of rubles		T 3.3.1.
10	The result of the functioning of BTS: the number of products, services rendered and (or) maintaining the required number of systems in the readiness of the required number (N_{min})	Y_{min} or N_{min} (clause 1 of the table 3.3.1)	Accepted units		T 3.3.1.
11	The number of vehicles (equipment)	D_i	set		T 3.3.1.
12	The number of backup power sources	A_i	set		T 3.3.1.

Table 3.3.5 is filled on the basis of a description of the source state BTS (K_0) at the time (t_0) – table 3.3.4, as well as information about BTS, previously systematized in tables 3.3.1, 3.3.2 and 3.3.3.

Moment of time $t_i = t_0 + \Delta t_i$, where Δt_i – the time of influence on BTS adverse conditions (destructive influences), as a result of which the object carries any loss: personnel, systems, resources [69, 76].

The dynamics of changes in stability states is described in the model by constructing table 3.3.6. The pessimistic version is presented – BTS in autonomous mode and email. Food from external sources is impossible.

Table 3.3.6.

Changing the state of BTS and assessing its stability as a result of the effects of adverse conditions on BTS in time t_i provided $Y = Nmin$ and at the time of time t_1 $W1 = 0$ (offline mode)

№ п/п	t_0	t_1		…		t_i	
	K_0	K_1	Sustainability assessment	…	…	K_i	Sustainability assessment
1	N_0	N_{11}	T 3.3.1.	…	…	N_{i1}	T 3.3.1.
2	n_{0p}	n_{1p}	T 3.3.1.	…	…	n_{ip}	T 3.3.1.
3	$N_{0общ}$	$N_{1общ}$	T 3.3.1.	…	…	$N_{iобщ}$	T 3.3.1.
4	$L_{0эк}$	$L_{1эк}$	T 3.3.1.	…	…	$L_{iэк}$	T 3.3.1.
5	Z_0	Z_1	T 3.3.1.	…	…	Z_i	T 3.3.1.
6	G_0	G_1	T 3.3.1.	…	…	G_i	T 3.3.1.
7	X_0	X_1	T 3.3.1.	…	…	X_i	T 3.3.1.
8	S_0	S_1	T 3.3.1.	…	…	S_i	T 3.3.1.
9	D_0	D_1	T 3.3.1.	…	…	D_i	T 3.3.1.
10	N_{min}	N_1	T 3.3.1.	…	…	N_i	T 3.3.1.
11	A_0	A_1	T 3.3.1.	…	…	A_1	T 3.3.1.
12	W_{0min}	W_1=0	W=0, BTS autonomous mode: consumption from external power sources is impossible				

In tables 3.3.5 and 3.3.6, the quantitative values of the indicators (K_i) at the time of time t_i are calculated according to the formula (3.3.1).

Based on the obtained quantitative values of the indicators (K_i) in the last column of table 3.3.5 and, accordingly, in the column “Sustainability assessment” of table 3.3.6, the stability of BTS is evaluated at the time of time t_i according to the criteria previously established for the BTS estimated in table 3.3.1 – designation "T3.3.1.".

Ideally, when modeling stability stability, BTS at any time t_i, the evaluated object should be stable in any adverse conditions, that is, the conditions expressed by formulas (3.3.4) and (3.3.5) should be met, then equality will be performed:

$$\Delta t_i = \Delta t.$$

The values obtained as a result of modeling (or testing) of the stability of BTS Δt_u values is rational to use when preparing and substantiating management solutions of the second type in the in supporting systems in the process of exploitation (paragraph No. 5.1), regarding the improvement of exploitation and technical support of systems, as well as in matters of staff training [39].

Analysis of the results of modeling allows reasonably using the positive experience in ensuring the stability of BTS, which functioned more time in the same unfavorable conditions, with the same resource costs and had the same composition of the evaluated systems.

Conclusions on modeling, formulas and tables developed in the model are further used in paragraph No. 3.4 of the dissertation in the development of a methodology for assessing the stability of BTS and a computer for computers “Assessment of systems stability”.

An example is presented in Appendix A to the dissertation.

Recommendations for the rational application of the model are set forth in paragraph No. 5.3 of the dissertation.

Thus, the model is a new scientifically sound technological solution, the introduction of which allows you to simulate the stability state of BTS, due to the effects of adverse conditions that are really impossible or not rationally created in practice.

This possibility of the model additionally enhances its practical significance in predicting scenarios of the development of events under exploitation systems in adverse conditions.

3.4. Methodology for the analysis and assessment of the processes of ensuring of the stability of big technical systems

The methodology and computer program “Assessment of systems stability” [23, 36, 47, 50] (hereinafter referred to as a paragraph – a methodology and a computer program) developed using a model for ensuring stability BTS and on the basis of the scientific works of Andreeva E. A., Dmitrieva O.V., Ovsyannikova O.I. and other scientists [10, 95, 96, 101, 102, 132, 133] in the field of application of the principle of maximum Pontryagin.

The principle of maximum Pontryagin is a relationship that expresses the necessary conditions for a strong extremum for a non-classical variation of the optimal management of mathematical theory.

The principle was formulated in 1956 hp. Pontryagin is used as a means of studying the tasks of optimal management, as it presents the necessary condition for optimality in such tasks.

In theory, stability means the ability of the dynamic system to return to equilibrium (position of equilibrium) after the end of the indignation that violated this balance.

The unstable system after the influence of indignation is continuously removed from the equilibrium state or begins to make vibrations around it with increasing amplitude [119].

Only a stable system is working. The foundations of a strict theory of stability of dynamic systems were developed by academician A. M. Lyapunov in the work “General task of traffic sustainability” (1892) [119].

The concepts of stability arising from this work and applicable to assess the quality of BTS are as follows:

- if the system is described by a linear differential equation, then its stability does not depend on the magnitude of indignation;

- a linear system, stable with small indignations, will be stable with large ones;

- non-linear systems can be stable with small indignations and unstable with large [6, 119].

Based on the above and developed model (in paragraph No. 3.3 of the dissertation), the proposed technique is based on solving a system of differential equations that describe the deterministic continuous model of the functioning of a complex system in various modes [95, 96, 101, 102, 132, 133].

The system of differential equations is the totality of equations containing several unknown functions and their derivatives, and at least one derivative is included in each of the equations.

The system of differential equations is called linear if unknown functions and their derivatives are included in each of the equations only in the first degree [96, 101, 102].

The linear system is called normal if it is allowed relative to all derivatives.

The derivative of the function characterizes the speed of changing the function at this point.

In our subject area, this will be the rate of damage (failure) of the system elements, the speed of restoration of these elements, the rate of resource intake, etc.

These values will be defined as the limit of the attitude of the function of the function to the increment of its argument with the desire to increase the argument to zero, if such a limit exists.

A function that has a final derivative (at some point) is called differentiated (at a given point).

In the normal system, the right parts of the equations do not contain derivatives of the desired functions.

The solution of the system of differential equations is a set of functions that satisfy each of the equations of this system.

Therefore, the methodology uses formula calculating the stability coefficient of BTS stability (U), compiled on the basis of the formula of the criterion of the effectiveness of the complex system proposed in the scientific work of Andreeva E.A. and Dmitrieva O.V., obtained as a result of the solution of the linear system

of differential equations [96, 101, 102]: "... a dynamic system that describes the process of functioning of the system will exist only under the fulfillment of the conditions:

$$\frac{\rho f h^3}{a q^3 (q+d)} - \frac{b h^4}{a q^4} - \frac{f h^4}{a q^4} \geq 0, \quad \rho, a, b, f, q, d, h > 0.$$ »

The author's personal contribution when creating the methodology is to establish the stability coefficient of BTS (U) – formula 3.4.8, the development of a rational sequence of calculations of values (formulas (3.4.1 - 3.4.7)), which make up the formula for the calculation of U, in the improvement and transformation of the formula 3.4.8 in formula 3.4.9, in the formulation of criteria for determining stability BTS, as well as in the software implementation of this methodology.

The purpose of the methodology and computer programs [50]:

1. Evaluation of the stability of the function (functions) and (or) ensuring the stability of the functioning of BTS depending on the results of the effects of adverse conditions in a given period of time.

2. Calculation of the stability coefficient of BTS as a comprehensive indicator of the quality of systems in the stability of the BTS of their use.

3. Analysis of the influence of the values of the quality indicators of systems on the stability of BTS and the substantiation of recommendations for improving the stability of BTS by improving the values of the quality indicators of systems in its composition (improving exploitation, technical support and the preparation of personnel, justification of the choice of modernization directions or the creation of new systems) [69, 76].

Based on modeling using the developed model for ensuring sustainability, as well as modern scientific research [181-194], it is advisable to develop a methodology based on the following restrictions:

1. Adverse factors can affect (fig.3.4.1 and 3.4.2) on all systems, personnel, resources, vehicles and communications (fig. 1.1.1).

2. The system resources are spent on the performance of functions and on the restoration and commissioning of systems into operation.

Squeare of actions (computer program algorithm):

1. Determination using the basic structural-functional model BTS (table. 2.1.1) of the number of systems performing a given function (function) or providing sustainable functioning of the entire BTS (fig.3.4.1 и 3.4.2).

2. Division of the number of systems as parts into three groups [82, p. 37]:

1st group – systems put into exploitation and the reserve of the BTS (N_1);

2nd group (main) – performs the functions of an object (N_2);

3rd group – reserve and faulty systems (N_3).

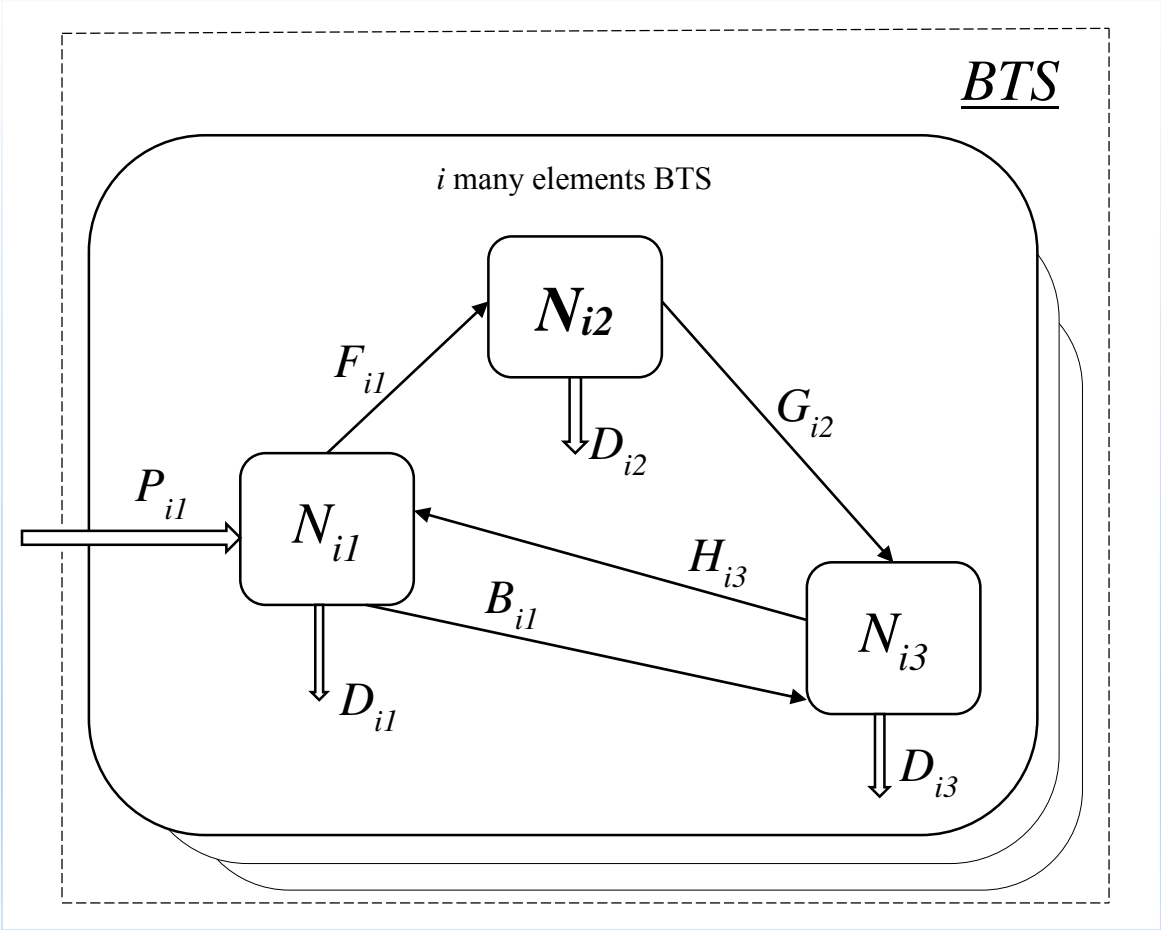


Figure 3.4.1. The dynamics scheme of the process of stable functioning of the required number of elements (N_{i2}) upon receipt of external resources (P_{i1})

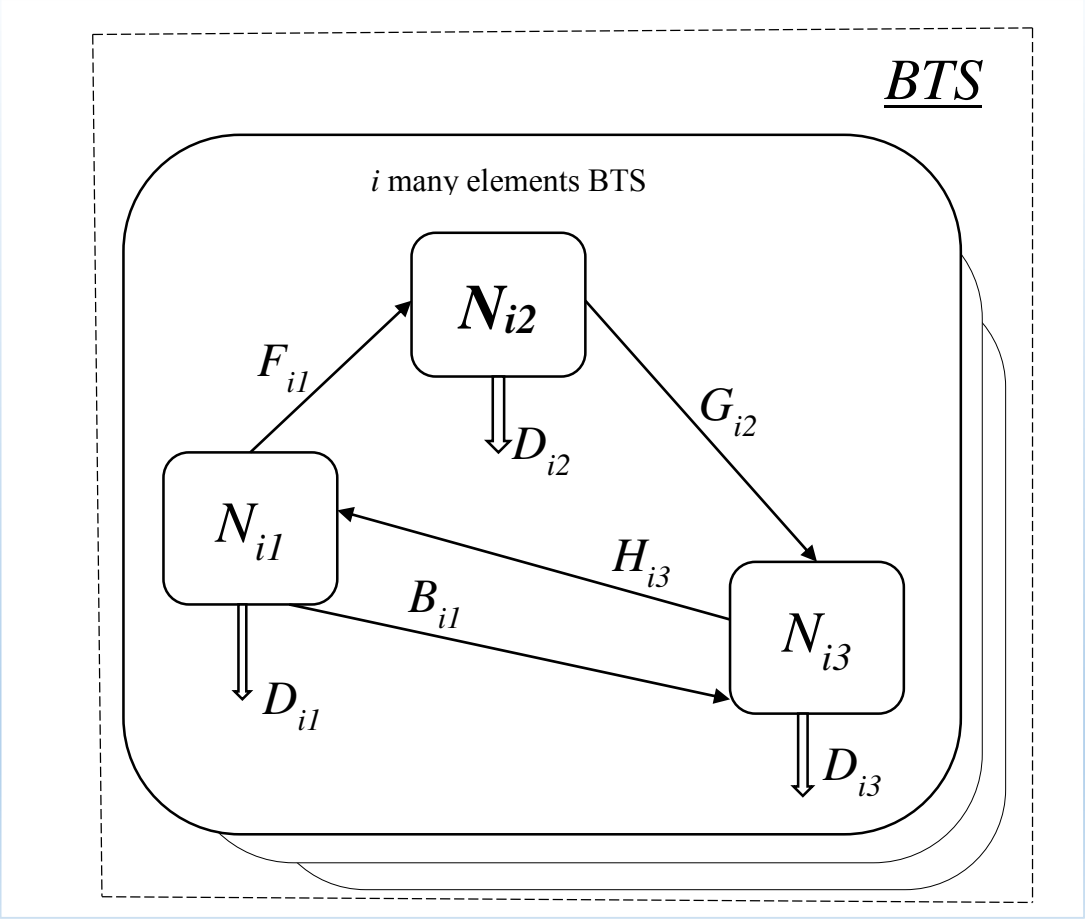


Figure 3.4.2. The dynamics scheme of the process of ensuring the sustainable functioning of the required number of elements (N_{i2}) without the receipt of external resources (autonomous regime)

3. Determining and filling out the table of restrictions and basic requirements for the values of quality indicators (fig. 3.4.3) using table 3.3.1 from the composition of the stability model [39, 69].

4. Determination of the real values of the functioning of systems in the BTS.

5. Calculation and filling out the table of consequences of adverse effects using formulas 3.3.1 - 3.3.3 and tables 3.3.2:

5.1. Calculation of the number of faulty and damaged systems [82, p. 38].

5.2. Calculation of personnel losses and all types of resources, including resource costs for restoring faulty (damaged) systems.

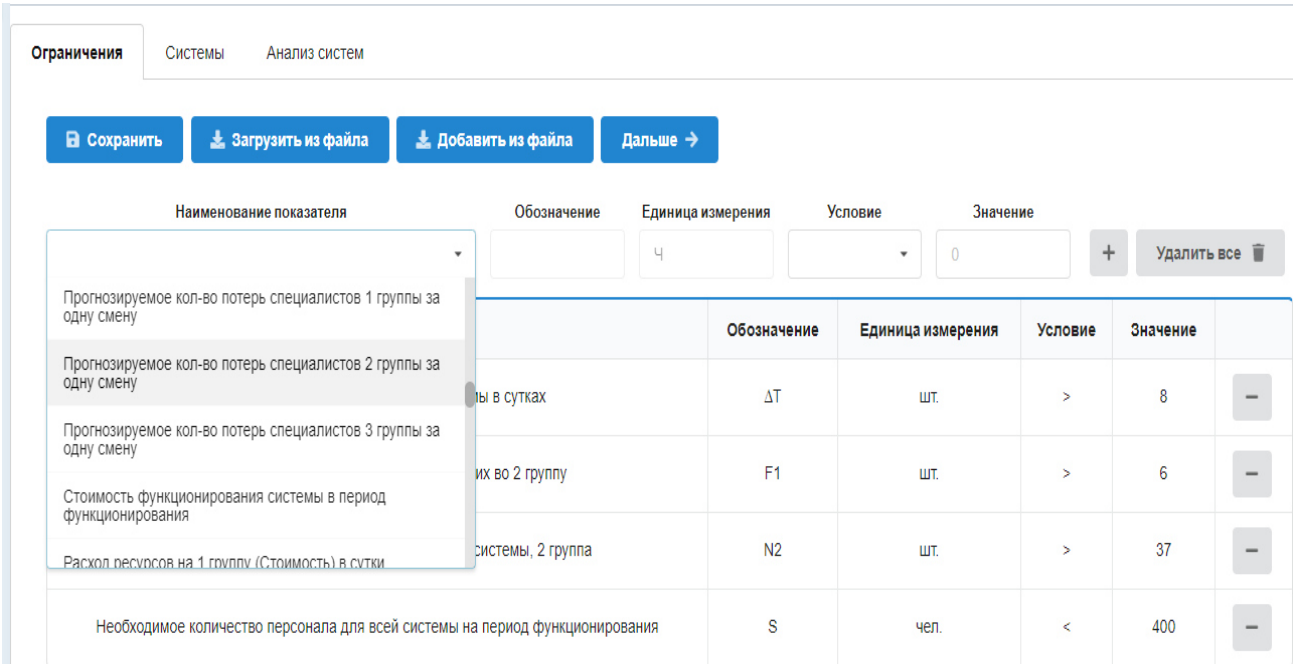


Figure 3.4.3. The start of the program:
the introduction of restrictions for the system

6. Calculation of the functioning of the system (fig. 3.4.1 and 3.4.2).

6.1. The commissioning coefficient of systems 1 into exploitation (p):

$$p = \frac{P_1}{N_1} \tag{3.4.1}$$

where P_1 – the number of systems of the 1st group put into exploitation (resource intake – fig. 3.4.1);

N_1 – the total number of systems of group 1 commissioned for the estimated period of time Δt_i.

6.2. The coefficient of accounting for the influence of a lack of resources on 1 group of systems (a):

$$a = \frac{B_1}{N_1} \tag{3.4.2}$$

where B_1 – the number of elements of the 1st group that did not go to the 2nd group, faulty and transferred to the third group for the estimated period of time Δt_i.

6.3. The coefficient of the occurrence of malfunctions (destruction, failure) of group 1 systems (*b*):

$$b = \frac{D_1}{N_1} \tag{3.4.3}$$

where D_1 – the number of elements of the 1st group that failed and not subject to restoration (repair).

6.4. The intensity of the recovery of systems, that is, the transition of system 1 group to 2 groups (main) – *f*:

$$f = \frac{F_1}{N_1} \tag{3.4.4}$$

where F_1 – the number of systems of the 1st group that went to the 2nd group.

6.5. The intensity of the transition of systems 2 groups to 3 groups (*q*):

$$q = \frac{G_2}{N_2} \tag{3.4.5}$$

where G_2 – the number of damaged and faulty systems of group 2, which went to 3 groups and are restored in the estimated period;

N_2 – the number of systems of 2 groups performing functions BTS.

6.6. The coefficient of malfunction of elements of systems 2 groups (*d*):

$$d = \frac{D_2}{N_2} \tag{3.4.6}$$

where D_2 – number of destroyed (damaged and faulty) systems 2 groups that cannot be restored.

6.7. The coefficient use (loss) of group 3 systems in the interests of restoring group 1 systems (*h*):

$$h = \frac{H_3}{N_3} \tag{3.4.7}$$

where H_3 – the number of systems that have passed from 3 groups to 2 groups;

N_3 – number of systems 3 groups.

7. Calculation of the value of the coefficient ensuring of the stability of the systems (*U*) according to the formula:

$$U = \frac{pfh^3}{aq^3(q+d)} - \frac{h^4(b-f)}{aq^4} \qquad (3.4.8)$$

Provided that *p>0, a>0, b>0, f >0, q>0, d >0, h>0,*

and when fulfilling the requirements in the formula (3.4.14) [82, p. 38].

Given the formulas (3.4.1) - (3.4.7) formula (3.4.8) (3.4.9):

$$U = \frac{N_2^4 P_1 F_1 H_3}{N_1 N_3 B_1 G_2^3 (G_2 + D_2)} - \frac{N_2^4 H_3^4 (D_1 - F_1)}{N_3^4 B_1 G_2^4} \qquad (3.4.9)$$

As an important commentary on paragraph 7 of the methodology, it should be noted that D_3 – the number of elements of the 3rd group that have become unusable for restoration for the estimated period may not be taken into account, since in practice there are always elements in the repair and (or) derived from exploration for regulatory maintenance (fig. 3.4.1 and 3.4.2).

8. The conclusion based on the results ensuring of the stability assessment of BTS on the basis of the following criteria (fig. 3.4.4) [50, 69, 82]:

8.1. If $U > 0$ – then the object is stable during this period of time under given conditions and restrictions.

8.2. If $U = 0$, then the object is at the limit of its stability during this period of time under given conditions and restrictions.

8.3. If $U < 0$, then the object is unstable during this period of time under given conditions and restrictions.

9. If necessary, comparing with the basic requirements and (or) with the stability coefficients of other BTS or at different periods of time. Drawing up a system of system stability (BTS).

10. Presentation of the results of the LPR assessment (examples are presented in Appendix A dissertation).

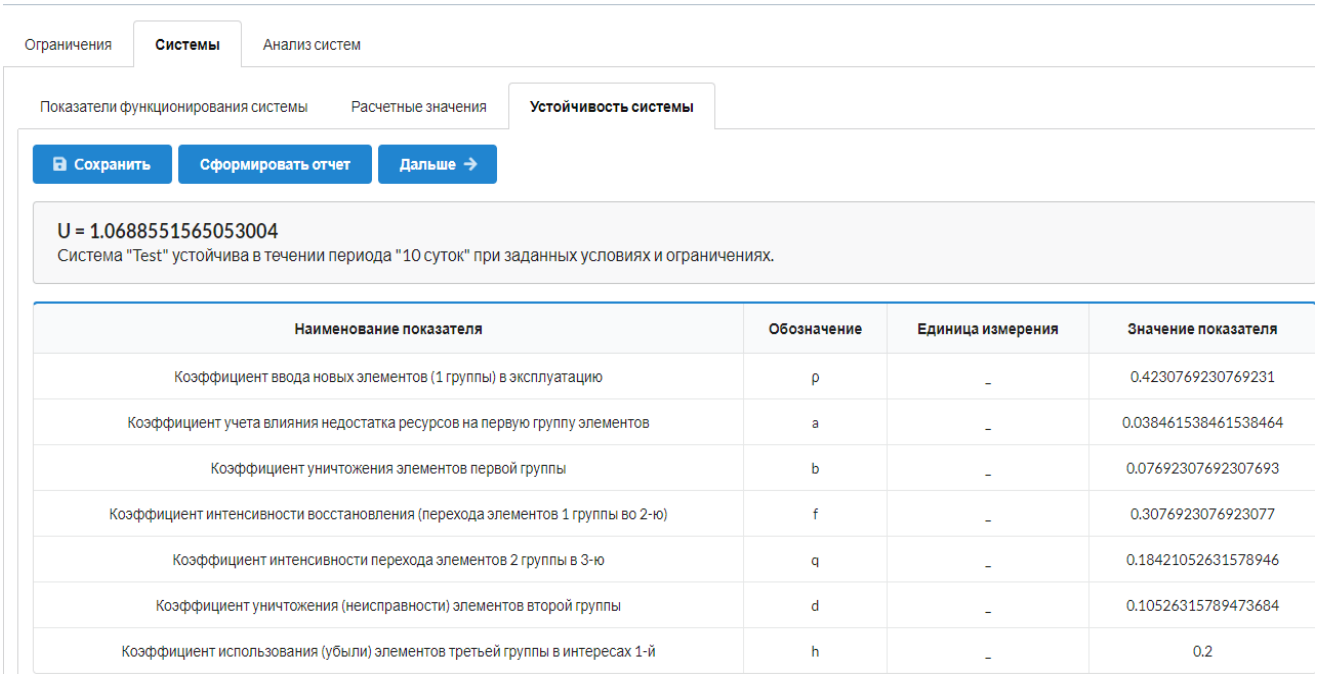


Figure 3.4.4. The result of the program:
conclusion about the stability of the system

11. Based on the analysis of the results of modeling stability stability BTS (table. 3.3.6, fig. 3.4.1 and 3.4.2) and assessment of stability BTS formula (3.4.9) it is advisable to draw the following conclusions about the dynamics of the metrics of the number of elements that provide sustainable BTS functioning:

11.1. If the necessary and sufficient condition for the stable performance of the BTS functions with many *i*-systems in its composition can be determined by the formula:

$$N_{i2min} \leq N_{i2} \leq N_{i2max} \qquad (3.4.10)$$

11.2. Then the requirements for the process of ensuring stability BTS are described by the expression:

$$F_{i1} \geq (D_{i2} + G_{i2}) \qquad (3.4.11)$$

11.3. In this case, in any case, the possible range of F_{i1} values will be determined by the formula:

$$0 \leq F_{i1} \leq (P_{i1} + N_{i1} + H_{i3} - D_{i1} - B_{i1}) \qquad (3.4.12)$$

11.4. Based on (3.4.12) for an autonomous regime (fig. 3.4.2) exploitation of many *i*-systems as part of BTS, when $P_{i1} = 0$, we get the formula:

$$0 \le F_{i1} \le (N_{i1} + H_{i3} - D_{i1} - B_{i1}) \qquad (3.4.13)$$

11.5. Thus, taking into account the expressions (3.4.9) - (3.4.12) we obtain the formula for the necessary condition for ensuring the sustainable functioning of BTS in the estimated period of time [82, p. 38]:

$$(P_{i1} + N_{i1min} + H_{i3}) \ge (D_{i1} + B_{i1} + D_{i2} + G_{i2}) \qquad (3.4.14)$$

when fulfilling the requirements:

$$N_{i2min} \le N_{i2} \le N_{i2max},\ N_{i1min} \le N_{i1} \le N_{i1max} \text{ и } H_{i3min} \le H_{i3} \le H_{i3max}$$

11.6. In (3.4.14): $N_{i2min} \le N_{i2} \le N_{i2max},\ N_{i1min} \le N_{i1} \le N_{i1max}$ и $H_{i3min} \le H_{i3} \le H_{i3max}$ express objective requirements to limit resources:

- for the exploration of systems of the second group (N_{i2});
- for putting systems into operation and for maintaining systems in reserve (N_{i1});
- for system repair (H_{i3}).

Since in practice, for any real BTS, restrictions on the cost of resources for the operation of a set of *i*-systems in its composition will be set.

11.7. Each BTS has a certain minimum required number (N_{i2min}) systems (elements) to ensure stable performance of BTS functions and at the same time $N_{i2min} \ge 1$, whereas $N_{i1min} \ge 0$ and $0 \le H_{i3min} \le (N_{i3} + G_{i2} - D_{i3})$

11.8. Based on (3.4.14), it is logical to obtain the formula (3.4.15) of the necessary condition for ensuring the stable operation of the BTS with the minimum possible expenditure of resources in the estimated period of time (fig. 3.4.1):

$$(P_{i1} + N_{i1min} + H_{i3}) = (D_{i1} + B_{i1} + D_{i2} + G_{i2}) \qquad (3.4.15)$$

11.9. Using formulas (3.4.14) and (3.4.15) it is possible to make the most rational management decisions on stability assessment, repair planning and technical support of systems operated as part of BTS (3.4.16):

$$H_{i3} = (P_{i1} + N_{i1min}) - (D_{i1} + B_{i1} + D_{i2} + G_{i2}), \qquad (3.4.16)$$

forecasting stability states and planning the supply of systems (resources) – formula (3.4.17):

$$P_{i1} = (N_{i1min} + H_{i3}) - (D_{i1} + B_{i1} + D_{i2} + G_{i2}). \quad (3.4.17)$$

11.10. In formulas (3.4.14) and (3.4.15) the variables of the right side D_{i1}, B_{i1}, D_{i2}, G_{i2} express irretrievable losses of systems from the composition BTS (D_{i1} and D_{i2}) and temporarily failed systems to be restored (B_{i1} and G_{i2}) in the estimated time period. When real BTS are functioning, these variables (D_{i1}, B_{i1}, D_{i2}, G_{i2}) are poorly predictable values [82, p. 39].

The computer program "Assessment of systems stability" is cross-platform and operates as a client-server application.

The program provides for the possibility of forming reports in the form of a table in Word format, as well as visualizing the results in the form of graphs and diagrams. Program volume: 2.1 MB.

Programming languages: C#, JavaScript, HTML.

The main positive effect of the application of the developed models, methods and programs for computers is to significantly reduce the time and consumption of resources to assess the stability of systems and BTS, as well as to predict the stability of systems, depending on the consequences of the effects of various adverse factors, formulas (3.4.10) - (3.4.17).

In addition, the application of the LPR of the methodology and computer programs in the model of supporting systems (fig. 5.1.1) helps to make timely and reasonable management decisions in the field of ensuring the stability of systems directly in the process of exploitation as part of the BTS.

Since the problem of reducing the time for assessing the quality of quality and the exploitational adoption of reasonable management decisions in an unstable and rapidly changing environment is of particular relevance.

Therefore, one of the promising ways of the integrated application of the model and methodology is their programmatic implementation in decision-making support systems (SPPR) using scientifically based methods for the formation of decisions based on a modern mathematical apparatus and hardware and software.

Today, proposals for the development and improvement of software tools for implementing the model and technique in the SPPR, as well as the developed computer program [47], it is advisable to use in BTS that contains multi-agent systems (MAS).

In MAS, the elements of the multilevel network structure of the BTS are considered as atomic autonomous units - agents.

Unlike traditional BTS management systems with a hierarchical structure, the network structure in the BTS is open in its device, since its system (system elements) can directly interact with each other.

SPPR does not replace, but complements existing control systems, interacting with them, and uses information about the exploitation of technical systems as part of the BTS for the estimated period of time in its work.

Another positive factor in the development and implementation of the support model and the methodology is the possibility of their effective application in solving the tasks of ensuring the technical and technological security of the BTS, namely in the development, exploitation and that systems that increase the level of competitiveness of the BTS compared to similar ones.

In addition, it seems appropriate to the integrated use of the model and methodology in making managerial decisions to ensure the technological security of the Russian Federation in the field of increasing the degree of security of the BTS from various threats arising in the process of exploitation.

In the conclusion of this paragraph, it is worth adding that the foregoing additionally substantiates the importance of applying the developed methodology and computer program [47], as a new scientifically substantiated methodological and technical solutions to ensure the effectiveness of exploitation management and technical support of the BTS.

Third chapter research findings

The models, methods and programs for computers presented in the third chapter can be effectively used to achieve the goal of research both in the complex and separately.

The methodology for the analysis and assessment of the processes of ensuring of the stability of BTS allows you to save resources and time when assessing the probability of achieving the goal of the system functioning depending on the number of faulty elements in its composition. At the same time, the possibility of software construction of settlement tables and graphs increases the effectiveness of the application of the methodology to justify managerial solutions.

The BTS stability models define the criteria and the most important indicators of the quality of systems in the field of ensuring the stability of the BTS.

In the methodology the stability coefficient is introduced and calculated, as the main comprehensive indicator of ensuring of the stability of the BTS.

The model, methodology and computer program allow you to study of the processes of ensuring of the stability of systems in adverse conditions, which is objectively impossible (economically not profitable) to create with real exploitation of the BTS. Including for the achievements of this goal, a mathematical expression was obtained by the necessary condition for ensuring the sustainable functioning of the BTS in the estimated period of time

Models, methods and a computer program allow you to conduct a detailed assessment of the quality of systems, as well as comparing systems (time periods), draw up a rating of systems and submit conclusions based on calculation results.

In the conclusion of the third chapter, it is important to note that in the face of a lack of time and resources for testing, as well as in restricting access to external information resources in this subject area, the relevance of the developed methods and computer programs in conjunction with the model of exploitation in the process of exploitation is significantly increased (fig. 5.1.1) for the most rational organization of work to improve and develop the BTS.

Chapter 4. The methodology for assessment of the quality of components of a big technical system based on complex indicators and rules of logical output within their expert paired comparison.

4.1. Purpose, restrictions, assumptions and algorithms of the methodology

The appointment of this complex methodology (hereinafter referred to as the methodology): assessment of the quality of systems with the integrated use of statistical and (or) expert information coming from various sources, as well as ensuring the adoption of timely and reasonable management decisions based on the results of quality assessment and on based on the quality rating of systems.

The technique is designed as an element of the practical part of the study and is designed to use together with the model of system support in the process of exploitation, but separate use is also possible [42, 49].

The diagram of the algorithm of the methodology is presented in figure 4.1.1.

The essence of the methodology lies in the application, according to the scheme (fig. 4.1.1), specially designed by the author of the formulas and interconnected calculated tabular forms to assess quality using statistical and expert information with the possibility of identifying sources of this information and access time to them.

The methodology uses a method for assessing the quality of the system based on structural-functional modeling and subtraction of matrices (in terms of application of SFM) and an improved method of paired comparisons [35, 36], an algorithm in figure 4.1.2.

The technique can be used for the purposes of systematizing and checking information for consistency, to counteract the entry of false information, including operators' errors. The technique is effective for the formation of databases (hereinafter - the database) as elements of the internal information reserve of development and improvement of the BTS (paragraph No. 5.3 of the dissertation).

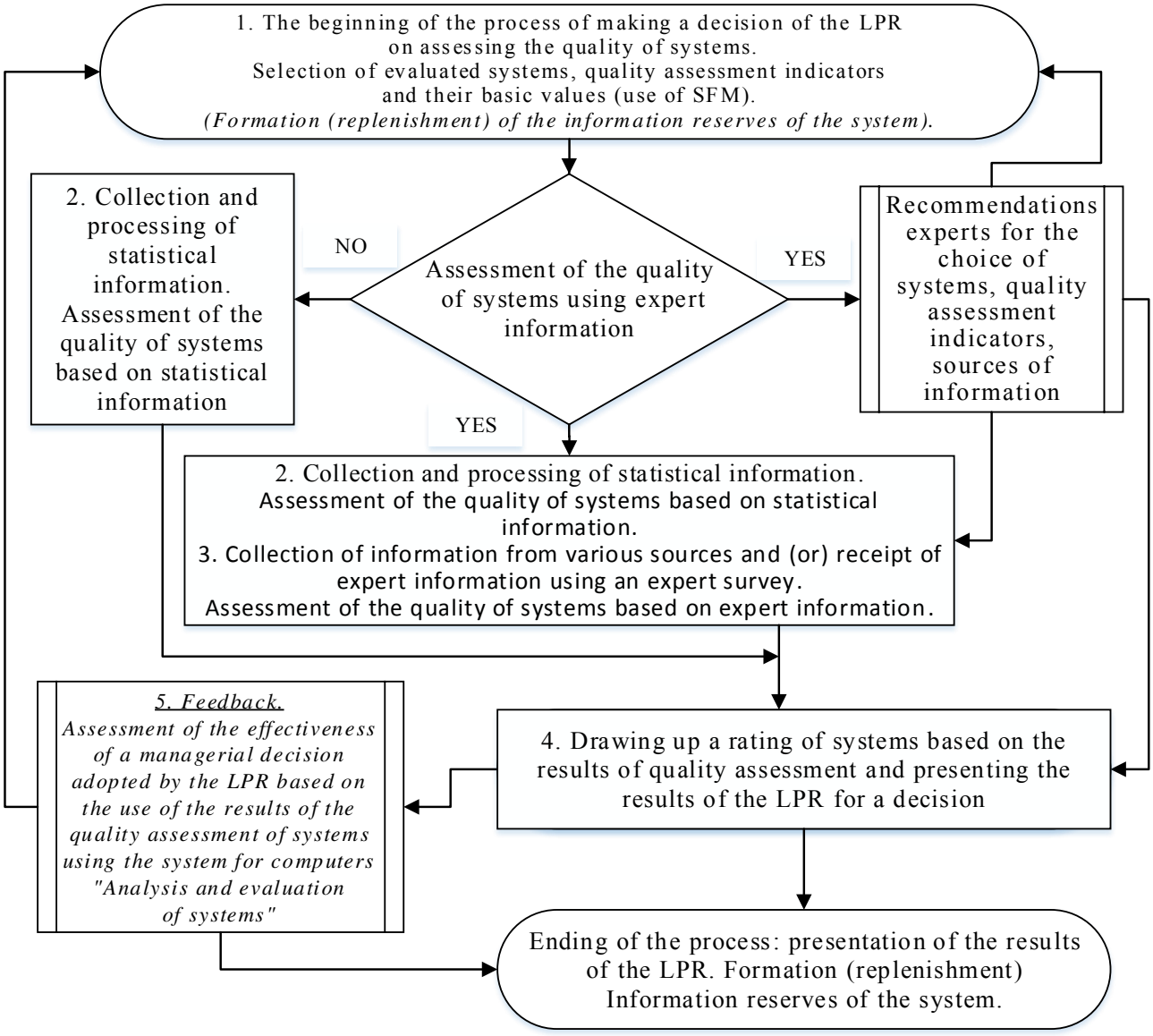


Figure 4.1.1. The scheme of the algorithm of the methodology

Restrictions:

1. The processing of expert information occurs in the form of systematization of subjective opinions of experts with an improved method of paired comparison of systems (fig. 4.1.2).

2. Processing of statistical information is carried out in the form of quantitative values of the quality indicators of the system, probabilistic and time characteristics (hereinafter – PTC), time and resources costs and resources [42].

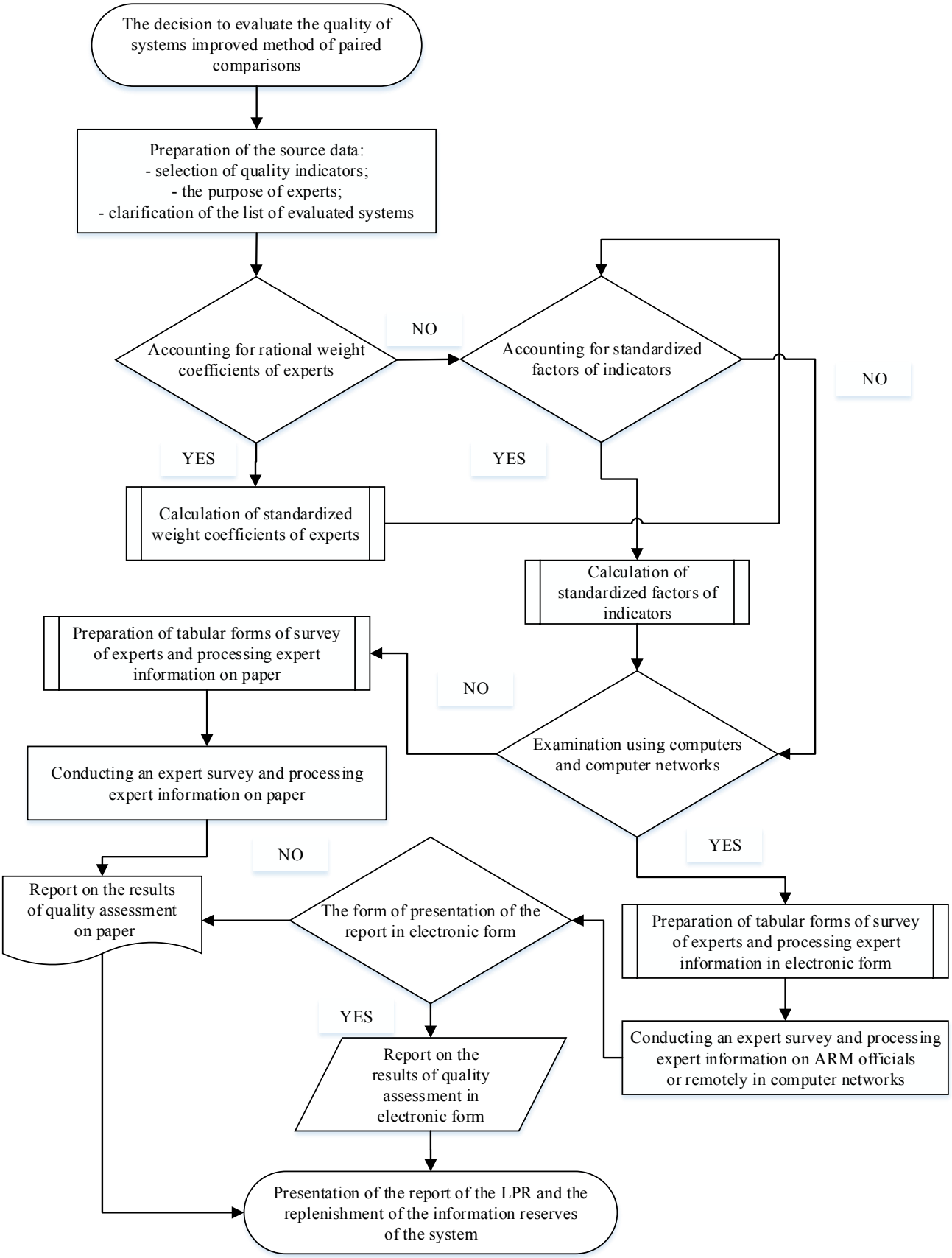


Figure 4.1.2. The scheme of the algorithm for applying the improved method of paired comparisons

3. Information processing and the construction of tables is carried out taking into account the confidentiality of information and in compliance with the requirements for information security of the BTS [49, p. 96-97].

Assumptions:

1. It is assumed to have expert information and statistical data on the real values of quantitative indicators of systems that perform the same functions in a given period of time in similar operating conditions.

2. It is assumed to carry out all calculations and the use of specially designed tabular forms interconnected according to the corresponding columns and cells for the input, processing and systematization of information when evaluating the quality of systems in electronic form using publicly accessible software tools (Matlab, Excel, etc.).

3. All tables should be interconnected according to the corresponding columns and cells, which provides the possibility of adding and removing lines and columns in the part regarding the addition of systems for evaluating, changing the identification data of experts, selected indicators of evaluating the competence of experts and other information.

The application in this methodology of related tables makes it possible to create and maintain relevant databases both for the studied systems that are part of the BTS and in the BTS in general [25, 27, 29, 30].

As can be seen from the scheme (fig. 4.1.1), the technique allows the assessment of quality taking into account the effectiveness of managerial decisions adopted by the LCR based on the use of previously carried out assessments of the systems of systems, as well as to form information reserves for ensuring (increase) the effectiveness of the studied systems in order to ensure the required the efficiency of proactive control of the BTS [29, 30, 35, 40] and timely choice of the best systems (for exploitation in the BTS) in the interests of increasing the efficiency of the import substitution process.

4.2. Stages of the methodology

The stages of the methodology are carried out in accordance with the scheme in figure 4.1.1.

Stage I. Making a decision of the LPR to assess the quality of the technical system (product). The choice for assessing the quality of the relevant systems and (or) similar systems that perform the required functions in similar operating conditions. Selection of indicator (indicators) of the quality assessment of these systems (P_i).

1.1. Systems and indicators for quality assessment (P_i) can be selected:

1.1.1. By the decision of the LPR and (or) officials conducting the examination (table 4.2.1).

1.1.2. By building a basic structural-functional model of the evaluated system (paragraph No. 2.2 of the dissertation).

1.1.3. Experts (table 4.2.1).

Table 4.2.1

Recommendations of ___ official (expert) for organizing the quality assessment of the system _____

(name of the system or product)

Recommended _____ by LPR, (by officials and expert):							
Systems	Quality assessment indicators, P_i (unit.)	Criteria for evaluation		Sources of information		Experts	
		no less	no more	internal	external	from among the staff	other specialists
1	2	3	4	5	6	7	8
System 1							
	…	…		…	…	…	…
…							
System *n*							
	…	…		…	…	…	…

1.2. LPR and (or) an official organizing examination, determine on the basis of which information the values of the selected quality indicators should be obtained.

If necessary, recommend sources of information about systems to experts or other interested parties [25, 72, 84].

Sources of obtaining information about systems can also be proposed by officials and (or) experts in table 4.2.1.

1.3. When deciding further, use only statistical information to evaluate the II stage of this methodology, according to the algorithm in figure 4.1.1.

1.4. When using expert information, go to the consistent implementation of the II and III stages of the methodology, but before that it is necessary to additionally determine:

1.4.1.1. Indicators for assessing the competence of experts (p_i) and their units of measurement (tables 4.2.2 and 4.2.3).

To do this, it is recommended to use in table 4.2.2:

p_1 – the total experience of the expert (in the calendar years);

p_2 – the experience of the expert for the exploitation of the evaluated technical systems and (or) products (in calendar years);

p_3 – the presence of a technical education in the field of exploitation and (or) maintenance of the evaluated technical systems and (or) products ("1" – there is education, "0" – no education);

p_4 – the number of types of evaluated technical systems and (or) products expert operated and (or) took part in maintenance and (or) repair (number of systems) [42].

Table 4.2.2

The expert assessment of the importance of selected indicators of the competence of experts on a 10-point scale

Expert number	p_1	p_2	p_3	p_4

1.4.1.2. If it is necessary to calculate the standardized weight coefficients of the importance of selected indicators of the competence of experts (C_i) according to the results of the expert survey using the formula:

$$C_i = c_i \Big/ \sum_{i=1}^{l} c_i \qquad (4.2.1)$$

where l – the total number of selected indicators of the competence assessment of experts (p_i), and c_i – the amount of points set by experts to the i-indicator assessment of the competence of experts (p_i).

When polling, the consent of experts should be verified through the coefficient of consent (concordance) according to the Candal formula (table 4.2.3):

$$W = 12S/(j^2(l^3 - l)) \qquad (4.2.2)$$

where j – this is the number of experts, l – this is the number of indicators of assessing the competence of experts or questions in the questionnaire,

$$S = \sum (R_i - < R >)^2 \qquad (4.2.3)$$

$$< R >= (\sum R_i)/l \qquad (4.2.4)$$

where $<R>$ – this is the average rank of indicator;

R_i – this is the total rank of the questionnaire [18, 19, 20].

The results of an expert survey conducted using table 4.2.2 are entered in table 4.2.3. To calculate the importance of the selected indicators of the expert competence assessment indicators (C_i).

Table 4.2.3

The results of the calculation of normalized weight coefficients of the importance of selected indicators of the competence of experts (C_i)

Expert number	p_1	p_2	…	p_l
1			…	
2			…	
3, ….			…	
j			…	
$C_i = c_i \Big/ \sum_{i=1}^{1} c_i$	C_1	C_2	…	C_l
The normalization condition is fulfilled $\sum_{i=1}^{l} C_i = 1$			Consent of experts: $W = 12S/(j^2(l^3 - l))$	

1.4.1.3. Based on the collected data from each expert (table 4.2.3), calculate the competence coefficient *j*-expert *(q_j)* according to the formula:

$$q_j = \sum_{i=1}^{l} C_i P_i \qquad (4.2.5)$$

1.4.2. LPR and (or) officials, taking into account the recommendations of experts (table 4.2.1), determine the external and internal sources of information.

1.4.3. LPR and (or) officials to establish available (permitted) methods of obtaining expert information by survey and survey and (or) by studying other documented opinions of experts (scientific articles, reviews, interviews, etc.) [49, p. 95].

Clauses 1.4.2 and 1.4.3, as well as the construction of tables and processing information, taking into account compliance with information security measures.

1.4.4. An official organizing quality assessment to provide the initial information on the recommended sources of information and the rules of access to information (table 4.2.4). This information is formed as a result of processing the recommendations of experts, officials conducting the quality of the systems (table 4.2.1) and the decision of the LPR.

Table 4.2.4

Recommendations to experts

Systems	Sources of information		Access rules and information processing
	internal	external	
1	2	3	4

1.4.5. At the automated workstations (ARM) experts, create and fill out the source data table to assess the competence of the expert (table 4.2.5).

Table 4.2.5

The initial data to assess the competence of the expert

Expert identification data		Indicators of assessment of the competence of the expert (P_i) (unit.)				
		p_1 (unit.)	p_2 (unit.)	p_3 (unit.)	...	p_{i*} (unit.)
1	2	3	4	5	…	2+i
expert number:					…	
job title						
subdivision						
Surname						
Name						
Middle Name						
Note: * i – the number of indicators of the expert competence assessment.						

1.4.6. On the ARM of the official conducting the examination, to create and fill out table 4.2.5 to evaluate the competence of external experts in case of examination by studying the documented opinions of external experts using external information resources.

1.4.7. Further, on the ARM of the official conducting the examination, create and fill out a table with the results of calculating the normalized weight coefficients of expert competence (table 4.2.6). For automatic filling and calculations, the corresponding cells of tables 4.2.5 on the Armen of experts are connected with the cells of table 4.2.6 on the ARM of the official.

1.5. If necessary, make a choice of indicators of evaluation of the quality of systems (P_i) and the calculation of normalized weight coefficients of the importance of selected indicators (g_i) one of three ways:

- based on the results of the analysis of requirements for the system by constructing a basic structural-functional model of the system or BTS;

- based on the decision of the LPR;

- using the method of group expert assessments.

Table 4.2.6

Normalized weight coefficients of expert competence (q_j)

Expert number	The quantitative values of the selected indicators of the expert competence assessment (P_i) (unit.)			Quantitative values of the importance of indicators of evaluation of the competence of the expert (C_i)			Coefficient competence expert (q_j)
	P_1	…	P_i	C_1	...	C_{l*}	
1	2	…	1+i	2+i	…	1+i+l	2+i+l
1							
2							
3							
…							
*j**							
The normalization condition is fulfilled				1	1	1	1
Note: * l – the number of experts.							

1.5.1. The selection of indicators of the quality assessment of systems (P_i) (table 4.2.7) and the calculation of the standardized weight coefficients of the importance of selected indicators (q_j) based on the results of the expert survey using formula (table 4.2.8):

$$g_i = c_i \Big/ \sum_{i=1}^{l} c_i \qquad (4.2.6)$$

where l – the total number of selected indicators of the quality assessment of systems;

c_i – the amount of points set by experts to the I-indicator of the quality assessment of systems (P_i), while:

$$c_i = \sum_{1}^{j} q_j k_{ji} \qquad (4.2.7)$$

where, k_{ji} – это количество баллов выставленное i-показателю j-экспертом.

In the survey, the consent of the experts should be verified through the coefficient of consent (concordration) according to the above formula of Candel (4.2.2) [63, p.11].

1.5.2. Expert survey using table 4.2.7.

1.5.3. The results of a survey of experts conducted using table 4.2.7 are entered in table 4.2.8 to calculate the importance of selected indicators of the quality assessment of systems (P_i).

Table 4.2.7

The selection of indicators of the quality assessment of systems and the expert assessment of the importance of the selected indicators of the expert competence assessment on the 10th ballistic scale

Expert number	Coefficient competence expert, q_j	P_1 (unit.)	P_2 (unit.)	…	P_I (unit.)
j	q_j	$q_j k_{j1}$	$q_j k_{j2}$	…	$q_j k_{ji}$

With the programmatic implementation of the methodology, the corresponding cells in tables 4.2.7 expert survey should be associated with cells in table 4.2.8 for automatic data entry during calculations.

Table 4.2.8

The results of calculating the standardized weight coefficients of the importance of selected indicators of the quality assessment of systems (g_i)

Expert number	Coefficient competence expert, q_j	P_1 (unit.)	P_2 (unit.)	…	P_I (unit.)
1	q_1	$q_1 k_{11}$	$q_1 k_{12}$	…	$q_1 k_{1I}$
2	q_2	$q_2 k_{21}$	$q_2 k_{22}$	…	$q_2 k_{2I}$
3, ….	…	…	…	…	
j	q_j	$q_j k_{j1}$	$q_j k_{j2}$	…	$q_j k_{jI}$
$g_i = c_i \Big/ \sum_{i=1}^{l} c_i$		g_1	g_2	…	g_l
The normalization condition is fulfilled $\sum_{i=1}^{l} C_i = 1$				Consent of experts: $W = 12S/(j^2(l^3 - l))$	

Stage II. Collection and processing of statistical information.

Assessment of the quality of systems based on statistical information [42].

2.1. An official for each chosen indicator of the quality assessment of the systems to collect information and fill out the columns 1, 2, n+3, n+4 и n+5 tables for processing statistical information for evaluating the quality of systems designed to draw up a rating *n* evaluated systems for the better value of the selected quality assessment (P_i) and verification of the entered data (table 4.2.9).

In the future, in the methodology (paragraph 2.2.2), when calculating and compiling the rating, it is taken into account that the selected quality indicators are divided into two groups:

- the first group includes indicators, what is the best considered the value of the quality assessment indicator (P_i), that is, the indicators of which the quantitative values of which ideally should be the minimum possible, for example, resource consumption: fuel and lubricants, labor costs, etc.;

- the second group includes indicators where the best value of the quality assessment indicator (P_i) is considered the best, that is, the quantitative values of which ideally should be the most possible, for example, the warranty period of exploitation, the amount of spare tools and accessories, etc.

Table 4.2.9

Drawing up a rating *n* systems at the best value of the selected quality assessment (P_i) and verification of the entered data

_____

(indicator name, unit measurement of the indicator)

Place in rating	Name systems	P_i	Name systems					B_z	Sources information about systems		The date
			A1	*A2*	…	*An-1*	*An*		intern-al	extern-al	
			P_1	P_2	…	P_{n-1}	P_n				
1	2	3	4	5	…	n+2	n+3	n+4	n+5	n+6	n+7
	A1	P_1	0	ΔP_{12}	…	$\Delta P_{1(n-1)}$	ΔP_{1n}	B_{A1}			
	A2	P_2	ΔP_{21}	0	…	$\Delta P_{2(n-1)}$	ΔP_{2n}	B_{A2}			
	…Az, …	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	An-1	P_{n-1}	$\Delta P_{(n-1)1}$	$\Delta P_{(n-1)2}$	…	0	$\Delta P_{(n-1)n}$	B_{An-1}			
	An	P_n	ΔP_{n1}	ΔP_{n2}	…	$\Delta P_{n(n-1)}$	0	B_{An}			
Consistency check results: $H_{Pz} = \sum_{z=1}^{z=n} B_z = 0$, otherwise – an error								H_{Pz}			

In table 4.2.9 and further n – this is the number of systems chosen to assess quality.

2.1.1. In table 4.2.9, provide automatic software performance of calculations of the difference in the values of selected quality indicators $\Delta P_{z(z-1)}$) with their paired comparison, formula (4.2.8):

$$\Delta P_{z(z-1)} = \Delta P_z - \Delta P_{z(z-1)} \qquad (4.2.8),$$

where z – this is the number (name) of one of the compared systems belonging to the range of integers from 0 to 1.

If in table 4.2.9. the system compares with itself, then as a result the difference is always equal to 0 (zero), that is, $\Delta P_{zz}=0$. Thus, in table 4.2.9, when comparing the systems with themselves, the value of the difference in indicators equal to 0 (zero) will always be affixed in the cells diagonally.

2.1.2. Verification of statistical data for consistency and control of the input of false information (error of the information system operator) to compare the sum of the differences in the entire table (H_{Pz}), obtained by pair of comparison of systems with a control number equal to 0 (zero).

If is performed by condersие: $H_{Pz} = \sum_{z=1}^{z=n} B_z = 0$, then this value corresponds to the norm, in all other cases, the program displays an error message. Where B_z – this is the number of points scored by the system according to the results of the addition of differences ($\Delta P_{z(z-1)}$), the systems obtained as a result of pair comparison in one line of table 4.2.9 is calculated by the formula 4.2.9:

$$B_z = \sum_{z=1}^{z=n} \Delta P_{z(z-1)} \qquad (4.2.9).$$

2.2. Drawing up a rating of systems for the best value of the selected quality assessment (table 4.2.10).

Based on the results of calculations, when using initial statistical data collected and systematized by an official in table 4.2.9, table 4.2.10 is formed.

Table 4.2.10 systematizes the results of quality assessment for each system and a rating of systems is compiled for the better value of the selected indicator.

2.2.1. Table 4.2.10. It is formed by the program without the participation of officials. To do this, in table 4.2.10, calculations in column 5 according to formula 4.2.9 and in column 4 according to the formula must be implemented 4.2.10:

$$D_z = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i} \qquad (4.2.10)$$

where D_z – the quality factor of the system obtained on the basis of statistical data [49, p. 98].

Table 4.2.10

The results of quality assessment *n* systems based on statistical information according to the chosen indicator of quality assessment

_____

(indicator name, unit measurement of the indicator)

Place in rating	System	Quality assessment indicator, P_i, (unit.)	The quality factor of the system obtained on the basis of statistical data: $D_z = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i}$	The number of points scored by the system according to the results of paired comparison, $B_z = \sum_{z=1}^{z=n} \Delta P_{z(z-1)}$
1	2	3	4	5
1				
2				
3,…*z*,…				
x-1				
x				
Sum:			$\sum_{z=1}^{z=n} D_z$	$H_{Pz} = \sum_{z=1}^{z=n} B_z$
The results of checking data for consistency:			If $\sum_{z=1}^{z=n} D_z = 1$, then the norm, in all other cases erro	If $H_{Pz}=0$, then the norm, in all other cases erro

2.2.2. Systems rating to determine using the program based on the best value of the quality assessment indicator (P_i). If the smallest value of the quality assessment indicator (P_i) is considered the best, that is, the indicator is included in the first group, for example,

you need a minimum resource consumption during exploitation, then places in the ranking (column 1 of table 4.2.10) are distributed from the minimum value of the indicator P_{imin}, receiving first place in the ranking to the maximum value of the indicator P_{imax}, receiving last place in the ranking, formula distribution of rating sites:

$$P_{i\,min} < P_{i\text{-}z} < \ldots < P_{i\,max} \Rightarrow 1,2,\ldots, x \qquad (4.2.11)$$

If The best value of the quality assessment indicator (P_i) is considered the best, that is, the indicator is included in the second group, for example, the maximum possible carrying capacity of elevator equipment is necessary, then the places in the ranking (column 1 of table 4.2.10) are distributed from the maximum value of the indicator P_{imax}, receiving first place in the ranking to the minimum value of the indicator $P_{i\min}$, receiving last place in the ranking [71, 87].

And then formula distribution of rating places acquires the following view:

$$P_{i\,max} > P_{i\text{-}y} > \ldots > P_{i\,min} \Rightarrow 1,2,\ldots, x \qquad (4.2.12)$$

The number of places x in the ranking cannot be more than the number n, that is, there can be no longer the number of systems selected to assess the quality: $x \leq n$.

At the same time, two or more systems can occupy one place in the ranking in the case of equal values of the evaluated indicators, in this case always $x \prec n$.

2.2.3. For a comparative analysis of the advantage (deficiency) of the evaluated system over other systems for the selected quality assessment indicator (addition to tables 4.2.11 and 4.2.12), it is recommended to use the number of points scored by the system according to the results of the addition of differences ($\Delta P_{z(z\text{-}1)}$), obtained as a result of comparison of systems (B_z) in table 4.2.10.

2.3. Preparation and submission of the LPR report based on the results of the quality assessment of selected systems. This methodology provides for the quality of systems in 4 ways. These methods are implemented in tables 4.2.11, 4.2.12, 4.2.13 and 4.2.14. In practice, this gives the official the possibility of choosing the most rational way of evaluating quality, taking into account the specifics of the exploitation systems [68, p. 118].

2.3.1. Based on tables 4.2.9 and 4.2.10, form summary tables of the results of evaluation of systems:

- table 4.2.11, the results of assessing the quality of systems based on the rating of systems according to quality assessment indicators, taking into account the standardized factors of quality assessment indicators (g_i);

Table 4.2.11

The results of quality assessment *n* systems based on statistical information and the rating of systems according to indicators of quality assessment, taking into account the standardized factors of indicators (g_i) depending on the rating of systems for each selected indicator

Place in rating	System	Q_{gMz}	Indicators of quality assessment of technical systems:							
			P_1, (g_1), (unit.)		P_2, (g_2), (unit.)		…; P_i, (g_i), (ед. изм.); …		P_l, (g_l), (unit.)	
			P_1	M_{P1z}	P_2	M_{P2z}	…	…, M_{Piz}, …	P_l	M_{Plz}
1	2	3	4	5	7	8	…	…	l+3	l+4
1							…	…		
2							…	…		
3,…*z*, …							…	…		
x-1							…	…		
x							…	…		
The maximum value of the indicator			P_{1max}		P_{2max}		…, P_{imax}, …		P_{lmax}	
The minimum value of the indicator			P_{1min}		P_{2min}		…, P_{imin}, …		P_{lmin}	
Check results (allow you to take into account the specifics and restrictions in the functioning of the system)			If $P_{1min} < P_{1z} < P_{1max}$ then the norm, otherwise the error and the *z* system are removed from the list of systems to evaluate quality		If $P_{2min} < P_{2z} < P_{2max}$ then the norm, otherwise the error and the *z* system are removed from the list of systems to evaluate quality		…		If $P_{lmin} < P_{lz} < P_{lmax}$ then the norm, otherwise the error and the *z* system are removed from the list of systems to evaluate quality	

- table 4.2.12, the results of the quality assessment of systems based on the rating of systems according to quality assessment indicators without taking into account the standardized factors of quality assessment indicators;

Table 4.2.12

The results of quality assessment *n* systems

based on statistical information and the rating of systems according to quality assessment indicators without taking into account the standardized factors of indicators depending on the rating of systems for each selected indicator

Place in rating	System	Q_{Mz}	Indicators of quality assessment of technical systems:							
			P_1, (unit.)		P_2, (unit.)		…; P_i, (unit.); …		P_l, (unit.)	
			P_1	M_{P1z}	P_2	M_{P2z}	…	…, M_{Piz}, …	P_l	M_{Plz}
1	2	3	4	5	7	8	…	…	l+3	l+4
1							…	…		
2							…	…		
3,…*z*, …							…	…		
x-1							…	…		
x							…	…		
The maximum value of the indicator			P_{1max}		P_{2max}		…, P_{imax}, …		P_{lmax}	
The minimum value of the indicator			P_{1min}		P_{2min}		…, P_{imin}, …		P_{lmin}	
Check results (allow you to take into account the specifics and restrictions in the functioning of the system)			If $P_{1min} < P_{1z} < P_{1max}$ then the norm, otherwise the error and the *z* system are removed from the list of systems to evaluate quality		If $P_{2min} < P_{2z} < P_{2max}$ then the norm, otherwise the error and the *z* system are removed from the list of systems to evaluate quality		…		If $P_{lmin} < P_{lz} < P_{lmax}$ then the norm, otherwise the error and the *z* system are removed from the list of systems to evaluate quality	

- table 4.2.13, the results of assessing the quality of systems based on statistical information about the values of selected indicators of quality assessment, taking into account the standardized factors of the importance of these indicators (g_i) and the use of the basic values of the selected quality indicators ($P_{i\,б}$);

- table 4.2.14, the results of assessing the quality of systems based on statistical information about the values of selected indicators of quality assessment without taking into account the standardized factors of the importance of these indicators and the use of the basic values of the selected quality indicators ($P_{i\,б}$).

The following designations are adopted in the tables and formulas:

l – the number of selected system quality indicators;

$1.l$ – the number of selected quality indicators of systems 1 group is used in tables 4.2.13 and 4.2.14;

$2.l$ – the number of selected indicators of the quality of systems of the 2nd group systems is used in tables 4.2.13 and 4.2.14;

P_i – i-indicator of the quality assessment of system;

$P_{1.i}$ – i-indicator of the quality assessment of systems 1 group (table 4.2.13 and 4.2.14);

$P_{2.i}$ – i-indicator of the quality assessment of systems 2 group (table 4.2.13 and 4.2.14);

$P_{iб}$ – basic i-ndicator of the quality assessment of systems, respectively, $P_{1.iб}$ – 1 group and $P_{2.iб}$ – i-ndicator 2 group (table 4.2.13 and 4.2.14);

M_{Piz} – place in the rating of the z system according to the i-indicator of quality assessment (P_i) is used in tables 4.2.11 and 4.2.12;

g_i – normalized factor in the importance of the i-indicator of quality (P_i), respectively, $g_{1.i}$ – 1 group and $g_{2.i}$ – 2 group;

Q_{gMz} – a comprehensive indicator of the quality assessment of the z system, taking into account the standardized coefficients of quality indicators (g_i), depending on the place in the ranking of the z system for each selected indicator (table 4.2.11);

Q_{Mz} – a comprehensive indicator of the quality assessment of the z system, excluding normalized coefficients of the importance of quality assessment (g_i), depending on the place in the ranking of the z system for each selected indicator (table 4.2.12);

Q_{gz} – a comprehensive indicator of the quality assessment of the z system, taking into account the standardized factors of quality indicators (g_i), is used in the calculations in the table 4.2.13;

Q_z – a comprehensive indicator of the quality assessment of the z system, excluding normalized coefficients of the importance of quality assessment indicators (g_i), used in calculations in table 4.2.14 [99, 102].

In tables 4.2.11 and 4.2.13 (respectively, the distribution is in the set 1 and 2 groups) indicators of quality assessment (P_i) are located in column according to the following rule: the greater the value of the normalized factor of the quality assessment indicator (g_i), thus, in smaller columns, information about this indicators of quality assessment is placed (P_i).

2.3.2. In column 3 of tables 4.2.11 according to the formula (4.2.12), calculate the value of a comprehensive indicator of quality assessment for each system (Q_{gMz}):

$$Q_{gMz} = \sum_{i=1}^{l} g_i \left(\frac{1 + (n - M_{Piz})}{\sum_{z=1}^{n} M_{Piz}}\right) \qquad (4.2.12)$$

2.3.3. The overall rating of systems (column 1 of table 4.2.11) should be compiled according to the highest value of the complex indicator of system quality assessment (Q_{gMz}), similarly to paragraph 2.2.2 of the methods:

$$Q_{gMz\max} > Q_{gMz-y} > \ldots > Q_{gMz\min} \Rightarrow 1,2,\ldots, x \qquad (4.2.13)$$

2.3.4. When forming table 4.2.12 in column 3 according to the formula (4.2.14), determine the value of a comprehensive indicator of quality assessment for each system (Q_{Mz}):

$$Q_{Mz} = \sum_{i=1}^{l} \left(\frac{1 + (n - M_{Piz})}{\sum_{z=1}^{n} M_{Piz}}\right) \qquad (4.2.14)$$

and then in the column 1 of table 4.2.12, draw up a general rating of systems, completing paragraph 2.3.3 of this methodology.

2.3.5. When forming table 4.2.13 according to the formula (4.2.15), in column 3, determine the value of the integrated indicator of quality assessment for each system (Q_{gz}):

$$Q_{gz} = \sum_{i=1.1}^{1.l}(1 - \frac{g_{1.i}P_{1.i}}{P_{1.i\acute{o}}}) + \sum_{i=2.1}^{2.l}(\frac{g_{2.i}P_{2.i}}{P_{2.i\acute{o}}}) \qquad (4.2.15)$$

and then in column 1 of table 4.2.13, draw up a general rating of systems, completing paragraph 2.3.3 of this methodology.

Table 4.2.13

The results of quality assessment *n* systems

Based on statistical information, taking into account the standardized factors of quality evaluation indicators and the use of the basic values of selected quality indicators ($P_{i\,\acute{o}}$)

Place systems in rating	System	Q_g z	Indicators of quality assessment of technical systems:							
			1 group						1 group	
			$P_{1.1}$, ($g_{1.1}$), ($P_{1.1\,\acute{o}}$),(unit.)		$P_{1.2}$, ($g_{1.2}$), ($P_{1.2\,\acute{o}}$), (unit.)		…	…	$P_{2.l}$, ($g_{2.l}$), ($P_{2.1\,\acute{o}}$), (unit.)	
			$P_{1.1}$	$1-\frac{g_{1.1}P_{1.1}}{P_{1.1\acute{o}}}$	$P_{1.2}$	$1-\frac{g_{1.2}P_{1.2}}{P_{1.2\acute{o}}}$	…	…	$P_{2.l}$	$\frac{g_{2.l}P_{2.l}}{P_{2.l\acute{o}}}$
1	2	3	4	5	6	…	…	...	l+3	l+4
1						...	...	...		
2,…*z*, …						...	...	...		
x						...	...	...		
The maximum value of the indicator			P_{1max}		P_{2max}		...	...	P_{lmax}	
The minimum value of the indicator			P_{1min}		P_{2min}		...	...	P_{lmin}	
Check results (allow you to take into account the specifics and restrictions in the functioning of the system)			If $P_{1min} < P_{1z} < P_{1max}$ then the norm, otherwise the error and the *z* system are removed from the list of systems to evaluate quality		If $P_{2min} < P_{2z} < P_{2max}$ then the norm, otherwise the error and the *z* system are removed from the list of systems to evaluate quality		...	...	If $P_{lmin} < P_{ln} < P_{lmax}$ then the norm, otherwise the error and the *z* system are removed from the list of systems to evaluate quality	

As a commentary on the formulas (4.2.15) and (4.2.16), it is important to explain that these formulas in order to correctly calculate the values of complex quality indicators

(Q_{gz} and Q_z) in relation to quality indicators of the 1st group, they are used the expression: $1-\frac{g_{1.i}P_{1.i}}{P_{1.i\delta}}$ for formulas (4.2.15) and tables 4.2.13 and, accordingly, the expression: $1-\frac{P_{1.i}}{P_{1.i\delta}}$ for formulas (4.2.16) and tables 4.2.14.

2.3.6. If LPR decided to use when evaluating table 4.2.14, then by formula (4.2.16) in column 3 determine the value of a comprehensive indicator of quality assessment for each system (Q_z) [68, p. 119]:

$$Q_z = \sum_{i=1.1}^{1.l}\left(1-\frac{P_{1.i}}{P_{1.i\delta}}\right)+\sum_{i=2.1}^{2.l}\left(\frac{P_{2.i}}{P_{2.i\delta}}\right) \qquad (4.2.16)$$

Table 4.2.14

System quality assessment results

based on statistical information, excluding normalized factors of quality indicators and the use of basic values of selected quality indicators ($P_{i\,\delta}$)

Place systems in rating	System	Q_z	Indicators of quality assessment of technical systems:							
			1 group						2 group	
			$P_{1.1}$, ($P_{1.1\,б}$),(unit.)		$P_{1.2}$, ($P_{1.2\,б}$), (unit.)		…	…	$P_{2.l}$, ($P_{2.1\,б}$), (unit.)	
			$P_{1.1}$	$1-\frac{P_{1.1}}{P_{1.1б}}$	$P_{1.2}$	$1-\frac{P_{1.2}}{P_{1.2б}}$	…	…	$P_{2.l}$	$\frac{P_{2.l}}{P_{2.lб}}$
1	2	3	4	5	6	…	…	...	l+3	l+4
1						...	...	...		
2,…z, …						...	...	...		
x						...	...	...		
The maximum value of the indicator			P_{1max}		P_{2max}		…	…	P_{lmax}	
The minimum value of the indicator			P_{1min}		P_{2min}		…	…	P_{lmin}	
Check results (allow you to take into account the specifics and restrictions in the functioning of the system)			If $P_{1min}<P_{1z}<P_{1max}$ then the norm, otherwise the error and the z system are removed from the list of systems to evaluate quality		If $P_{2min}<P_{2z}<P_{2max}$ then the norm, otherwise the error and the z system are removed from the list of systems to evaluate quality		…	…	If $P_{lmin}<P_{ln}<P_{lmax}$ then the norm, otherwise the error and the z system are removed from the list of systems to evaluate quality	

And then in column 1 of table 4.2.14, draw up a general rating of systems, completing paragraph 2.3.3 of this methodology.

2.3.7. If necessary, LPR or official in tables 4.2.11, 4.2.12, 4.2.13 and 4.2.14 introduces restrictions on maximum permissible quantitative values of indicators: P_{imax} and P_{imin}. Further, the program checks the fulfillment of the condition: if $P_{imin} < P_{iz} < P_{imax}$ – then the value of the indicator for the z system corresponds to the specified limits (norm), otherwise the error and the program removes the system from the list of selected systems in these tables.

The condition for compliance with the permissible range of indicators is designed to take into account the specifics of the exploitation system [42].

2.3.8. If used all 4 methods or 2 or more, if necessary, you can compile a rating of systems (table 4.2.15) according to the results obtained by four different methods and presented in tables 4.2.11, 4.2.12, 4.2.13 and 4.2.14 .

Table 4.2.15

System rating based on the results of quality assessment in four ways

Place in the overall ranking	System	Sum points according to ratings	Place in the rating when evaluating quality in various ways according to the results of the assessment systematized in the tables:			
			Table 4.2.11	Table 4.2.12	Table 4.2.13	Table 4.2.14
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3,…*z*,…						
x-1						
x						

The place of each system (z) in the general ranking is determined by the highest value of the amount of scored points B_{jz}:

$$B_{jz\,max} > B_{jz\text{-}y} > \ldots > B_{jz\,min} \Rightarrow 1,2,\ldots, x \qquad (4.2.17)$$

To do this, the quantitative value of the amount of B_{jz} scored points for each system is calculated by the formula:

$$B_{jz} = \sum_{j=1}^{i} (1 + n_j - Z_j) \qquad (4.2.18)$$

where Z_j– this is the place of the system z in the ranking of systems j- table (in the tables 4.2.11, 4.2.12, 4.2.13 и 4.2.14);

n_j – the maximum number of places in the ranking of systems compiled by the j -consobe equal to the number of compared systems.

In this case n_j there may be less than the number of compared systems in the case, if several systems will receive equal amounts of points: $x \leq n$. [21, 23, 68].

Comments on the II stage of the methodology:

1. The technique allows LPR or proper persons of the governing bodies to choose one of the four methods of evaluation (table 4.2.11, 4.2.12, 4.2.13 or 4.2.14) and then do not perform clause 2.3.8. methodology.

2. The advantage of the application of the first and second method of the methodology (table 4.2.11 and 4.2.12) is that the official does not need to use the basic values of the selected quality indicators ($P_{i\delta}$), that is, an additional reserve of time appears due to the reduction of the search time and the search time and input $P_{i\delta}$ for each of the evaluated systems.

3. The presented tabular forms are intended for a more detailed consideration of the methodology and practice in the programmatic implementation of the methodology to rationally use interconnected tables without additional explanatory columns and lines.

4. The II stage of the methodology can be performed independently when operating evaluated systems in the presence of the necessary initial data on the actual values of quality indicators.

Stage III. Collection and processing of expert information from various sources and (or) receipt of expert information using an expert survey. Assessment of the quality of systems based on expert information.

3.1. Prepare a table for collecting, processing and evaluating the quality of systems based on the opinions of experts (officials) using the improved method of paired

comparisons – table 4.2.16, compiled on the basis of table 2.3.1 from paragraph No. 2.3 of the dissertation.

3.1.1. Make a table of processing and systematizing expert information when evaluating the quality of selected systems (table 4.2.16) with an improved method of paired comparisons (paragraph No. 2.3 of the dissertation) in electronic form using software.

Table 4.2.16

Table of processing and systematization of expert information when assessing the quality *N* systems, an improved method of paired comparisons given the sources of information used _____ by an expert and the date of receipt of this information

№ expert ____	Systems				K_z	B_z	Examination	Sources of inform. about systems		The date
Systems	1	2,…z,…	*n-1*	*n*				Internal	External	
1	2	….	n	n+1	n+2	n+3	n+4	n+5	n+6	n+7
1	1	$\underline{R_{1z}}$	$\underline{R_{1(n-1)}}$	$\underline{R_{1n}}$	K_1	B_1				
2	2- R_{12}	T2.3.2*	T2.3.2*	T2.3.2*	K_2	B_2				
3	2- R_{13}	T2.3.2*	T2.3.2*	T2.3.2*	K_3	B_3				
…z,…	2- R_{1z}	1	T2.3.2*	T2.3.2*	K_z	B_z				
n-1	2-$R_{1(n-1)}$	$R_{(n-1)z}=2-R_{z(n-1)}$	1	T2.3.2*	$K_{(n-1)}$	$B_{(n-1)}$				
n	2-R_{1n}	$R_{nz}=2-R_{zn}$	2- $R_{(n-1)n}$	1	K_n	B_n				
Sum:										
Checking data for consistency: In accordance with the verification table 2.3.3 of the paragraph No. 2.3 of the dissertation										
* Note: “T 2.3.2” – means that this cell is filled out automatically using the rules of logical conclusions, systematized in table 2.3.2 of the paragraph No. 2.3 of the dissertation										

Columns (n+5) and (n+6) table 4.2.16 fills the expert if he used the sources of information that confirm his expert opinion. If the expert did not use the sources of information, then the columns (n+5) and (n+6) of table 4.2.16 he does not fill out.

Table 4.2.16 is compiled with a mandatory possibility of adding systems.

This requirement provides operational accounting of changes in technologies, the emergence of new systems (products) with the best characteristics and the possibility of

the operational receipt of the LPR of information about new systems and technologies, references to sources of this information and expert opinions [74, p. 108].

3.1.2. The number of tables must correspond to the number of experts.

Each expert works with his personal data input and processing table.

Depending on the confidentiality of the data entered, data entry and access to the evaluation results can be carried out on the corresponding computers or remotely along the local computing network.

The technique allows the processing of unexpected information and an expert survey remotely using the Internet.

3.1.3. In table 4.2.16, the following functions are programmed:

- reducing the expert's work and minimizing data input by experts into their personal tables by automatically filling out the maximum possible number of cells according to the rules of logical conclusions of the improved method of paired comparisons systematized in table 2.3.2 of paragraph No. 2.3 of the dissertation;

- verification of the entered data for consistency and (or) the entry of false information (the error of the operator or expert) using formulas 2.3.9 - 2.3.14 and tables 2.3.3 with test values according to the improved method of paired comparisons of the systems (paragraph No. 2.3 of the dissertation);

- an automatic assessment of the quality of systems according to the selected indicator in real time and taking into account the standardized weight coefficients of experts;

- the corresponding cells of the tables should be connected and ensure the correct change in data and calculation results in the case of the change in the source data, including changes in the standardized weight coefficients of experts, normalized weight coefficients of quality assessment indicators, the number of systems, the number of systems of the quality assessment of systems [49, p. 96-97].

3.2. The rules for conducting an expert survey and (or) study of the opinions of specialists as experts in the studied subject area using internal and external sources of information.

3.2.1. Before the survey, each expert must study and further perform the following paragraphs 3.2.2 - 3.2.7 of this methodology.

3.2.2. The expert fills out table 4.2.5, into which it enters the initial data to evaluate his competence as an expert (paragraph 1.4.5. methodology).

3.2.3. When working with table 4.2.16 in the extreme left corner, the expert puts his number or indicates other identifying experts data established by the official conducting the examination. Next, fills the columns (n+5) and (n+6) tables 4.2.16, indicating the details of the sources of information:

- internal sources of information are entered in the column (n+5);

- external sources of information are entered in the column (n+6).

The column (n+7) indicates the date of receipt of information from the corresponding source, on the basis of which the expert decided when comparing the systems. For example, the date of access to the Internet website.

3.2.4. The expert should work only with the right upper part of table 4.2.16, that is, in the right upper side of the square, divided by the diagonal of the segment from the results of the comparisons of each system with itself – “1”.

3.2.5. The expert enters the initial data: filling only the top line of the table from left to right. Further, on the basis of these initial data, the program in accordance with the rules systematized in table 2.3.2 calculates possible options for the values $R_{z(z-1)}$ and puts the results obtained in the corresponding cells of table 4.2.16.

3.2.6. If in some cell of table 4.2.16 a sign “?” Appears, then this means that it is impossible to make a logical conclusion to the expert and it is necessary to independently compare the relevant systems and introduce the resulting value $R_{z(z+1)}$ in the cell where the sign "?"

3.2.7. The expert does not perform other actions, except for the actions described in paragraph 3.2. real methodology.

3.3. Assessment of the quality of systems based on the use of expert information (table 4.2.17).

Table 4.2.17

The results of assessing the quality of systems based on the use of expert information (opinions of *j* experts), taking into account the standardized weight coefficients of expert competence *(q_j)*

Place of the system in the ranking, $N_{эи}$	System	$\sum q_i K_z$	The results of the quality assessment *n* systems *j* experts, taking into account the standardized weight coefficients of expert competence, $q_i K_z$							
			1	2	3	…	*i*	…	*j – 1*	*j*
1	2	3	4	5	6	…	…	…	*j+2*	*j+3*
1						…		…		
2, …						…		…		
x						…		…		

3.3.1. The results of the quality assessment based on the use of expert information (opinions of *j* experts) are automatically calculated using selected software tools based on the source data obtained when experts fill out table 4.2.16.

3.3.2. Place of each system in the ranking based on the results of quality assessment when using expert information ($N_{эи}$) it is determined by the greatest value of the quality factor of the system ($K_{эи}$), according to the formula [74, p. 106]:

$$K_{эиz} = \sum_{n=1}^{j} q_i K_z \qquad (4.2.19)$$

The rating is compiled according to the same rules described in paragraph 2.2.2 of this Methodology (formula 4.2.12):

$$K_{эиz\,max} > K_{эиz\text{-}y} > \ldots > K_{эиz\,min} \Rightarrow 1,2,\ldots, x \qquad (4.2.20)$$

3.4.3. If LPR It was decided not to take into account the normalized weight coefficients of expert competence *(q_j)*, then in this case in the formula (4.2.17) $q_j = 1$ and $K_{эи}$ calculated by the formula:

$$K_{эиz} = \sum_{n=1}^{j} K_z \qquad (4.2.21)$$

Stage IV. Drawing up a rating of systems based on the results of quality assessment and presentation of the results of the quality assessment of system systems.

4.1. Drawing up a rating of systems based on the results of quality assessment (table 4.2.18).

Table 4.2.18

System rating based on the results of quality assessment

Place in the overall ranking	System	The amount of points for ratings, $B_N=1+2n-N_{cu}-N_{эu}$	Place in the ranking based on the results of quality assessment when using:	
			statistical information (N_{cu})	expert information ($N_{эu}$)
1				
2, 3, …, *x-1,*				
x				

4.1.1. The results of the quality assessment of systems based on the use of expert information (opinions of *j* experts) are automatically calculated using selected software tools based on the source data obtained when experts fill out table 4.2.15 and table 4.2.17.

At the same time, by decision of the LPR or the official conducting the examination, with the aim of the most complete accounting for the specifics of the exploitation of the evaluated system instead of table 4.2.15, it is possible to use tables (4.2.11 - 4.2.14).

4.1.2. The place of each system in the general rating (table 4.2.18) is determined by the highest value of the amount of points (B_{Nz}):

$$B_{Nz} = 1 + 2n - N_{сиz} - N_{эиz} \qquad (4.2.22)$$

N_{cuz} – the place of the system in the ranking based on the results of quality assessment when using statistical information,

$N_{эuz}$ – the place of the system in the ranking based on the results of quality assessment when using expert information.

The rating is compiled according to the same rules described in paragraph 2.2.2 of this Methodology (formula 2.5):

$$B_{Nzmax} > B_{Nz-y} > ... > B_{Nzmin} \Rightarrow 1,2,..., x \qquad (4.2.23)$$

4.2. Presentation of the results of the quality assessment of the LPR.

Can be carried out in two versions:

4.2.1. In the form of a brief report.

Information systematized in table 4.2.18 and (or) in the form of a diagram based on a rating from table 4.2.18.

4.2.2. In the form of the main report.

In this version of the LPR, information systematized in the tables is presented, in accordance with the way the assessment was carried out (what tables were used: 4.2.6, 4.2.13, 4.2.14, 4.2.15, 4.2.17 and (or) 4.2. 18), as well as diagrams compiled on the basis of this information.

4.2.3. If necessary, the official who assessed the quality represents the conclusions and (or) comments on these reports.

V stage. Feedback [42, 162].

5.1. Feedback is carried out by evaluating the achieved effect of the implementation of the management decision adopted by the LPR based on the results of quality assessment according to this methodology.

5.2. The achieved effect is recommended to evaluate using the methodology for evaluating the effectiveness of systems together with a computer program “Analysis and assessment of systems effectiveness” developed in paragraph No. 2.4 of the dissertation (methodology scheme – figure 4.1.1).

Recommendations for the rational application of the methodology are further set out in paragraph No. 5.3 of the dissertation.

An example of the application of the methodology is presented in Appendix A dissertation**.**

Fourth chapter research findings

The technique is developed for the most effective use in the system of supporting systems as the most important component of its “QUALITY ASSESSMENT”, presented further in the scheme in figure 5.1.1 “Model of support for technical systems in the process of exploitation and rational organization of work on the improvement and development of BTS” for rational achievement the goals of the dissertation research.

For this, the methodology implements the results of the theoretical part of the work regarding the application of the structural and functional model, the improved method of paired comparisons and the dynamic model of the BTS (chapter 2 of the dissertation).

The technique is a complex of interconnected elements in the form of stages of a methodology, which, if necessary, can be used independently.

The use of systematized calculation tables and formalization of the rules of logical conclusions provides cheapness and simplicity of its software implementation on various BTS, as well as choosing the best system and output of the evaluation results in the form of tables, diagrams and graphs – an example of the application of the methodology in the dissertation.

The technique allows you to significantly reduce quality assessment time without the cost of additional resources and helps maintain the BTS information reserves in the current state of the current state.

In addition, in accordance with the first principle, the proposed technique can be used to reduce the risk of incorrect management decisions during the exploitation of systems, including when choosing the best technical system (product) in the process of import substitution.

Thus, the technique is a new scientifically substantiated methodological solution in the field of increasing the efficiency of operating control of the BTS.

Chapter 5. Models and algorithmic support of decision-making systems when accompanied by big technical systems in the process of exploitation

5.1. Support model for technical systems in the process of exploitation

A logical continuation of the dissertation research was the creation of a support model for technical systems in the process of exploitation (hereinafter referred to as the model) – figure 5.1.1.

The importance of the effective functioning of the BTS predetermines the need to improve organizational and technical measures in the field of support for BTS at the stage of exploitation, including their assessment of their quality [48].

Studies of the subject area revealed a number of unresolved tasks in terms of rational organization of works on the improvement and development of systems based on modern tested quality assessment methods using large volumes of various information from various sources. Generalized information about the submarms of these characteristics of complex systems, existing methodological approaches to quality assessment, are presented in table 5.1.1.

Each of the data sets is formed by the BTS monitoring subsystem: technological and visual data-from sources (components of the BTS), usually territorial-raised, about the functioning of the BTS component; text and graphic data – from external systems; Data on precedents of events (situations) and warning (corrective) actions (situational management) – from the subsystem of pre -processing of BTS data (fig. 5.1.2 and fig. 5.1.3).

To store data on precedents and actions, it is necessary to create information reserves to evaluate quality and develop procedures for working with them, since most managerial decisions in exploitation and technical support are made after collecting and processing the necessary information based on the results of the quality assessment of the BTS – this problem is solved in the paragraph No. 5.2 dissertations.

Table 5.1.1.

Data sets in system quality models

№ p/n	Data sets	Description	Methodological approach
1	<Mkp>	Mkp – product quality model (technical means).	GOST 15467 Product quality management. Basic concepts. Terms and definitions (with change No. 1); GOST R 58777 (for technical means) Air transport. Airports. Technical inspection tools. Methodology for determining indicators of the quality of recognition of illegal investments according to shadow X -ray images.
2	<Mkvn, Mkvnesh>	Mkvn – the quality model is internal; Mkvnesh – the quality model is external.	ИСО/МЭК 9126 (for software) software engineering – Product quality.
3	<Mk, Mki, Mkd>	Mk – quality model; Mki – quality model when using; Mkd – data quality model.	ISO/IEC 25000-25099 (for automated systems and software), for example, ISO /IEC 25000:2014 Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Guide to SQuaRE.

The most rational approach to solving a complex of problems in the exploitation and technical support of BTS is to develop and apply a model for supporting systems and the method of forming information reserves to assess the quality of systems and rational work with information resources (paragraph No. 5.2 of the dissertation) for the implementation of proactive management.

The development of the model (fig. 5.1.1) and the method should provide [40]:

- a significant reduction in the duration of the time for collecting, processing data, evaluating the effectiveness and quality of systems and the labor cost of personnel;

- an increase in the volume of processed information with a slight consumption of resources and time costs;

- timely, visual and informative presentation of information from the LPR.

The solution of the complex of problems is required to be implemented by software [43, 44, 45, 46, 47], independently developed by the author in the process of performing a dissertation research, and which will further be described in detail in the dissertation. The scheme of the comprehensive application of data for computers [43, 44, 45, 46, 47] as part of the method for the implementation of the proposed model is presented in paragraph No. 5.2 in figure 5.2.3.

Analysis of the level of elaboration of methodological campaigns of organizational and technical measures in the field of BTS support at the stage of exploitation, including their assessment of their quality, indicate a sufficiently deep study of private aspects and the need to develop a comprehensive solution.

In [206], a model is proposed and a method has been developed to aggregate heterogeneous data flows from two sources (technological sensors and tools) through their merger based on Apache Kafka and Spark Streaming, which can be attributed to pre -processing data processing.

In [107], the security subsystem of critical infrastructures is considered - one of the significant in production systems, for the organization of the management of which it is proposed to use security monitoring data.

In [115], the possibility of applying and maintaining universal mechanisms of unique users circulation to the “lake of data” of territorial-distributed data storage facilities in accordance with the real conditions of exploitation of systems is investigated.

[202] presents the results of the analysis of the advantages and disadvantages of various methods for assessing the quality of software tools, which are based on various metrics and original approaches to grouping (clustering) of the characteristics of the essential properties of computer systems.

The model proposed for consideration is an infological description of the process of supporting systems in the process of exploitation, taking into account control influences to maintain the functioning of the system with specified requirements and procedures for its improvement and development (figure 5.1.1) [20, p.122].

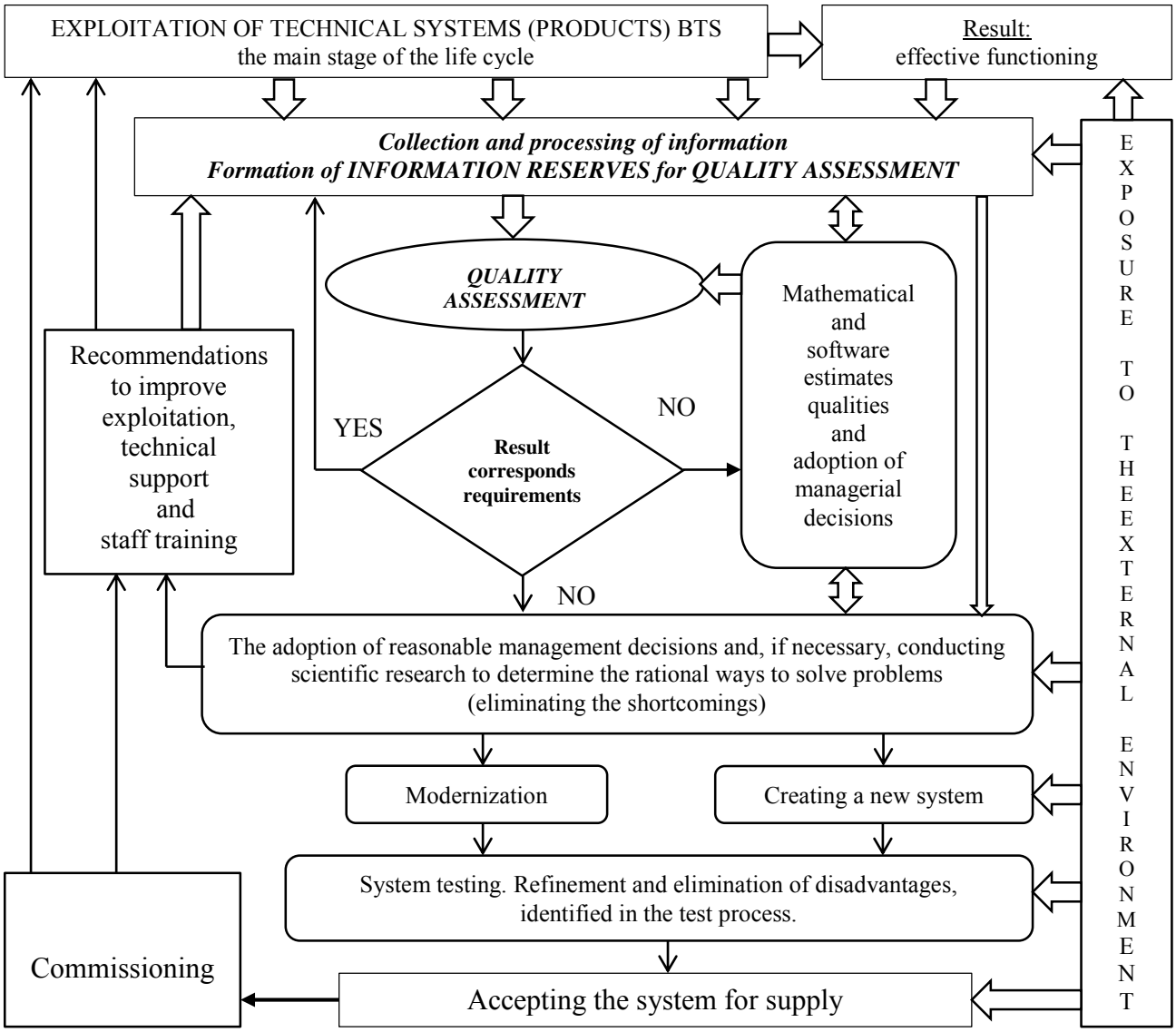


Figure 5.1.1. Model of support for technical systems in the process of exploitation and rational organization of work on the improvement and development of BTS

It is important to note that the component of the "QUALITY ASSESSMENT" model (fig. 5.1.1) as the basis for the organization of quality assessment includes a dynamic BTS model for a rational quality assessment in the process of exploitation (fig. 2.5.1 and 2.5.2), developed from using a cybernetic approach in the previous paragraph 2.5 of the dissertation.

In the model (fig. 5.1.1.), the influence of the external environment is a set of conditions affecting the system and the result, including the availability of resources, time, state and requirements for the system, the development of technologies, the presence of similar systems suitable for operation in these conditions and etc.

The purpose of the model [48]:

1. To determine the role, place, content and the most rational application of information reserves, methodological, mathematical and software for evaluating the quality of systems in the process of exploitation in the conditions of saving time and resources.

2. To ensure the rational use of methods, methods and results of quality assessment when making timely and reasonable management decisions.

3. For a significant reduction in the time of interaction when evaluating quality and making managerial decisions based on the results of quality assessment.

The developed model is universal and applicable to support BTS systems for various purposes, taking into account the specifics of their functioning and possible adverse conditions. The model is a description of the process of maintenance of systems in the process of exploitation with the aim of rational organization of work to improve and develop BTS systems (fig. 5.1.1).

The procedures for the formation and use of information reserves of the system in accordance with the model are presented in figure 5.1.2.

The application of the model (fig. 5.1.2) and the method at the organizational level (paragraph No. 1.2. the dissertation) showed that the LPR based on the results of the quality assessment is made by one of the four types of management decisions (algorithm – fig. 5.1.3).

The first type: the results of quality assessment satisfy the requirements - the decision not to intervene in the functioning of the systems.

The implementation of this decision does not require time and resources expenses [26, 70].

Decisions of the second, third and fourth types are adopted in the case when the results of quality assessment do not satisfy the requirements and (or) predicted adverse conditions for the functioning of the BTS.

The second type, the most common is the management decisions of an organizational and technical nature to increase (ensure) the effectiveness of the functioning of the system directly during the exploitation of the BTS. These are decisions on improving exploitation and technical support, as well as staff training. The implementation of decisions of the second type usually requires the smallest consumption of resources and time compared to the implementation of decisions of the third and fourth types.

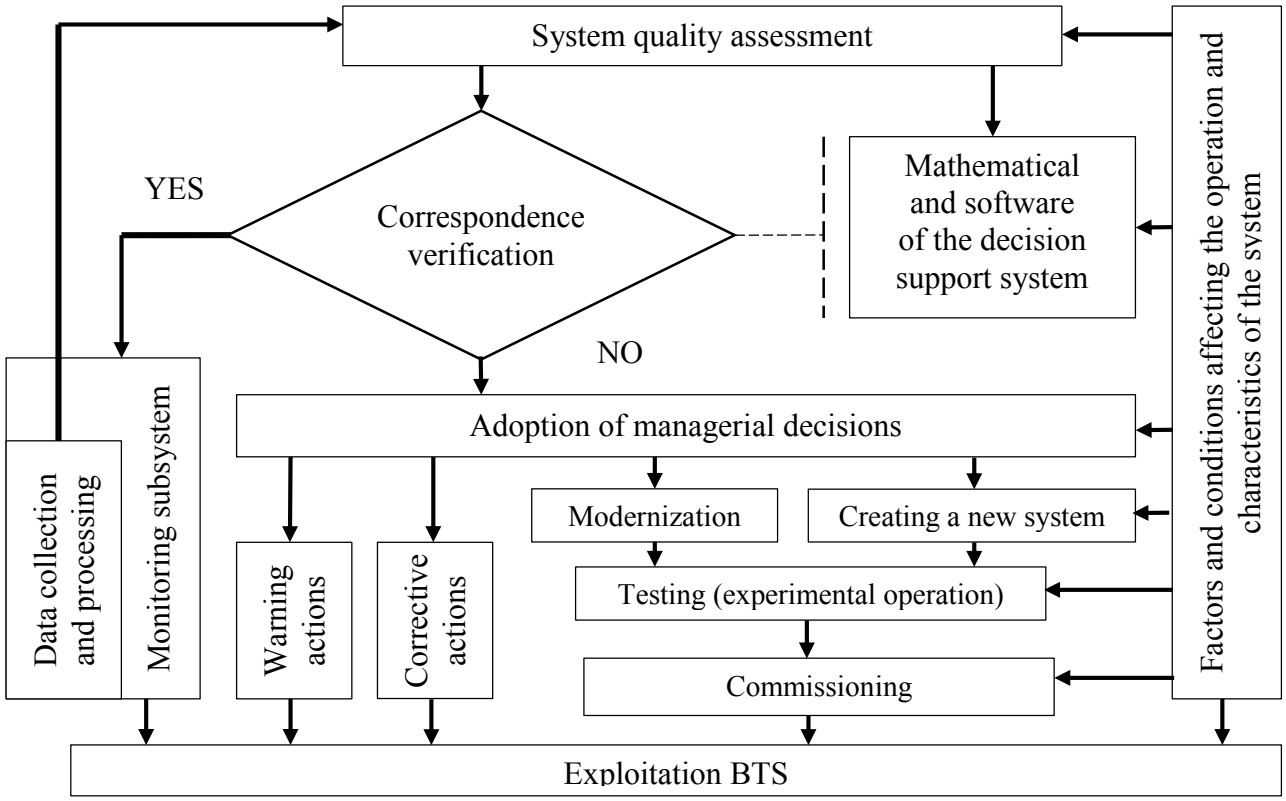


Figure 5.1.2. Model of support for technical systems in the process of exploitation at the organizational level

The third type of solutions are solutions to modernize existing systems. The third type of decisions is made if it is determined that the second type of solutions will not allow the required result under given conditions, and the creation of new systems is not rational. The duration of the implementation of such decisions is usually about 3-5 years.

The fourth type of solutions is solutions to create new systems. Accordingly, fourth-type decisions are adopted if others do not allow the result. The implementation of decisions on the creation of new systems requires the highest time and resource consumption. In modern conditions, the implementation of decisions of the fourth type will require, as a rule, 5-10 years and significant investment.

Decisions are made on the basis of the results of quality assessment, after collecting and processing data from various sources (fig. 5.1.3 and 5.1.4). However, as a commentary on the description of four types of management decisions, it is important to notice that the details of the content (fig. 1.4.2) of the developed model depends on the scope of the application of management decisions. The whole variety of management decisions in the scope of application can be divided into two large groups [26, 59, 60, 63, 70].

First group: Management decisions made during planning.

The considered four types of management decisions are applicable to the first group, especially applies to decisions of the 2nd, 3rd and 4th types.

Second group: management decisions made in real time when performing current and (or) new tasks, suddenly arising problems, etc. (decisions in the field of operational management of the system) [26, p. 25-26].

For decisions in the field of operational management, solutions of the 1st and 2nd types are applicable. At the same time, the use of the theoretical part of the work (the second chapter of the dissertation) provides ample opportunities in the field of software implementation of quality assessment (that is, reducing the assessment time) [20, p.122], which, in turn, increases the relevance and attractiveness of the developed model and for the 2nd group of management decisions in the field of operational management of exploitation and technical support of the system [40, 48].

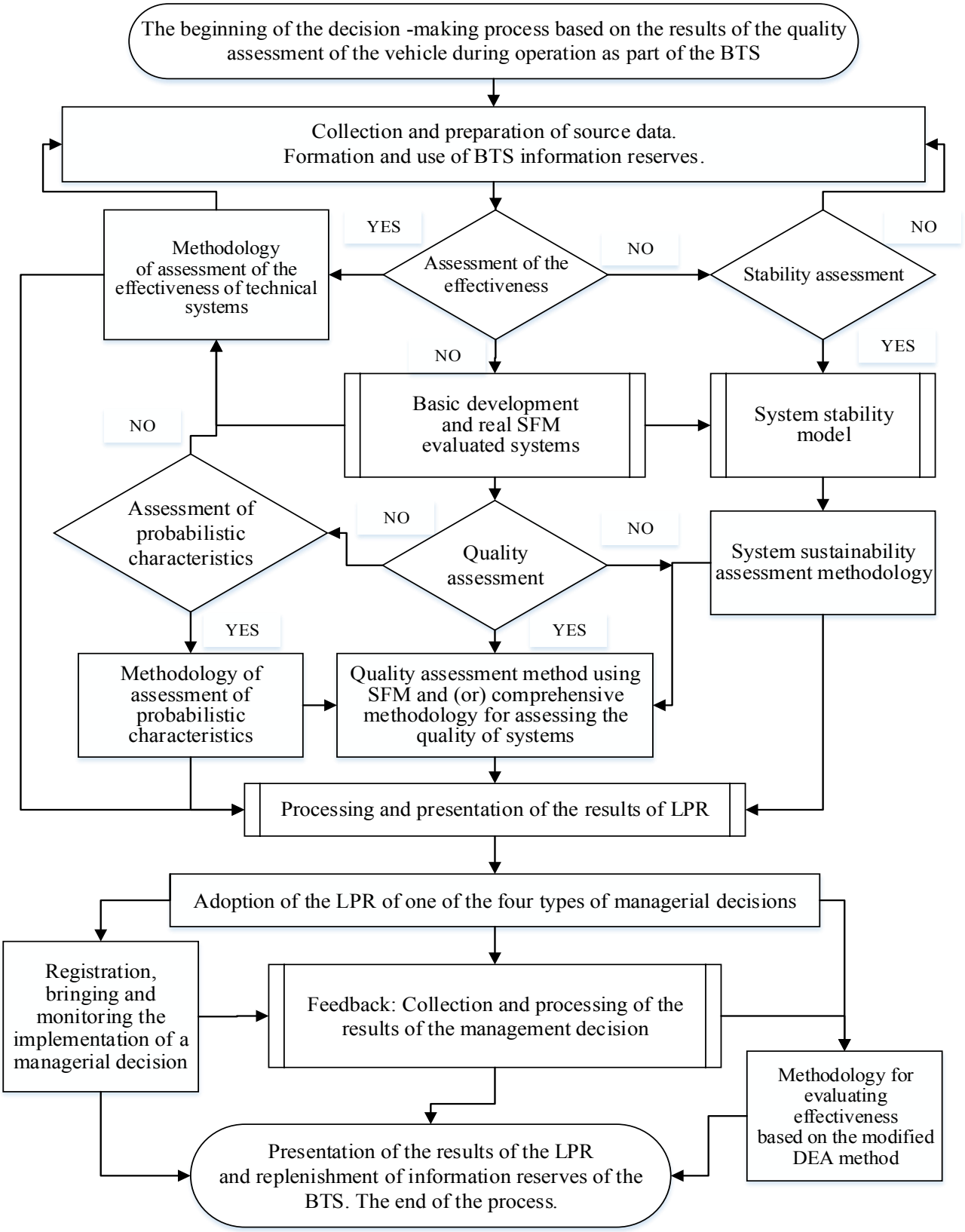


Figure 5.1.3. The scheme of the decision-making algorithm based on the results of assessing the quality of systems in the process of exploitation when used Model and Means

Thus, the use of the proposed model (fig. 5.1.1) will increase the versatility and effectiveness of the introduction of the practical part (methods for evaluating quality) for the rational achievement of the purpose of the dissertation research. Decisions are made on the basis of the results of quality assessment, after collecting and processing the necessary information. Therefore, the model includes a scheme of interaction when accompanied by BTS systems in the process of exploitation (fig. 5.1.4) [27, 29, 30, 48].

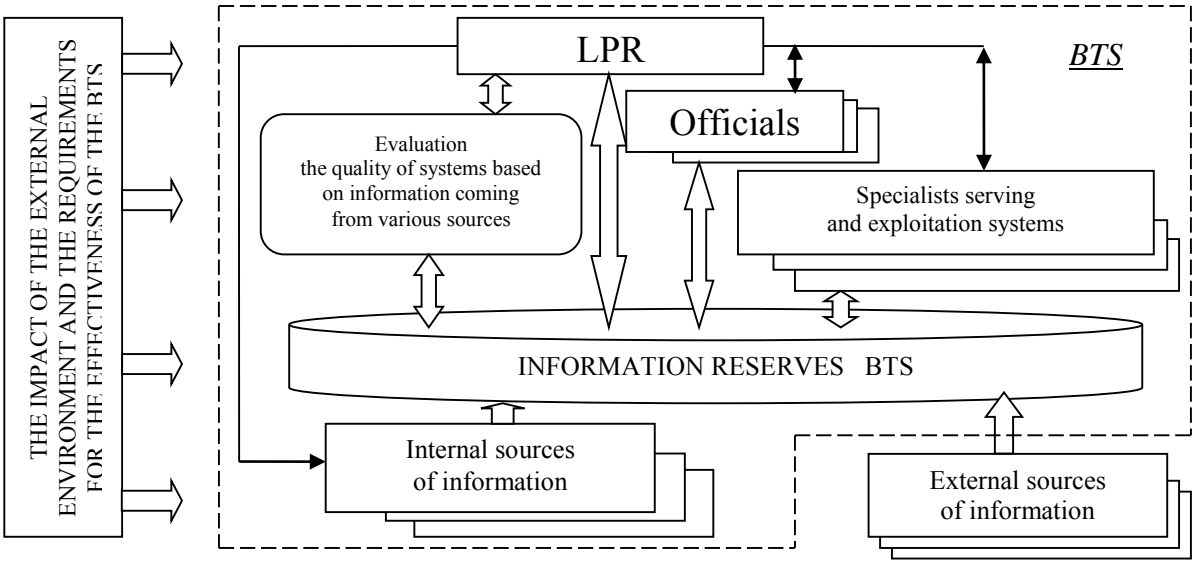


Figure 5.1.4. Interaction scheme when accompanied by systems BTS in the process of exploitation based on a dynamic BTS model

The relevance and necessity of applying the interaction scheme (fig. 5.1.4) as part of the model is fully substantiated by the opinion of Yu.Yu. Gromova: “Information has many sides of manifestation, and in terms of the tasks of managing it, it is impractical to consider it in isolation from the sources of its receipt and the goals, the achievement of which it serves.” [120, p. 44].

In the model, sources of information (fig. 5.1.4) – officials, experts, statistical reports, technical documentation of the BTS, the Internet, measuring devices and sensors for monitoring the state of technical products in various operating modes of BTS, etc.

The proposed model (fig. 3.1.1) allows you to implement a systematic approach when applying methods and means for evaluating quality in the conditions of a variety of technical systems as part of the BTS and taking into account the modern development of technologies [48]. However, in return, more frequent appeal to external information resources is required (fig. 5.1.4). For this purpose, external information resources must be considered in relation to the time of access to the information and external sources of this information, that is, to take into account where and when the user received information. When using the interaction scheme in the model (fig. 5.1.4), external sources of information are advisable to classify as follows:

1. Information resources of the information and telecommunication network "Internet" (hereinafter – the Internet).

2. Scientific and technical literature and information and reference materials: reports on research (hereinafter – NIR) and experimental design (hereinafter – OKR), monographs, scientific articles, scientific, methodological and educational literature, reference books, catalogs, technical Descriptions and instructions for the exploitation of products, etc.

3. Regulatory legal acts and regulatory and technical documentation (standards, technical conditions, arches of the rules).

4. Technical documentation and reporting documents (forms, passports for the product, hardware journals, reports, statements, etc.).

5. People (LPR, officials of management bodies, enterprises and organizations, scientists, specialists, personnel, users, etc.).

6. Additional external sources of information: media, advertising of technical products, commercial offers, public offers, etc.

It is important to add that the Internet, as a secondary source of information, may contain most of the information from other sources. Information coming from external sources can be divided into statistics and expert information. At the same time, it is advisable to understand the term “expert information” by the set of information that can be obtained from experts as experts in the system under study.

That is, to consider not only the results of a direct survey or survey of experts, but also the opinions of specialists set forth in scientific articles, reports, monographs, interviews, etc.

From the point of view of a rational organization of quality assessment during the exploitation of systems, information from external sources can be classified into two main types:

The first type of information from external sources is information in the field of functioning, namely about technical products, prospects, capabilities, experience of operating BTS and (or) technical systems, including staff training, as well as the possible consequences of destructive influences.

The second type of information from external sources is technical information, that is, information about scientific research, technologies, about similar technical systems (products), including requirements for the operating and training of personnel.

To develop, improve and increase the efficiency of the BTS, first of all, it is necessary to rationally use technical information about the possible prospects for the development of science and technology, on innovation, new technologies, technical characteristics of products, experience in the exploitation of various technical systems, similar systems that are part of the evaluated BTS [21, 22, 23, 195].

Complex processing, systematization and rational use of a large number of various statistical and expert information from external sources requires solving private problems related to a number of negative factors, namely, the redundancy of information received, incomplete information, in relation to the subject of the subject area, irrelevant, inaccuracy, and the need to verify large arrays of data for consistency.

All this increases the costs and time for processing, systematizing and using information, which, in the end, significantly reduces the positive effect of its use when evaluating systems in the process of exploitation. This is especially true of the information received from the Internet.

There is also a danger of obtaining knowingly false information (for example, from interested parties and (or) commercial organizations) and (or) information impact in order to create a condition for the adoption of erroneous management decisions.

Modeling of system escort (fig. 5.1.1) and interaction (fig. 2.5.1, 2.5.2, 3.1.2) made it possible to formulate recommendations for identifying information sources and systematizing information in the formed information reserves. For this, it is proposed to introduce the following fundamental concepts:

1. Information identifier (d_i), entered in information reserves will be an expression:

$$d_i = <C_i, M_i\, t_i> \qquad (5.1.1)$$

C_i – identifier of the source of information, M_i – content of the document (evaluated system), t_i – the time of receipt of information (time of appeal to the source of information).

2. Information and evaluation results should be checked for consistency and entry of false information (operator error).

Accordingly, the recommendations are subsequently applicable for working with various information in the development of methodological, mathematical and software for assessing the quality of the BTS, as well as when creating a method for forming information reserves of quality assessment (paragraph No. 5.2 of the dissertation).

In particular, these recommendations will be in demand when developing a comprehensive methodology for assessing the quality of technical systems in the process of exploitation.

The fourth chapter is completely devoted to this methodology in the dissertation. Thus, the developed model is a new scientifically sound technological solution.

In modern conditions, the introduction of this decision creates the basis of proactive management of the exploitation of the BTS.

5.2. Means of rational work with information resources of big technical systems

Means of rational work with information resources and the formation of BTS information reserves to assess the quality of systems and make timely and found management decisions together with the computer program “Realization of the means of rational processing of information resources and formation of information reserves of a system” (hereinafter referred to as the paragraph – Means and program for computers) [35, 36, 45].

Earlier in paragraph No. 5.1 of the dissertation, the relationship of the proposed method with the model of system support in the process of exploitation was considered, as well as the main initial data for its development.

Based on this, to achieve the purpose of the study, a computer program was developed [45], which implements this Means (examples of working with the program – fig. 5.2.1, 5.2.5 and fig. 5.2.7).

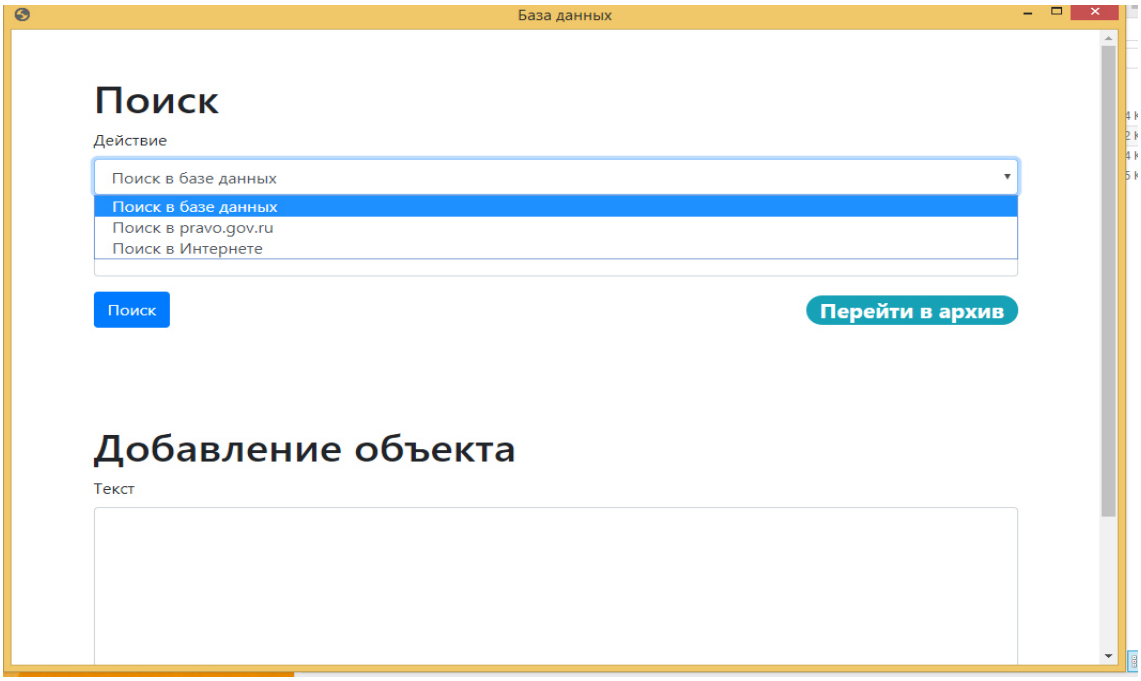


Figure 5.2.1. Start work with a computer program: choosing a source of information

The purpose of Means and computer programs [55]:

1. For the most rational achievement of the purpose of the dissertation research.

2. To organize information support for the quality of systems and adoption of management decisions based on the results of this assessment when accompanied by systems in the process of exploitation (figure 5.1.1) [33, 34, 35, 36, 162].

3. In order to significantly reduce the labor cost of personnel and reduce the time to collect and process information, as well as for the formation and replenishment (maintaining in the current state) of information reserves (IR) quality assessment in the conditions of increasing volumes of processed information [64, p.161].

In accordance with the designed system of systems in the process of exploitation, the Means in the Means implement the procedures for the formation and use of information reserves of the accompanied system (fig. 5.2.2).

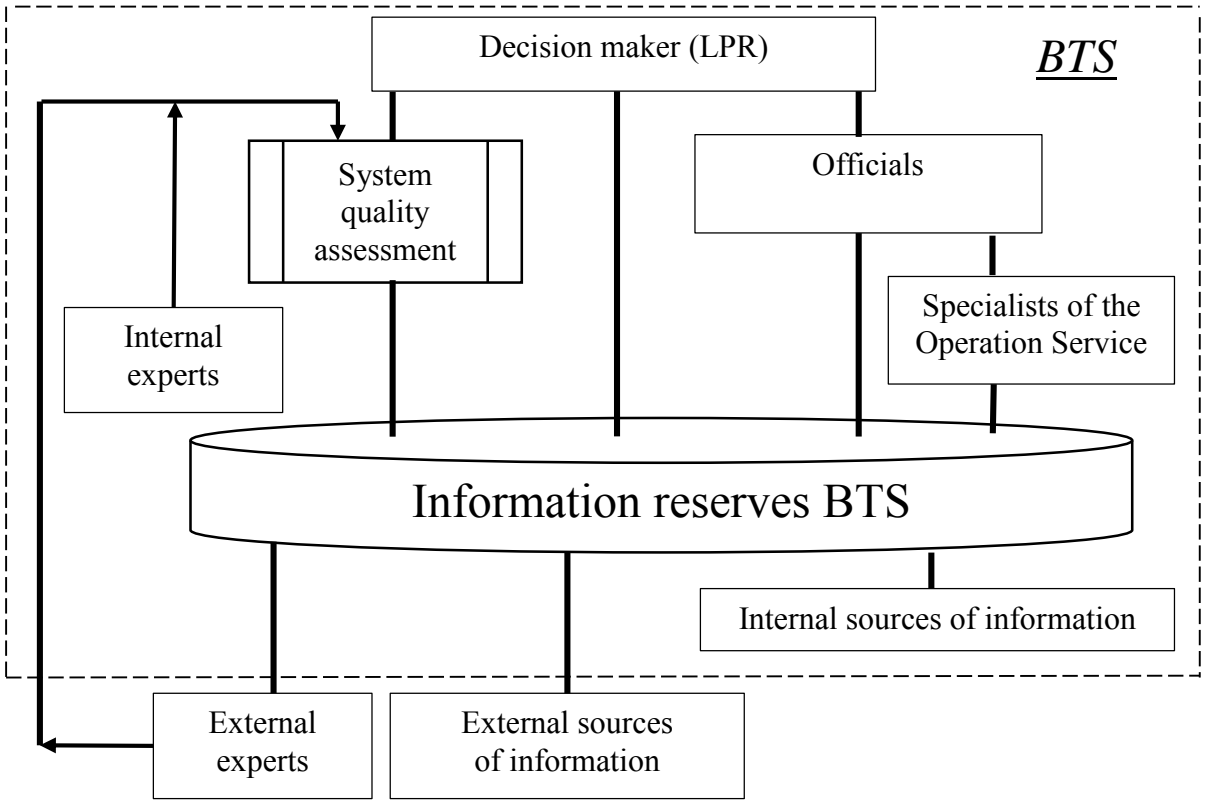


Figure 5.2.2. Means procedures for the formation and use of the information reserves of the system

A feature of the developed Means and computer programs is that with their help, the models, methods and programs for computers developed in the dissertation can be effectively used as part of information reserves both comprehensively and separately, which increases their versatility, provides proactive control of the BTS [55] and gives the possibility of their rational application in accordance with the principles (paragraph No. 2.1). For this, Means includes systemic-technical solutions in the form of a comprehensive application of computer programs [43, 44, 45, 46, 47] – a diagram in figure 5.2.3. examples of calculations and application of computer programs are presented in Appendix A to the dissertation.

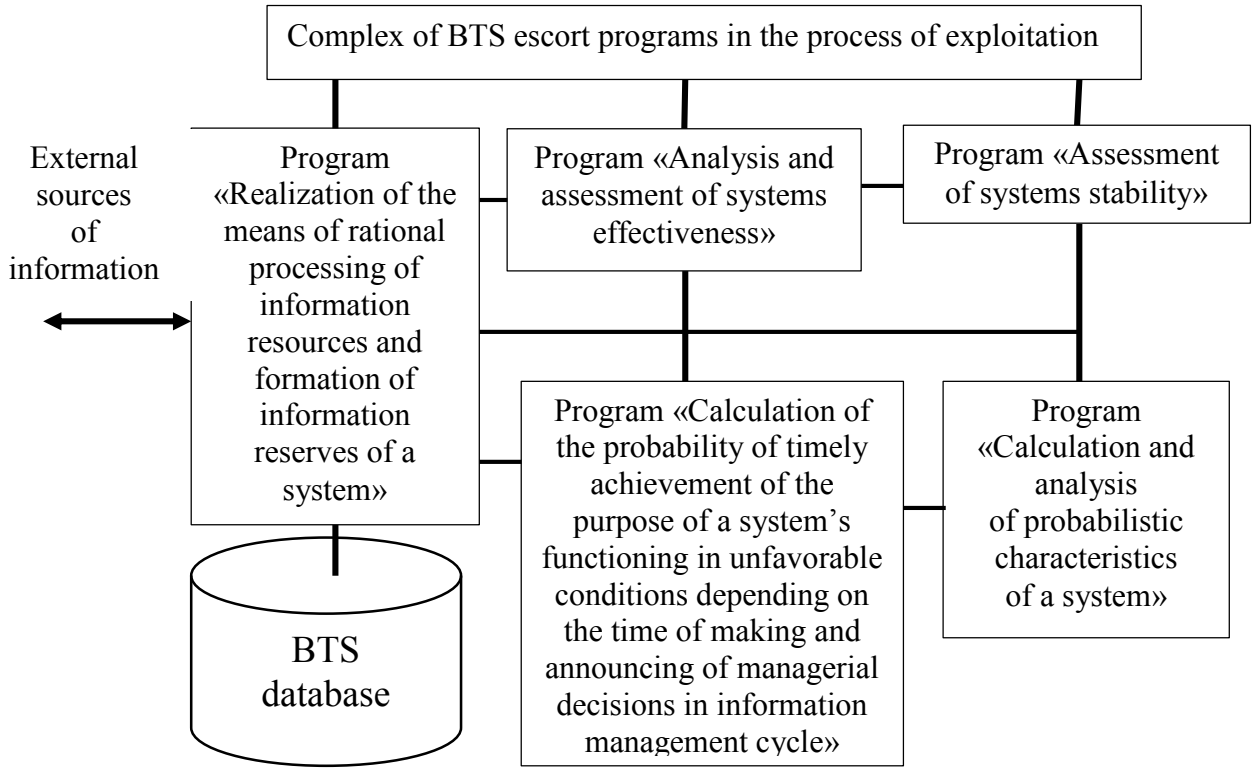


Figure 5.2.3. The structure of the developed complex of computer programs

In Means, the scheme in figure 5.2.3 is implemented by specially designed and registered software. Programs are designed on the basis of programming languages C#, Python, JavaScript, HTML and have a volume of 275 KB to 2.13 MB. In the complex (fig. 5.2.3) programs perform the following set of interconnected functions:

The program “Assessment of systems stability” [47] performs the calculations of the values of quality indicators that affect the stability of organizational and technical systems: stable functioning time, resources, number of elements, number of personnel, labor costs, malfunctions, restoration system capabilities and restoration results. Reports are formed in the form of tables, graphs and diagrams in the format of Word documents. Visualization of the results in real time.

The program “Calculation of the probability of timely achievement of the purpose of a system’s functioning in unfavorable conditions depending on the time of making and announcing of managerial decisions in information management cycle” [43] allows calculations based on the use of experimentally obtained data.

The program “Calculation and analysis of probabilistic characteristics of a system” [44] allows you to calculate the probability of failures (malfunctions) of the set number of system elements and cumulative probability depending on the total number of elements in the system; Construction and comparison of graphs and tables, as well as their preservation and export to Word and (or) in Excel.

The program “Analysis and assessment of systems effectiveness” [46] allows you to compare the systems (periods of time) according to the result and (or) indicator of the functioning of the systems, as well as in the ratio of spent resources and result. It is possible to form reports in the format of documents in Word format, as well as to visualize the results in real time.

The program “Realization of the means of rational processing of information resources and formation of information reserves of a system” [45] ensures the search for information, as well as the formation of the information reserves of the system according to the required subject area, consisting of a database that contains the most often demanded information and archive, in which more detailed information is placed on a given subject area.

Thus, the Means and the computer program [45], developed as the most important independent element of the practical part of the study, additionally allows the following private tasks:

- a significant decrease in labor costs and the time of routine operations of collecting and processing information in the process of quality assessment;

- the formation (replenishment) of IR and maintaining them in the current state;

- systematization of large amounts of information in IR BTS [90, p. 55];

- a significant reduction in the time to search for information, the number of appeals and the time of access to the information resources of the Internet;

- maintaining the database (registers) of information sources (table 5.2.1 - 5.2.4), including experts, and their ranking, depending on the number of appeals and usefulness (reliability and relevance) of the information received;

- a decrease in the negative consequences of the redundancy of information;

- counteraction to the input of false information;

- a decrease in the number of information cycles and the time of their implementation, which as a result will ensure a significant reduction in the time of preparation and decision-making.

The essence of Means is that when collecting and processing information, actions are performed in accordance with the scheme in figure 5.2.4. Information and applied software are systematized in IR BTS (fig. 5.2.6).

IR consist of the database of the main information about the system and archive (fig. 5.2.6). IR BTS (fig. 5.2.4) are formed from the following interconnected IR:

- technical systems that are part of the BTS (communication systems and ACS, life support systems, power supply systems, etc.);

- exploitation and technical support BTS;

- information about the stability of the BTS in adverse conditions;

- regulatory legal acts and regulatory documents necessary to ensure the functioning of the BTS (system) [33, 35];

- methodological support, mathematical and software as part of the analysis and evaluation of systems, recommendations, computer programs used by officials during the exploitation of the BTS, including methods and means developed in the dissertation [33].

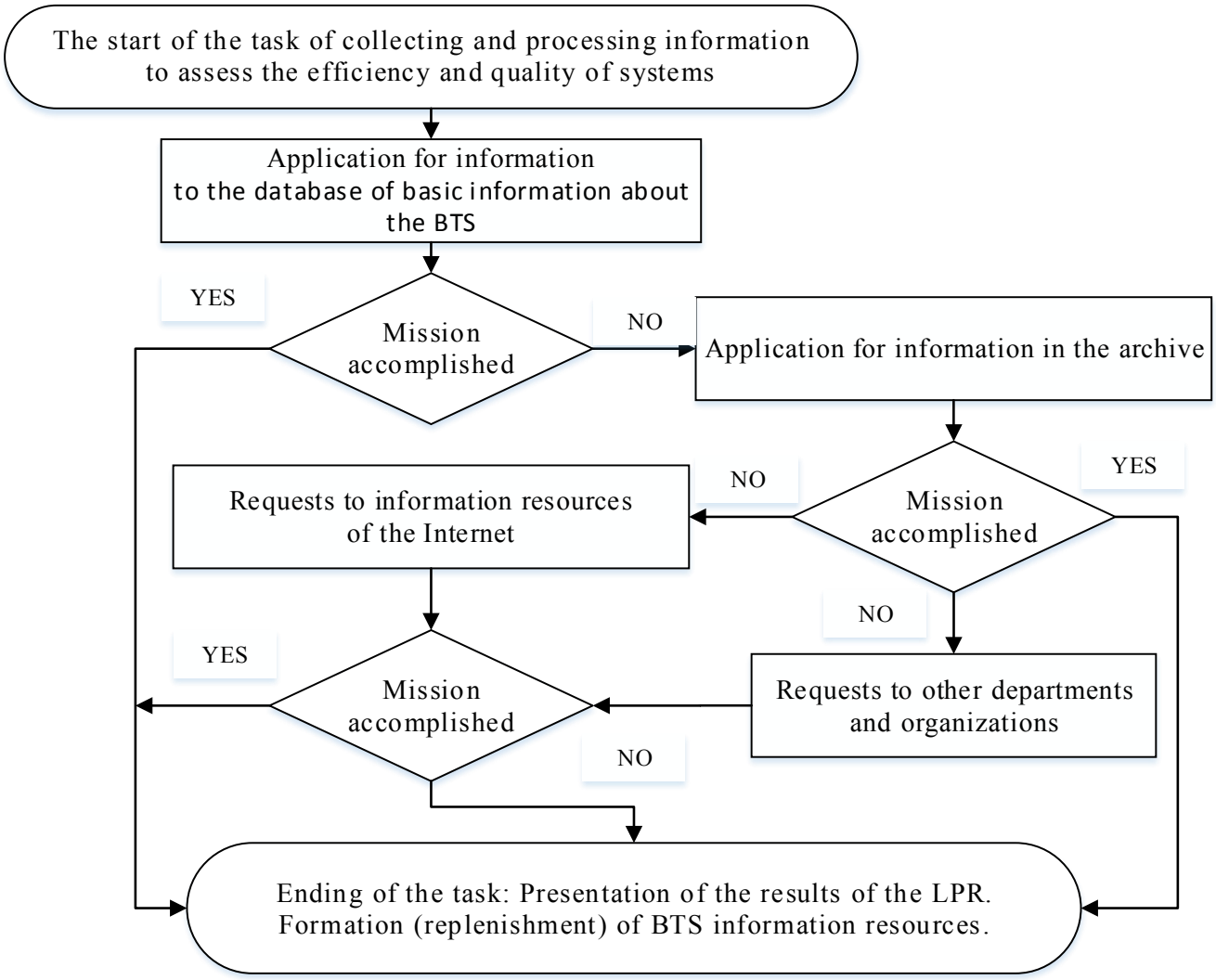


Figure 5.2.4. Means algorithm diagram of rational work with information resources of BTS

The content of the information reserves of the system:

1. The database of the main information about the system.

It contains the most often requested information in the form of text documents containing brief information on the question of interest.

Types of documents: reports, reports, conclusions based on the results of evaluation of effectiveness and quality, system ratings, information about stability, extract, certificates, etc.

Documents in the database of the main information about the system contain links to information in the archive (example – figure 5.2.5).

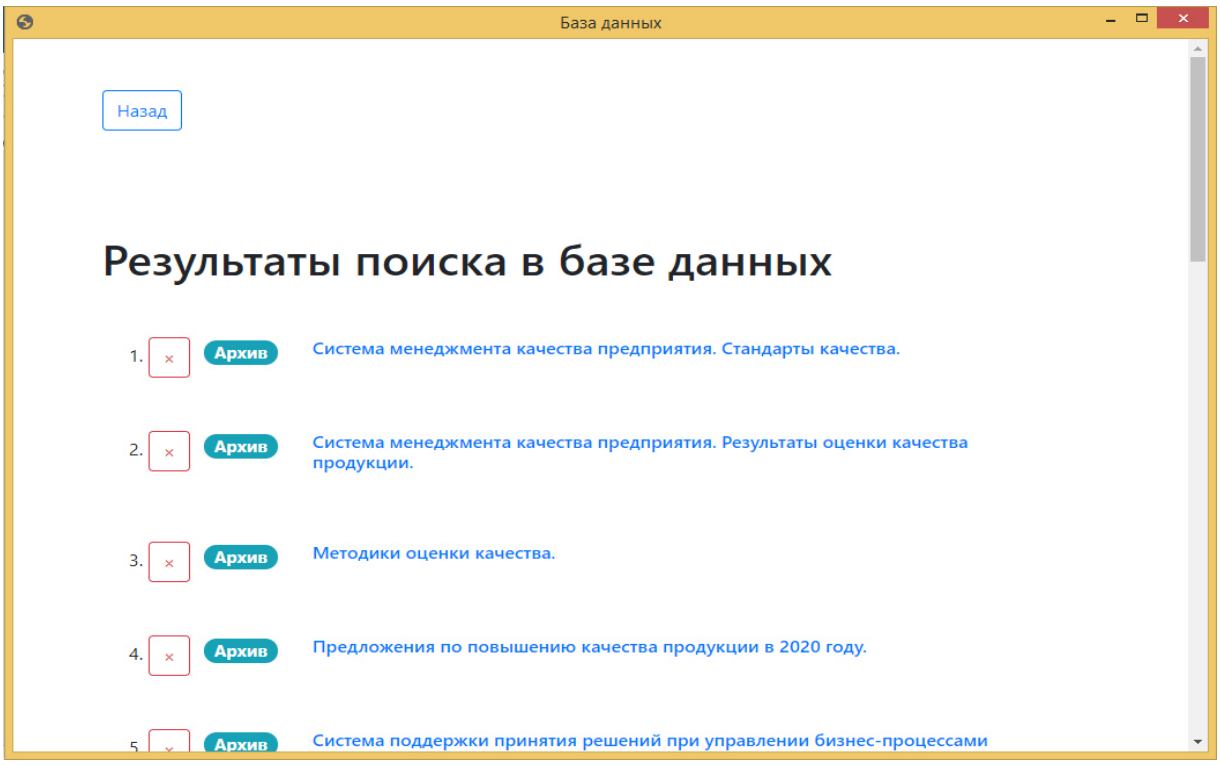


Figure 5.2.5. An example of a computer program:
search results in the database

2. Archive.

Contains all available information about the system in the form of text documents, templates for execution of service documents, tables, graphs, drawings, photographs, audio and video files, databases of sources of information (table 5.2.1 - 5.2.4), etc.

Files in the archive contain links to sources of information contained in these files. Typical forms of database (registers) of sources of information contained in the IR archive are presented in the form of tables 5.2.1 - 5.2.4.

The algorithm for the formation and maintenance of register of information sources in the internal information resources of the BTS is presented in figure 5.2.7.

In accordance with this, the accounting objects in the database (registers) of information sources are structured and unstructured data of internal (I_{vn}) and external (Ivnes) sources of information, internal (E_{vn}) and external (E_{vensh}) experts and a number of other objects that can be described through many parameters and present in the form [40]:

a) the totality of many sources (I) and experts (E) in the form:

$I = \{I_{vnk}, I_{vnes1}, k = 1, k; l = 1, L\}$,

$E = \{E_{vni}, E_{vnoshj}, i = 1, I; j = 1, J\}$,

where E_{vnk}, I_{vneshl} – many data templates on sources; E_{vni}, E_{venshi} – many data templates on experts; k, l, i, j – the number of template forms in subject areas (technical systems, products) component and BTS in general;

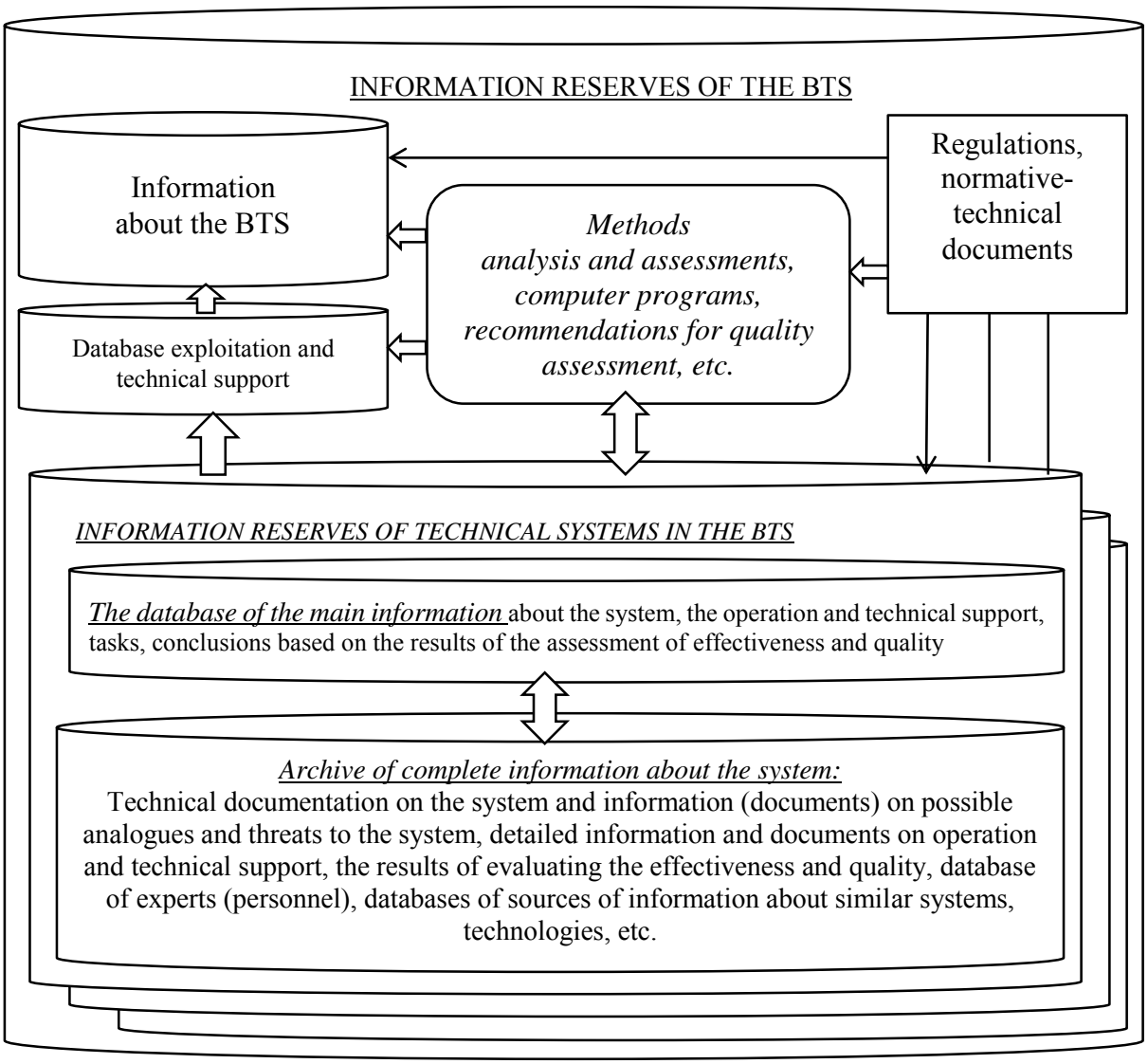


Figure 5.2.6. Scheme of the system information reserves scheme

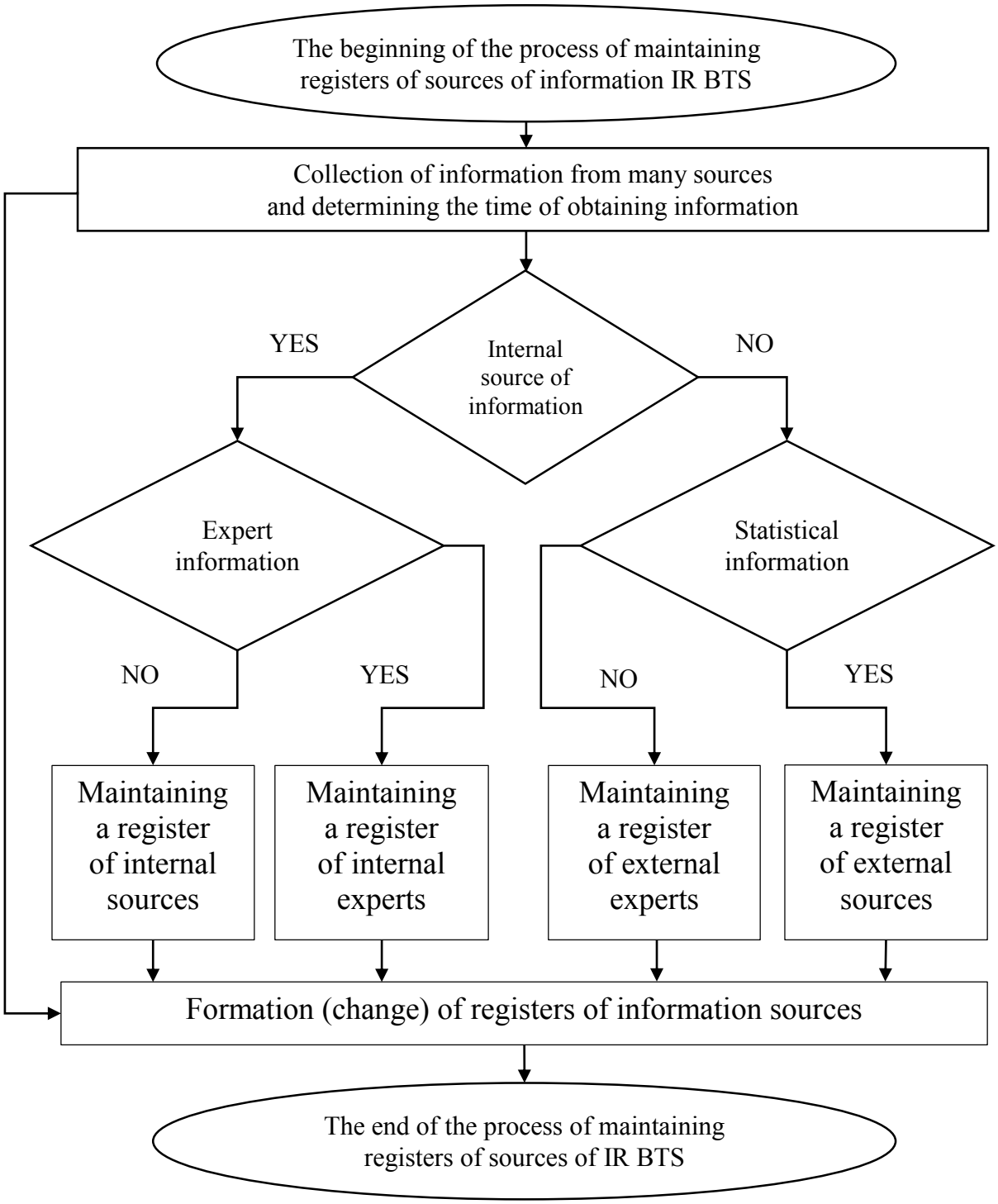


Figure 5.2.7. Scheme of the algorithm of formation and conduct registers of information sources in IR BTS

b) template forms of the following structure:

$$I_{vn} = <P_{ivn1}, P_{ivn2}, P_{ivn3}, Pi_{vn4}, P_{ivn5}, P_{ivn6}>,$$

where P_{ivn1} is the name of the source (file, keyword); P_{ivn2} – place in the database of the main information; P_{ivn3} – place in the archive; P_{ivn4} – history of appeals; P_{ivn5} – the number of calls; P_{ivn6} – assessment of utility;

$$I_{vnesh} = <P_{ivnesh1}, P_{ivnesh2}, P_{ivnesh3}, P_{ivnesh4}, P_{ivnesh5}, P_{ivnesh6}, P_{ivnesha7}>,$$

where $P_{ivnesh1}$ is the name of the source; $P_{ivnesh2}$ – Internet address; $P_{ivnesh3}$ – other sources; $P_{ivnesh4}$ – history of appeals; $P_{ivnesh5}$ – the number of appeals; $P_{ivnesh6}$ – assessment of utility; $P_{ivnesha7}$ – access rules;

$$E_{vn} = <P_{evn1}, P_{evn2}, P_{evn3}, P_{evn4}, P_{evn5}, P_{evn6}, P_{evn7}, P_{evn8}>,$$

where P_{evn1} is the place in the ranking; P_{evn2} – position; P_{evn3} – surname, name, patronymic; P_{evn4} – education, achievements in work; P_{evn5} – work experience; P_{evn6} – number of appeals; P_{evn7} – utility assessment; P_{evn8} – communication methods;

$$E_{vnosh} = <P_{evnsh1}, P_{evnsh2}, P_{evnsh3}, P_{evnsh4}, P_{evnsh5}, P_{evnsh6}, P_{evnsh7}, P_{evnsh8}>,$$

where $P_{evnesh1}$ is a place in the ranking; P_{evnsh2} – position, place of work; $P_{evnesh3}$ – surname, name, patronymic; $P_{evnesh4}$ – education, achievements in work; $P_{evnosh5}$ – work experience; P_{evnsh6} – number of appeals; P_{evnsh7} – evaluation of utility; P_{evnsh8} – links to sources expressing the opinion of the expert (tables 5.2.1 - 5.2.4).

Table 5.2.1

Register of internal sources of information in the information reserves of the system _____

(name of the subject area, technical system (products))

Source name (file, keyword)	Place in the information reserves of the system		The history of appeals	The number of calls	Evaluation of utility
	Basic data database	Archive			
…	…	…	…	…	…

Table 5.2.2

Register of external sources of information

_____

(name of the subject area, technical system (products))

Source name	Internet	Other sources	The history of appeals	The number of calls	Evaluation of utility	Access rules
…	…	…	…	…	…	…

Table 5.2.3

Register of experts from among the employees of the company

_____

(name of the subject area, technical system (products))

Place in the ranking	Job title	Full name	Education, progress at work	Work experience	The number of calls	Evaluation of utility	Communication methods
…	…	…	…	…	…	…	…

Table 5.2.4

Register of external experts

_____

(name of the subject area, technical system (products))

Place in the ranking	Job title, place of work	Full name	Education, progress at work	Work experience	The number of calls	Evaluation of utility	Links to sources expressing the opinion of the expert
…	…	…	…	…	…	…	…

The implementation scheme of the Means of the rational organization of the collection and processing of information is presented in figure 5.2.4. In this scheme, routine tasks for collecting and processing information are solved sequentially in two stages [40]. The first stage is work with Ir BTS: the problem is solved by referring to IR (fig. 5.2.6). In this case, the request first comes to the database of the main information about the system (fig. 5.2.4), and then to the archive. In most cases, the LPR (officials) satisfies the answer from the database of the main information about the system. Otherwise, as indicated above, there is an appeal to the archive.

When performing the task at the expense of IR BTS, the work ends with the completion of the first stage. In this case, the information reserves of the system are replenished with information about the completed task.

The second stage is an appeal to external information resources [20, p.121].

If in the information reserves of the system there is no need for the necessary information, then further, by decision of the official (LPR), information is searched for information in the information resources of the Internet, and (or) the request is sent to other departments and organizations.

Similarly, in the case of the task, in the case of the task, the system information reserves are replenished with information about the task performed in the form of adding new information to the database and (or) new information – an example in figure 5.2.8.

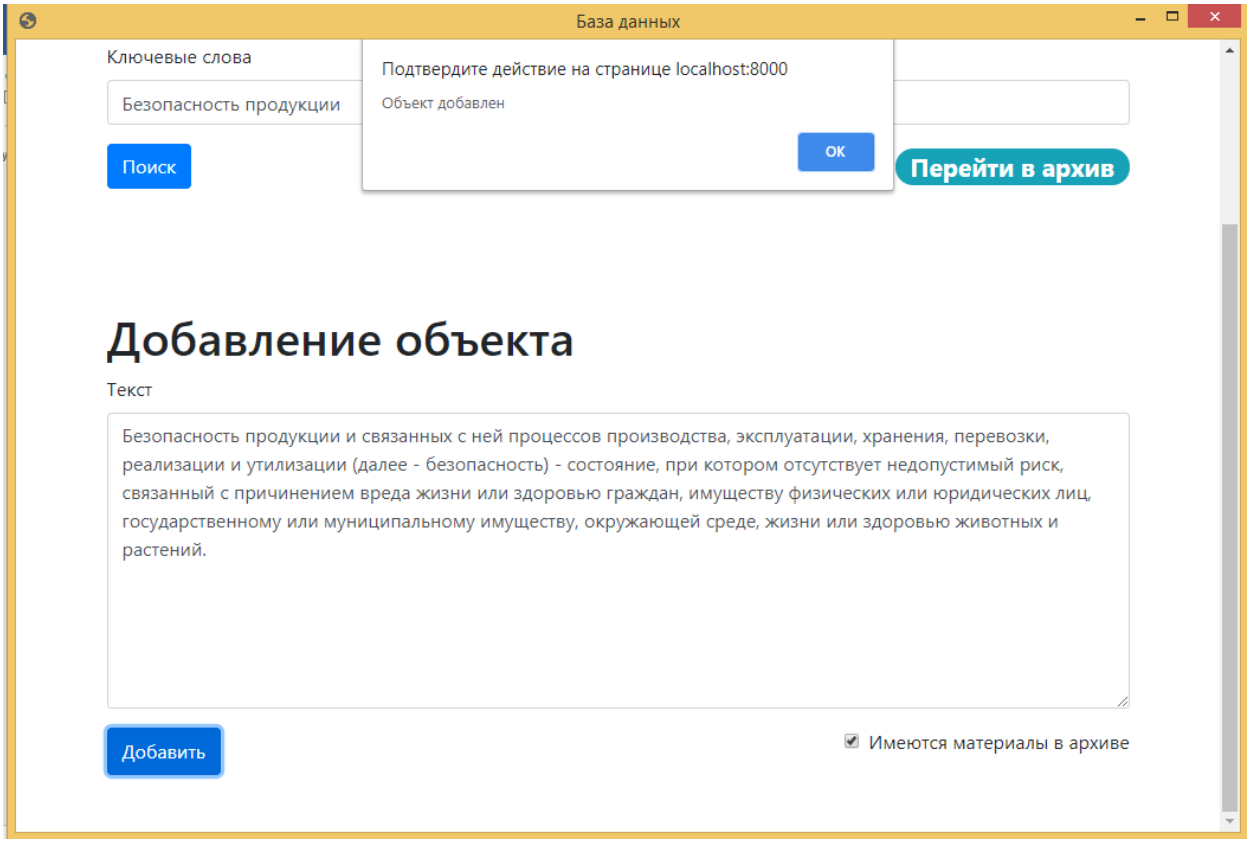


Figure 5.2.8. An example of working with a computer program: adding information to the database and archive

Otherwise, the corresponding official is notified of the unfulfilled task. Next, the information reserves of the system are replenished with information about an unfulfilled task. This information includes the following information: the content of the task, the time of execution, the reason for the non-fulfillment, references to sources of information (experts) that were used (involved) when performing the task.

Removal of information in IR occurs according to the same scheme as the addition of BTS to the IR system.

Models and method (fig. 5.2.9) allow us to more rationally use technologies with great data that are stored and processed using cloud servers and distributed computing power. Thanks to this, using computer networks with IR BTS, a significant number of users who are at a significant distance from each other – in various cities of the country can work at the same time.

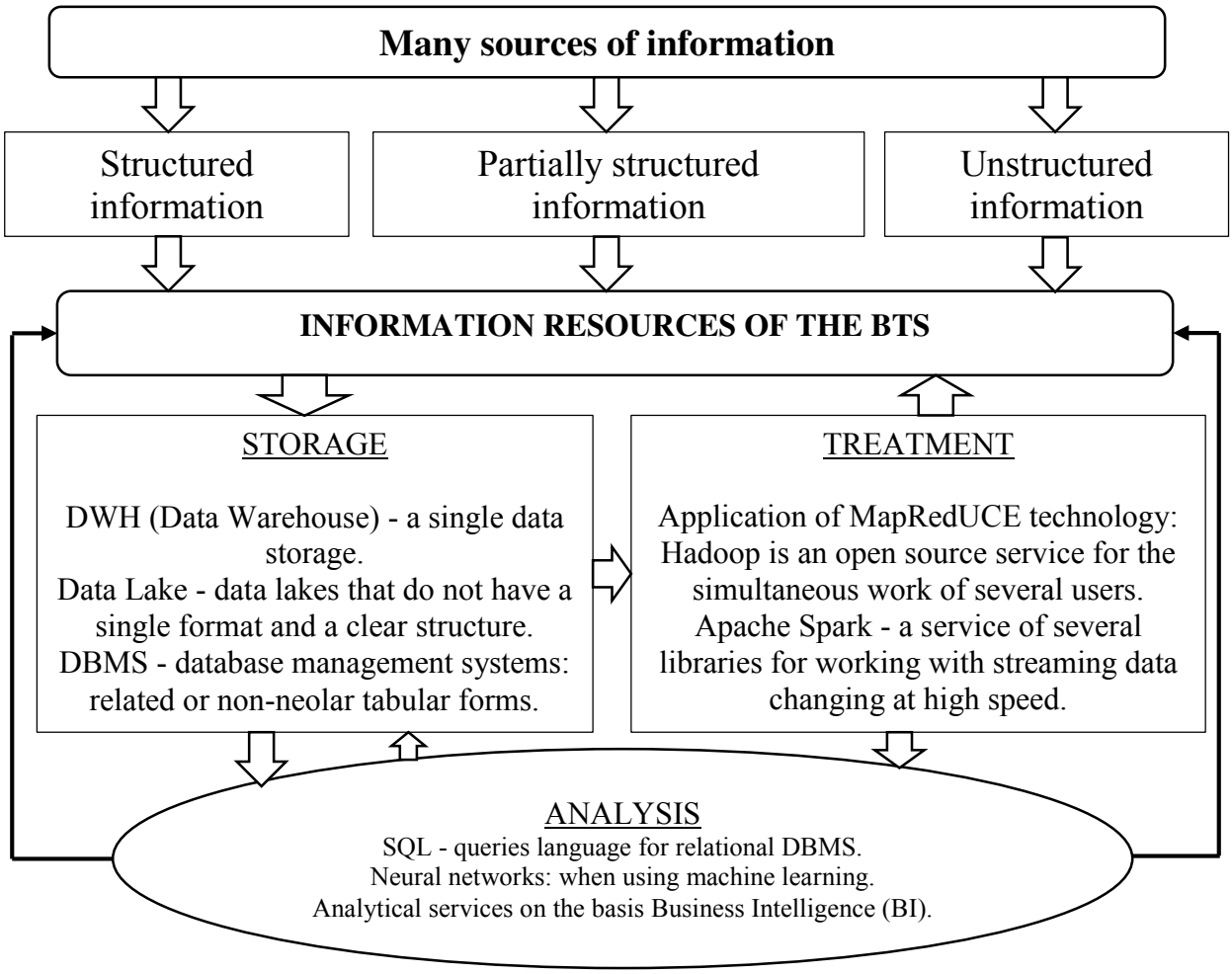


Figure 5.2.9. Formation, storage, processing and analysis of information in IR BTS using technologies for working with big data

In this case, the use of algorithms for working with information resources and registers of information sources (Fig. 5.2.4 and 5.2.7) create the prerequisites for a significant reduction in the peak load on data transmission systems, which can cause the

simultaneous use of analytical services (fig. 5.2.9) To develop interactive graphic reports and presentations, for example, for example, Power Bi Microsoft, which collects data from CRM, Excel Tablits and other sources of information.

In this regard, it is important to note that computer program [45] can function as a cross-platform application that makes it possible to distinguish between users access to information sources, including the Internet.

Programming language: Python, JavaScript. Program volume: 275 KB.

The main positive effect of the introduction of Means and computer programs [45] is a decrease in the time and costs of resources to search for information to assess the quality of systems and prepare managerial decisions.

It is important to note that in practice, Means and a computer program show their maximum efficiency when jointly using a comprehensive methodology for evaluating the quality of technical systems due to the simplicity of interfering in the archive of interconnected cells of the methodology (paragraph No. 4.2 of the dissertation) and database (registers) of information sources (tables 5.2.1 - 5.2.4), which gives the possibility of the most rational organization of assessment of the quality of systems in the process of exploitation [55].

In addition, the developed Means and the computer program give the LPR and the officials of the governing bodies the ability to effective use of discursive analysis [23, p. 223-224] with the aim of the most rational organization of information support of operation management and BTS.

In practice, this circumstance additionally enhances the possibility of applying the presented methods and means to achieve the goal of dissertation research, which prove the results of the implementation of methods and Meanss presented in the next paragraph No. 5.3 of the dissertation.

Thus, Means (computer program) is a new scientifically based technological solution (a computer for computers – technical solution) in the field of increasing the efficiency of control of BTS.

5.3. Analysis of the results of the implementation of the methods and means and recommendations for their application

The introduction of methods and means was organized in experimental groups (hereinafter – EG), as organized aggregates of personnel and technical means, including communications and ACS. The tasks of the EG included the exploitation of the systems, staff training, the quality assessment of systems and (or) the preparation of managerial decisions. Based on the acquired acts of introducing the results of the dissertation research (Appendix B to the dissertation), the assessment of the results of the implementation of methods and means in the EG was carried out by comparing with the results of control groups (hereinafter – KG), in which the methods and means were not used. The EG and KG had the same composition, solved the same problems in the same conditions.

At the disposal of the EG and KG were the same resources and the same quality and the number of these resources. At the same time, it was determined that in order to most fully achieve the purpose of the study, the quality assessment was carried out in relation to systems that have a significant number of analogues and, accordingly, to assess their quality in the EG and KG, it was necessary to use a large number of public information from various sources, including the network Internet.

For the most objective assessment of the results, the implementation took place in accordance with the principles (paragraph No. 2.1) in three directions:

1. Increasing the efficiency the exploitation and the technical support systems and the BTS, which mainly reflected the author's scientific works [21, 22, 59, 62, 63, 64, 65].

2. Improving the quality of R&D to create and modernize systems.

It was described in the scientific and educational and methodological works of the author [22, 23, 49, 58, 61, 81, 83].

3. Improving the quality of personnel training in the field of exploitation and the systems that are part of the BTS was implemented in collections of works of scientific conferences and in the educational and methodological works of the author [54, 56, 57, 60, 74-83].

In all three directions, the main positive result was that, in the context of an increase in the volume of information used (the amount of information on computers and servers, the EG increased by 73 - 78%) the quality assessment time (preparation of reports) and the adoption of managerial decisions based on the results of quality assessment decreased by 16.5 - 17%.

The introduction of methods and means made it possible to significantly reduce the time for evaluating the effectiveness and quality of systems and, as a result, the time of adoption of managerial decisions, as well as the operating time of automated workplace (ARM) and communications for these purposes, decreased (fig. 5.3.1 and fig. 5.3.2).

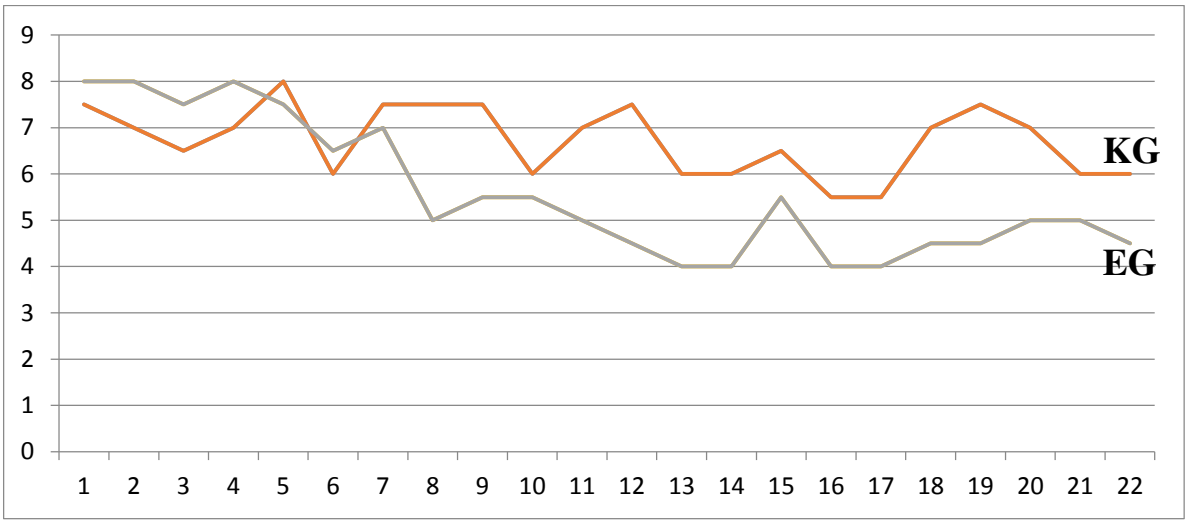


Figure 5.3.1. Schedules of the operating time of local computer network to assess the quality of systems and making managerial decisions, for a month (22 working days for 8 hours)

The average value of the winnings in the time of adoption of management decisions in three areas of application of methods and means in the EG compared to the KG amounted to 16.892 % – the schedule in figure 5.3.1. At the same time, the operating time of one ARM in the EG compared to the KG decreased on average by 01 hours 09 minutes in one 8-hour working day, that is, there was a significant decrease in resource consumption for the exploitation of communications and ACC.

Thus, we can conclude that the development and implementation of methods and means is one of the most important and most rational ways to achieve the goal of research.

The purpose of the dissertation has been achieved. The hypothesis is confirmed.

However, it is important to note that 10 working days after the introduction of methods and means on average, by 1.74 times (by 74%, that is, on average by ARM from 25.2 GB to 43.848 GB), the amount of information stored in memory of PC and EG servers in all three areas of application of methods and means.

In the future, this increase took place slightly, almost the same as before the introduction of methods and means. Such a sharp increase in the amount of information stored in the memory of the PC and EG servers took place due to the formation of the main information reserves. For the same reason, in the first five working days in the EG, the time of completion of the tasks of collecting and processing information, which is reflected on the schedule (fig. 5.3.1) increased.

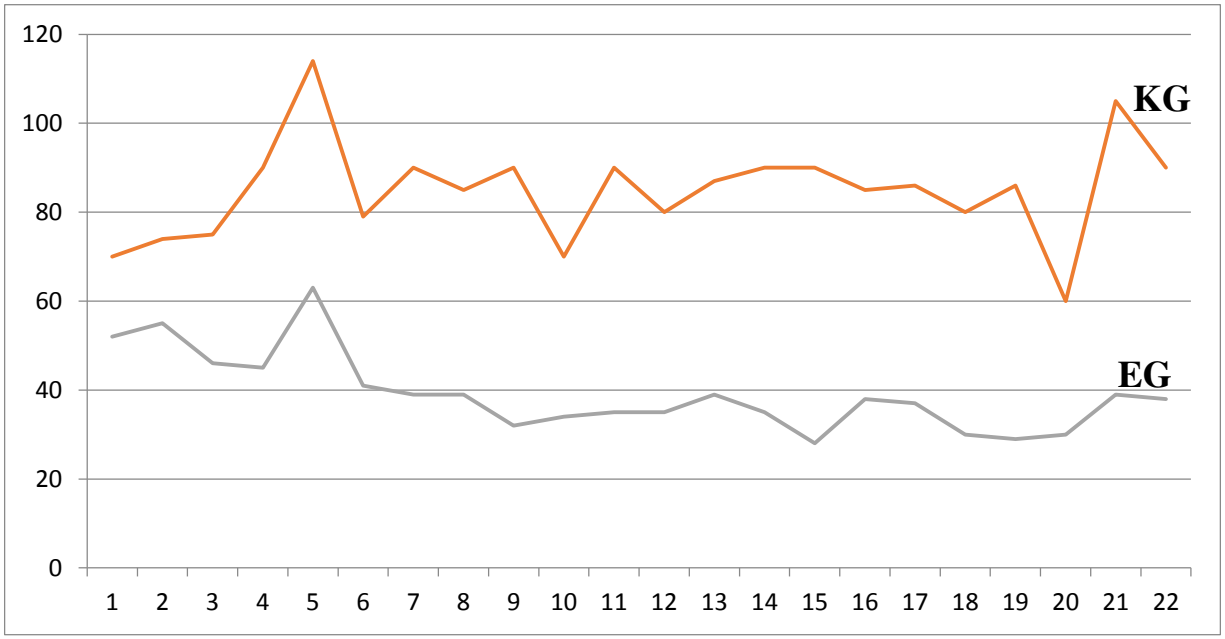


Figure 5.3.2. Graphs of the Internet access time from ARM, designed to process non -confidential information in a local computer network with Internet access, for a month (22 working days for 8 hours)

At the same time, within 15-20 business days after the start of the implementation of methods and means, there was a reduction in the Internet access time by an average of 46% (from 84.8 minutes to 39 minutes). In the future, the time of working on the Internet did not decrease and amounted to an average of 39 minutes on ARM, which has access to the Internet, for one working day (shift) 8 hours – a graph in figure 5.3.2.

It is important to note that the positive effect on ARM, designed to process confidential information, was much smaller and amounted to an average of 11.364% a decrease in managerial decisions – a schedule in figure 5.3.3.

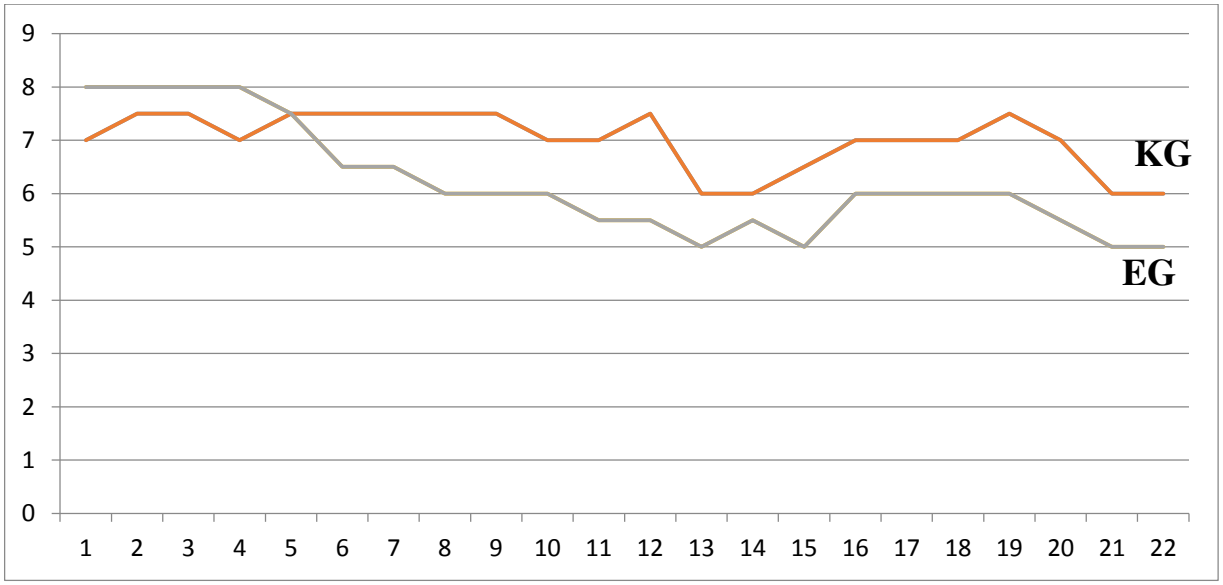


Figure 5.3.3. Schedules for making management decisions and the exploitation of ARM, designed to process confidential information, for a month (22 working days for 8 hours)

The operating time of one ARM, designed to process confidential information, in the EG, compared with KG, decreased an average of 47 minutes in one 8 -hour working day. A decrease in a positive effect when using confidential information is explained by compliance with information security requirements.

Accordingly, the ARM data did not establish a computer program developed by the author, implementing methods and a method. Therefore, all calculations were carried out in the Excel program, allowed for use on ARM data.

The most important positive effect of the introduction of methods and means is to significantly reduce the time for making the correct management decisions in the process of exploitation and technical support. This, in turn, reduces the likelihood of the failure of the system (element) ($P(1)$), which, accordingly, increases the likelihood of achieving the goal of the functioning of the BTS (system) in adverse conditions, that is, increases the stability of the BTS – example, graph in the figure 5.3.4. The formulated circumstance substantiates the practical significance of the dissertation research.

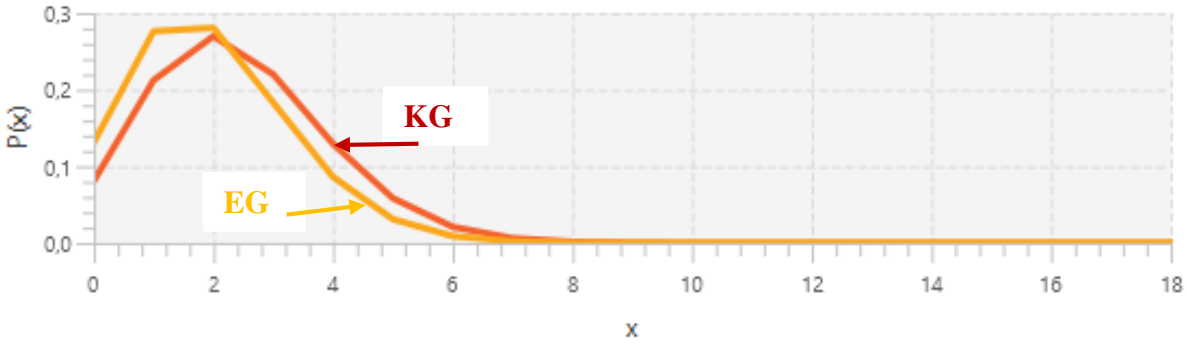


Figure 5.3.4. Distribution of failure of failure x systems of BTS depending on $P(1)$ in KG and EG

For example, the graph shows the probability of failure of a given number of one type of systems. In KG: $P_{KG}(1) = 0{,}086$ – before the introduction of methods and means. After introducing, the probability of failure of one system of this type decreased by almost 0,016 and amounted to $P_{EG}(1) = 0{,}07$. This happened by making the right decisions in the field of operation and then in a shorter time. With the simultaneous failure of 8 such systems, the purpose of the BTS will not be achieved. Therefore, in KG, the probability of achieving the goal was:

$$P_p = 1 - P_{KG}(8) = 1 - 0{,}0015 = 0{,}9985.$$

In the EG, the probability of achieving the goal has increased and was:

$$P_p = 1 - P_{EG}(8) = 1 - 0{,}0004 = 0{,}9996.$$

That is, due to the application of methods and means of winning in the probability of achieving the goal of the system, it was $\Delta P_p = 0{,}0011$.

In addition, the achievement of this result is largely due to the fact that the methods and means allow us to provide timely correct choice for the quality indicators of the best systems, products, devices, spare tools and supplies and consumables for operation and technical support. This circumstance in the process of exploitation and technical support is an important condition for the rational organization of BTS resource management, which is generally confirmed by the results of modern scientific research [201, 215, 217].

As was considered in the first chapter of the dissertation, the BTS studied is hierarchical systems [58, 91, 97, 121, 205]. The effectiveness of these systems largely depends on the operational of management [97, 121, 209, 216]. This statement is confirmed by the fact that the introduction of methods and means has led to saving budget funds in the process of exploitation and technical support in the EG by an average of 2.4% more than in KG with the same achieved results of the functioning of systems in one quarter (3 months) – figure 5.3.5.

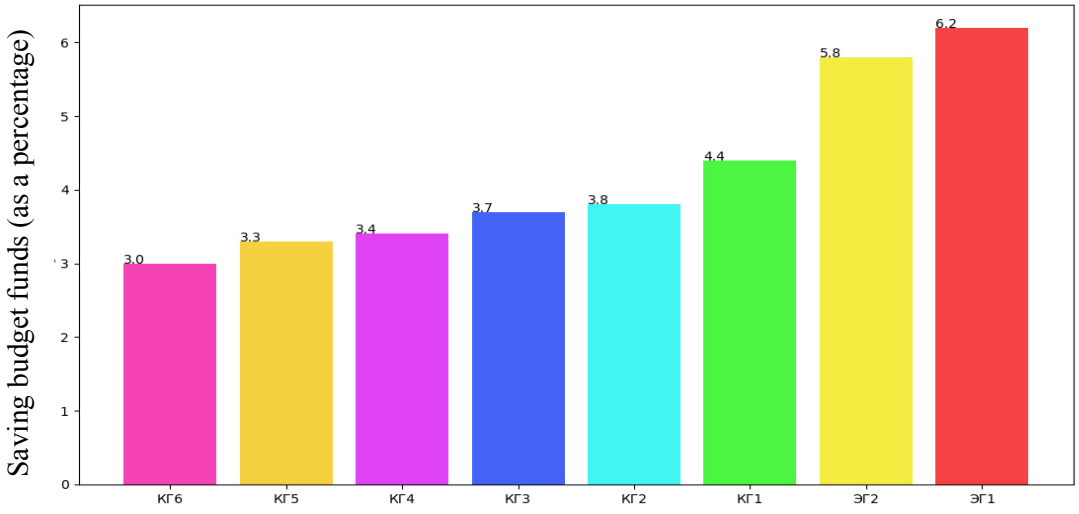


Figure 5.3.5. Saving budget funds during the exploitation and technical support of systems in the EG and KG in the first direction of application of methods and means

At the same time, the use of formulas (3.1.9) and (3.1.10) allows us to evaluate significant savings in the EG for the preparation and conduct of practical classes and business games using various hardware and software complexes. At the objects of informatization and communication for 5 years of operation, depending on the type of systems, savings can be from 1560 thousand rubles to 28422.4 thousand rubles [78, 79].

In addition to figure 5.4.5, it is important to note that for the same EG and in the same EG, the first direction of application of methods and means on average by 16.7% decreased labor costs per employee of the organization's governing bodies [78, 79].

These labor costs take into account the preparation and design of managerial decisions, reports, reports and certificates based on the results of the quality assessment of systems in the process of exploitation – figure 5.3.6.

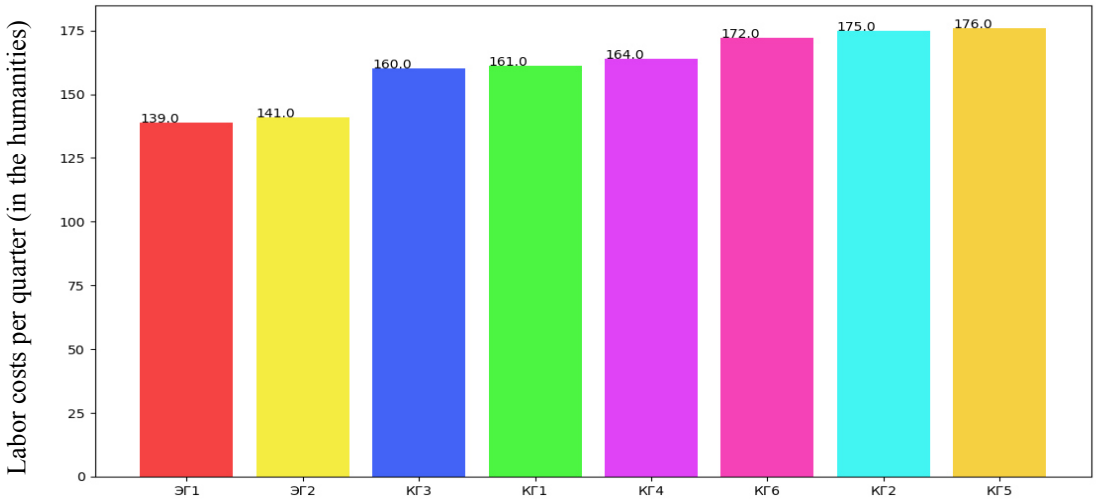


Figure 5.3.6. The average labor costs of one employee in the EG and KG for the preparation of managerial decisions, reports, reports and certificates based on the results of the quality assessment of systems in the process of exploitation

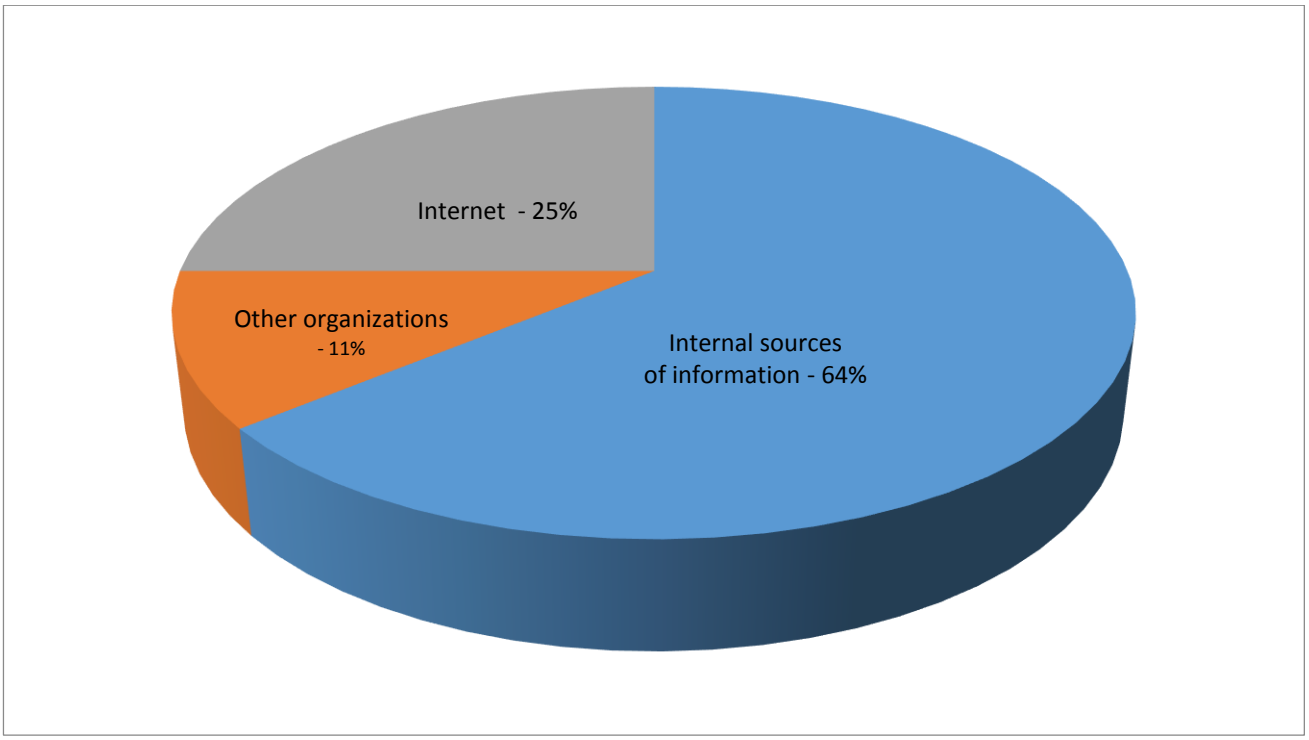


Figure 5.3.7. The distribution diagram of calls to information resources for answers to requests and solving information collection and processing problems before the introduction of methods and means

Another result of the implementation of methods and means was a significant change in the distribution of appeals to information resources for answers to requests and solving the problems of collecting and processing information (figures 5.3.7 and 5.3.8).

The analysis of the diagrams in these drawings shows that the number of appeals to internal information resources (information reserves of the system) has increased by 15% with a sharp reduction in the number of appeals to external sources of information. It is important to note here that partly due to this fact there was a decrease in the time for assessing the quality of systems. In the future, these conditions can contribute to the formation of additional integration reserves for increasing the efficiency of proactive control of the BTS [21, 51].

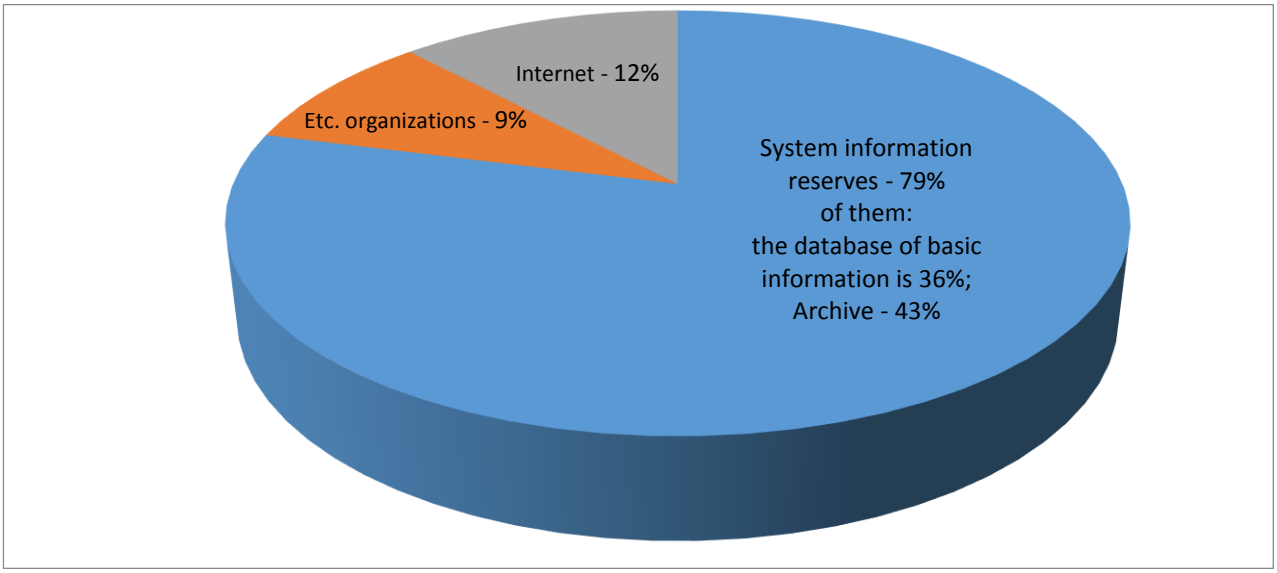


Figure 5.3.8. The distribution diagram of calls to information resources for answers to requests and solving information collection and processing problems a month after the introduction of methods and means

There was a decrease by 13% of appeals to the sources of information on the Internet and by 2% – to other organizations – figure 5.3.8.

In addition to the above analysis, it will be advisable to systematize the results of the implementation of methods and means during the operation of the BTS, from the point of view of the influence of information processes on the effectiveness of the functioning of the BTS (table 5.3.1).

To do this, it is rational to perform the following actions using information from acts of implementation of methods and means (Appendix B dissertation):

- introduce the BTS in the form of an information system;

- determine interconnected information processes on which the introduction of methods and means had a significant impact;

- give characterization to these information processes;

- for each information process, concludes about the impact of methods and means on the effectiveness of the functioning of the BTS (table 5.3.1).

Table 5.3.1

Systematization of generalized information about the results of implementation methods and means in the information system

№ p/n	Взаимосвязанные информационные процессы	The main characteristics of information processes		The impact on the effectiveness of the functioning of BTS is positive / negative
		before the introduction of methods and means	Added after implementation methods and means	
1	Adoption and justification of management decisions	Based on the opinion of LPR and technical regulations	Based the results of quality assessment and efficiency	Increasing the validity of timely management decisions / –
2	Quality control and effectiveness of technical systems	Based on the opinion of officials and LPR solutions	By decision of LPR to organize quality assessment using methods and means	Increasing the objectivity of the assessment and reducing the probability of errors / –
3	Collection (search) of information	Based on the experience of officials and the capabilities of the information system	The use of algorithms and computer programs in prepared information resources	Significant reduction in information search time / Increasing the volume of information of internal IR
4	Data processing	Based on the experience of officials and the capabilities of the information system	Using software taking into account the time factor and identifying information sources	Reduction of information processing time / Increasing the volume of information of internal IR especially in the event of new tasks
5	Registration of decisions, reports, plans, certificates and other documents	According with the requirements and solutions of LPR	Based on a given detail using software and visualization of evaluation results	Reducing time and resource expenses / –
6	Implementation of control and feedback in the information cycle of management BTS	In accordance with the requirements and solutions of LPR, the capabilities of the information system	Using methods and means, including developed software	Reducing the time of the information cycle of management, saving BTS resources / –

Analysis of the application of methods, methods and obtained results (table 5.3.1) allows you to reasonably formulate recommendations on the effective application of the developed methods and means as the most important part of the integration reserve for increasing the efficiency of the BTS in the process of exploitation (paragraph No. 1.3 and example, subsection A.3.2 of Appendix A).

1. Methods and means are most effective in assessing the quality of systems that have analogues, and information about the values of quality indicators that are available in the public domain.

2. The maximum reduction in time occurs when using models, methods and computer programs in the preparation of reports, reports, certificates and presentations based on the results of the quality assessment of BTS and systems in the process of exploitation for reporting periods: month, quarter, year, etc.

3. It is recommended to apply methods and means to select the best system (product) according to the required indicators and preparation of proposals to increase the efficiency of the BTS, by improving operation and the technical support of systems.

4. The application of methods, methods and systematized information reserves accumulated with their help reduces the time of employees of the organization's management bodies, which significantly reduces the negative consequences of frequent personnel change in the organization and appointment of employees without the required qualification level [51].

5. Obtained as a result of assessing the quality of the values of the time of sustainable functioning of the BTS (Δt_u), the time of bringing into the established operating modes, the consumption of time and resources (budget) by the types of systems for operation and technical support, the minimum required number of systems of a given type in the BTS, necessary for achieving the goal (N_{min}), stability coefficients (U), recovery time (t_v), the probability of failure of systems (element) ($P(1)$) and the probability of achieving the purpose of the functioning of the BTS (system) in adverse conditions (P_p) rationally use in the following areas:

- when determining the basic values of quality indicators for assessing the stability of the BTS and systems in its composition;

-in the preparation and substantiation of management decisions of the second type, made to improve the operation and technical support of systems;

- in the preparation of BTS personnel and to select the best BTS (systems in its composition) in the field of sustainability.

6. The use of methods and means in the decision support systems (SPPR).

Including in the SPPR BTS, operating using MAC technology, where agents are subsystems (elements) in the BTS interacting with the external environment – figure 5.3.9.

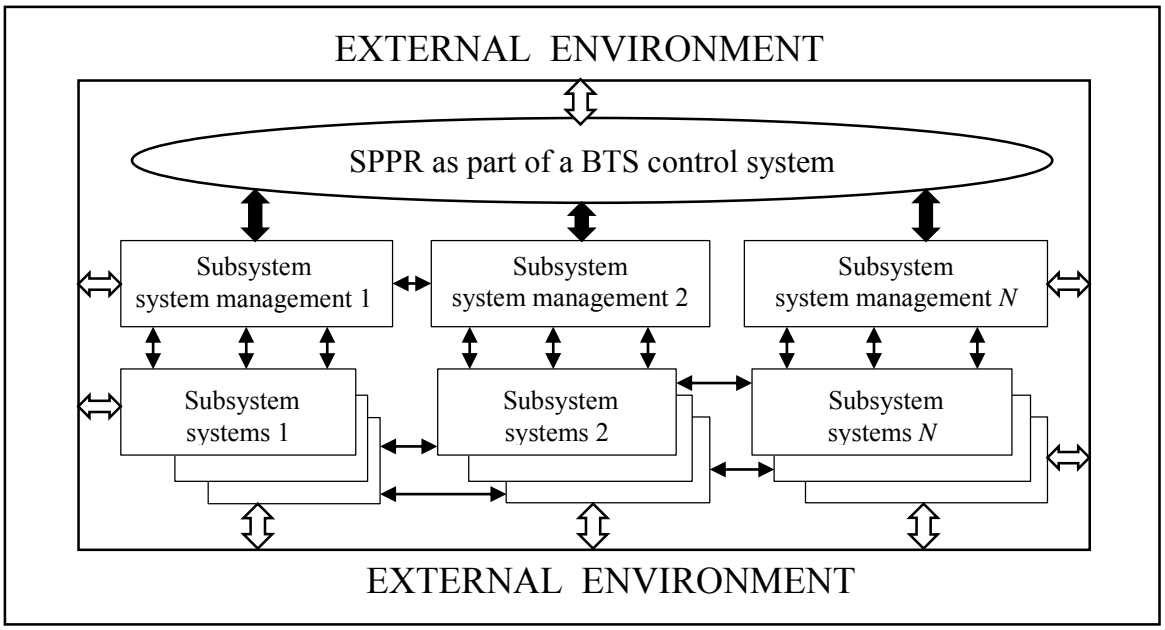


Figure 5.3.9. The decision support systems (SPPR) implementation scheme as part of a BTS management system according to the principle of MAC

In this case, the SPPR will act as a system for ensuring targeted influences, in which, through the control decisions of the LPR, measures are implemented to increase the efficiency of BTS based on the assessment of the quality of the BTS in the process of exploitation.

The place and role of the developed methods and means in SPPR (fig. 5.3.9) is determined by the fact that modern concepts of complex systems are based on the human-machine organization of BTS management processes, in which the role of decision-making is assigned to a person, and computers provide information support for the development stages and generations of alternative solutions.

In the recommended scheme (fig. 5.3.9), the results of the dissertation will help to overcome a high level of uncertainty in solving the problems of BTS management in the process of exploitation.

7. Based on the results of modeling the stability conditions of the BTS and evaluating the effectiveness, it is advisable to develop recommendations for increasing the stability of the BTS based on the specifics of its operation.

8. Methods and means can be applicable for the formation of requirements for systems (products, reserve tools and accessories, consumables, etc.) for paperwork (in technical specifications) when organizing deliveries within the framework of the state order, as well as for the development of special technical conditions applicable in the design of systems and BTS.

9. Methods and means, as well as systematized information reserves accumulated with their help, are recommended for use as educational materials in the classes for the technical training of BTS personnel and in higher educational institutions.

The basic recommendations for the development and improvement of the competencies of students of higher technical educational institutions within the framework of existing educational programs and areas of training are given in table 5.3.2 [68, p. 123].

Table 5.3.2

Recommendations for the application of methods and means in educational programs

Educational programs	Practical classes	Laboratory work	Production practice	Final qualification work (VKR)
Bachelor				
09.03.02 Information systems and technology	Assessment of the quality of software and hardware	Assessment of the effectiveness of systems and technologies	Comparison of the results of the application of communication technologies	Justification of the choice of the best telecommuni-cations system
09.03.03 Applied informatics	Assessment of the quality of software	Evaluation of software systems	Assessment of the effectiveness of the functioning of software systems	Assessment of the quality of software and hardware
11.03.02 Infocommunication technologies and communication systems	Assessment of the quality of communicatio n funds	Expert assessment of communicatio n systems and technologies	Assessment of the effectiveness of the functioning of the operator of communication	Assessment of the quality of systems and means of communication
Magistracy				
09.04.01 Computer science and computing technique	Substantiation of certain requirements of the technical specifications for the development of software systems	Justification of the basic requirements for the values of the quality indicators of software systems	Assessment of the effectiveness of the functioning of software systems	Development of software. Assessment of the effectiveness of the implementation of the results.
09.04.02 Information systems and technology	Assessment of the effectiveness of information sources	Modeling stability of communica-tion systems	Assessment of communication systems	Assessment of the effectiveness of the results of VKR
09.04.03 Applied informatics	Justification of the technical specifications for the development of software	Modeling stability of software systems	Evaluation of software systems	Development of software. Assessment of the effectiveness of the results.
27.04.03 System analysis and management	Analysis of the correlation dependence of the values of variables.	Analysis and synthesis of structural-functional models	Rational use of expert opinions	Substantiation of recommendati-ons. Assessment of system effectiveness.

In dissertation studies, the developed methodological support can be applicable for the development and improvement of qualimetric methods for evaluating the quality of objects, as well as for performing the tasks of analysis and synthesis of architecture of complex systems, modeling the dynamics of the values of system quality indicators, to assess the effectiveness of the introduction of scientific results and (or) quality assessment developed (studied) systems.

10. It is recommended to use methods and means in planning the operation and technical support of systems in the BTS, as well as in planning the use of individual systems for educational purposes in the classes to ensure the survivability of the BTS.

11. To ensure rational achievement of the goal in performing tasks in the field of system engineering and to form integration reserves to increase the efficiency of BTS in the process of exploitation (fig. 5.3.10) [68, p. 122].

The proposed mathematical apparatus is suitable for substantiating timely management solutions in the interests of ensuring a number of important practical tasks [113] in the field of implementation of modern approaches based on system engineering [110, 114, 117]:

- “Improving quality and safety, reduction or retention at the permissible level of risks and/or reducing costs (including unproductive) to the creation and operation of systems of various areas of the application” [113];

- the use of probabilistic models for predicting risks when ensuring the quality of information in complex systems (which are high accessibility systems) [114];

- to realize the use of a risk-focused approach in the life cycle of complex systems [110];

- for the development of systemic engineering, as an interdisciplinary theoretical basis of the BTS, which in the future should be “more reasonable, self-organizing, resource-efficient, safe and stable” [35, 117].

The recommended scheme for the application of methods and means as the most important part of the integration reserves of increasing the efficiency of the BTS in the process of exploitation is presented in figure 5.3.10 – an example, subsection A.3.2 of Appendix A.

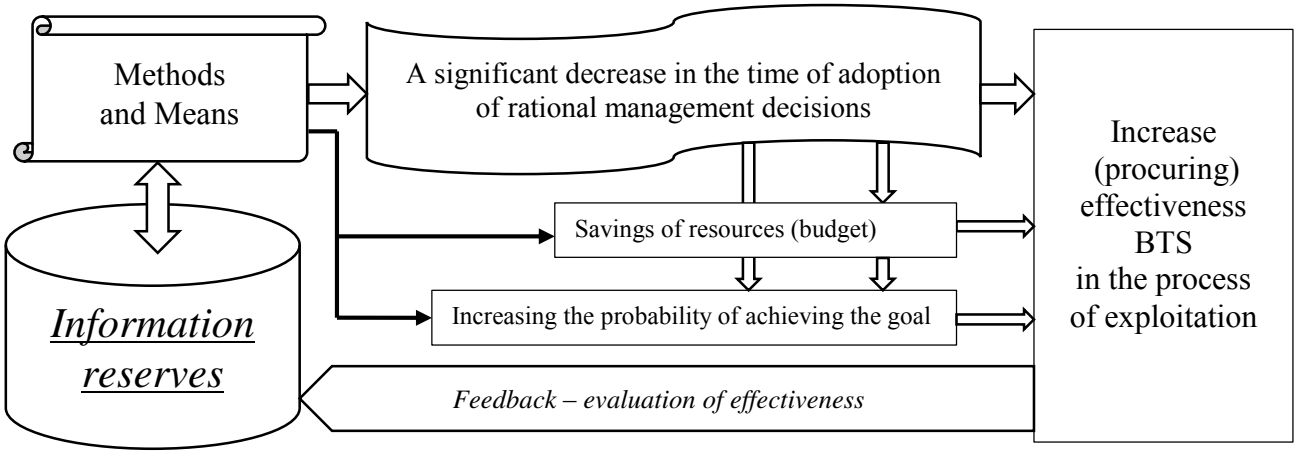


Figure 5.3.10. Scheme for the application of methods and means as an integration reserve for increasing the efficiency of BTS functioning

The dissertation research made it possible to establish that, based on the results of the application of methods and means (fig. 5.3.10), the BTS integration reserves become more accessible, systematized and significantly improve the quality of their content due to replenishment with timely, complete and reliable results of evaluating the effectiveness and quality of systems, as well as opinions of a large number of qualified experts, which can be classified according to the systems being evaluated.

Thus, the formulated recommendations will reasonably use the existing experience and the information resources (paragraph 1.1 of the dissertation) accumulated over decades of operation of the BCS in order to further strengthen the positive effect of the implementation of the results of the dissertation research.

Fifth chapter research findings

Models and algorithmic support of decision-making systems when accompanied by big technical systems in the process of exploitation they include the dynamic model of the BTS, the model of the interaction of elements, the model of system support, algorithms and the Means.

In the model of maintenance of systems in the process of exploitation, a rational scheme for applying the results of the quality assessment of systems to increase the efficiency of operation and technical support of the BTS by making timely and reasonable management decisions is proposed. The Means enhances the practical part of the work and contributes to the solution of urgent problems of information support when accompanied by systems in the process of exploitation. The developed algorithms, Means and a computer program can be applied independently as part of a system for supporting systems in the process of exploitation. The main results of assessing the implementation of methods and means prove their high practical applicability to achieve the purpose of the study. A significant decrease in the time for assessing the quality and preparation of managerial decisions based on the results of this assessment without the costs of additional resources and in the context of a significant increase in the amount of information used and the number of sources of obtaining this information.

This positive effect led to saving the budget of the operation and technical support of systems. It is important to note that a decrease in the time of adoption of management decisions increases the stability of the BTS.

Thus, the purpose of the dissertation was achieved.

The hypothesis of the study is confirmed.

Reserves to further increase the effectiveness of the implementation of the developed methods and means are in the recommendations for its application, aimed primarily at the rational use of the practical part of the study and systematic information reserves for the preparation of managerial decisions and reports for periods of operation of systems, as well as in the field of ensuring the effective functioning of the BTS.

CONCLUSION

1. It is proved that in modern conditions, the effectiveness of the BTS depends on the quality of the systems in their composition. In turn, ensuring and increasing the effective functioning of the BTS largely depends on timely and reasonable management decisions made based on the results of the quality assessment of systems in the process of exploitation. The development of modern technologies necessitates the development and improvement of the methods and means of evaluating quality, which ensures the assessment of quality using large volumes of various information from various sources.

2. To ensure the development and improvement of methods and means, as well as to set the task of research, the analysis of the subject area, analysis of quality assessment methods have been performed. The conceptual apparatus and quality assessment indicators are clarified. The analysis of the problem of research was carried out in relation to the contradictions of the exploitation of the BTS. Restrictions and assumptions have been established in the development of methods and means, taking into account the specifics of the exploitation of various BTS.

3. Based on the generalization and analysis of domestic and foreign experience in assessing quality, the principles are formulated, and methods for evaluating the quality of systems are developed and improved, as a theoretical basis for the development and implementation of models, methods, means and computer programs.

Principles allow rationally organizing an assessment and using the results of quality assessment. A method for evaluating the quality of BTS was developed by compiling the rules and formulas of subtraction of matrices, formed on the basis of constructing the basic and real structural-functional models of the BTS.

For rational software implementation of automatic information processing, the method of paired comparisons is improved. The modified DEA method is enhanced by the introduction of basic values and calculating the correlation dependence of variables, which increases the validity of managerial decisions due to a more detailed analysis of the capabilities of the BTS. To ensure the universality of the application of methods and means, as well as to take into account the specific requirements to ensure the effective

functioning of each specific BTS, the possibility of establishing parameters is provided, the reduction (increase) of which is strictly unacceptable during the exploitation of systems as part of the BTS assessed.

Based on the methods, the methodology for evaluating the effectiveness of systems was created in conjunction with the computer program "Analysis and assessment of systems effectiveness", designed for a detailed assessment of the effectiveness of systems. Using a cybernetic approach to rational assessment of the quality of the systems, a dynamic BTS model has been developed, which allows to take into account the impact of the external environment and the dynamics of the metrics space of universal indicators to assess the quality and efficiency of systems.

4. A model of supporting systems in the process of exploitation was developed and implemented as the basis for the effective exploitation of the LPR and officials for a rational organization of quality assessment and support of systems.

5. To analyze the dynamics of the process of ensuring the stability of the BTS, a model for ensuring stability was created. The developed model allows you to simulate changes in the quantitative values of the basic indicators of the quality assessment of the BTS, depending on the results of destructive influences, as well as to study the stability of systems in adverse conditions, which are not rational (impossible) to create with real exploitation of the BTS.

6. The methodology for the analysis and assessment of the processes of ensuring of the stability of BTS, together with the computer program “Assessing system stability”, implements the possibility of calculating the BTS stability coefficient, which in combination with the model for ensuring stability of the BTS provides the LPR with wide possibilities for assessing of the processes of ensuring of the stability of the systems of its functions in adverse operating conditions.

7. The methodology for assessment of the quality of components of a big technical system based on complex indicators and rules of logical output within their expert paired comparison was created and implemented. The technique allows the most rational to use statistical and expert information from various sources.

The methodology provides for the possibility of presenting the LPR of the results of the assessment in various versions that take into account the specifics of the BTS.

8. The methods for assessing the probabilistic characteristics of the effective functioning of the BTS were developed and implemented, including depending on the probability of failure of systems (elements) in their composition. Computing programs have been created, the application of which has proved the effectiveness of methods.

9. In order to increase the efficiency of quality assessment due to the most rational application of models, methods and computer programs, as well as to create a quality assessment of quality and adoption of reasonable decisions, a method has been developed together with the computer program “Realization of the means of rational processing of information resources and formation of information reserves of a system”, including a scheme for organizing rational work with IR, the original scheme for the formation of IR BTS and system-technical solutions in the form of a comprehensive application of computer programs developed by the author.

10. Assessment of the results of the implementation of the developed methods and means, as the theoretical and practical parts of the dissertation research, showed:

10.1 Development and implementation of principles and methods (theoretical part) and methods, in the form of systemic application of algorithms, models, methodology (methods), means and programs for computers (practical part), as a set of new scientifically substantiated methodological, technological and technical solutions, led to a significant reduction in time consumption and time and time resources for evaluating the quality of systems and making managerial decisions based on the results of this assessment during the exploitation of systems in the context of increasing the volume of information used from various sources.

Thus, it is proved that the development and implementation of methods and means presented in the dissertation is the most important and most rational way to achieve the purpose of the study.

The purpose of the dissertation has been achieved.

The hypothesis of scientific research is confirmed.

10.2. The introduction of developed methods and means does not require the cost of additional resources and significant time expenses for personnel training.

10.3. Currently, the developed principles, methods, models, methods, algorithms, Means and programs for computers are sufficiently universal and applicable to improve exploitation and the systems, NIOKR and for training.

10.4. Methods and means, as a set of new scientifically substantiated methodological, technological and technical solutions in the field of improving management and making managerial decisions based on the assessment of the effectiveness and quality of systems, are an important part of the integration reserves of increasing the effectiveness of the BTS and make a significant contribution to the development of the country.

The results of the dissertation research are recommended for further improvement of BTS management, for the synthesis of control structures, for rational processing of information, to ensure import substitution and technological security in the Russian Federation.

The prospects for further development of the topic of the dissertation are as follows:

- creation of a methodology for the development and improvement of BTS;

- development of methods and algorithms for increasing the efficiency of BTS functioning and reducing the risk of making an incorrect decision;

- development of models in CALS technologies and methods for solving applied problems of system engineering;

- the formation and maintenance of in the current state of IR training of highly qualified personnel for exploitation and the BTS;

- development of models of training specialists for exploitation and the systems in the BTS;

- development of ways of registering complex events (within the limits of visibility on the horizon of events) and identifying scenarios of their development in the interests of increasing the efficiency of proactive control of the BTS.

List of abbreviations and conventions

ARM	- automated workplace;
ACB	- accumulator battery;
ACS	- automated control system;
ACF	- analysis of the functioning environment;
BTS	- big technical system;
PTC	- probabilistic-temporal characteristics;
GSM	- fuel and lubricants;
DL	- officials;
ZIP	- spare tools and accessories;
KG	- control group;
MAC	- multi-agent system;
CS	- control system;
ICC	- information control circuit;
IR	- information reserves;
MIC	- management information cycle;
LPR	- decision maker;
MTS	- material and technical support;
OU	- governing bodies;
RRW	- repair and restoration work;
SPPR	- decision support systems;
CS	- control system;
SFM	- structural-functional model;
TS	- technical system;
TO	- technical support;
TSS	- technical security system;
EG	- experimental group.

BIBLIOGRAPHY

1. Abdukarimov V.I. Modeling the process of searching for quality information // Mathematical and instrumental methods of economic analysis: Quality management: Collection of scientific works of the Tambov State Technical University. Tambov, 2004. Issue 13. – pp. 31-40. (in Russian)
2. Azarov G.I. Ways to increase the efficiency of information transmission in management and communication systems. Moscow: Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of the Russian Federation, 2012. - 110 p. (in Russian)
3. Azarov G.I. Theoretical foundations of the analysis of the operation of information transmission in management and communication systems. Moscow: Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of the Russian Federation, 2012. - 80 p. (in Russian)
4. Azgaldov G.G. Practical qualimetry in the quality system: Error and error // Methods of quality management. - 2001. - No. 3. [Electronic resource]. URL: http://www.ria-stk.ru/mmq/adtail.php?id=76&spase_id=1767610 (date of appeal: 10/14/2019). (in Russian)
5. Akoff R.L. About purposeful systems. M.: Sov. Radio, 1974. - 272 p. (in Russian)
6. Aleksandrov A.Yu., Sokolov S.V. On the construction of Lyapunov's functions for some classes of nonlinear systems // Proceedings of the Middle Volga Mathematical Society. 2004. T. 6, No. 1. - pp. 69-74. (in Russian)
7. Aleksandrov A.Yu., Sokolov S.V. Sustainability and assessment of solutions of some classes of nonlinear systems // Proceedings of the Middle Volga Mathematical Society. 2005. T. 7, No. 1. - pp. 113-123. (in Russian)
8. Alyaev Yu.A., Tyurin S.F. Discrete mathematics and mathematical logic. M.: Finance and Statistics, 2006. – 361 c. (in Russian)
9. Analysis of the effectiveness of the functioning of systems / V.E. Krivonozhko, A.I. Propa, R. V. Senkov, I.V. Rodchenkov, P. M. Anokhin // Automation of

design. 1999. № 1. – pp. 2–7. (in Russian)

10. Andreeva E.A., Golyanova (Dmitrieva) O.N. The dual method in the tasks of optimal management. Tver, 2004. - 46 p. (in Russian)
11. Andrianov V.I., Krasov A.V., Lipatnikov V.A. Innovation management of information security risk (textbook) / Federal state. Educational budgetary institution Higher. Prof. Education "St. Petersburg State. University of telecommunications named after Prof. M.A. Bonch-Bruevich" St. Petersburg, 2012.-159 p. (in Russian)
12. Antamoshkin A.N. Methods of studying the effectiveness of hierarchical systems // Bulletin of SIB. state. Aerospace. un-te. 2006. Issue. 2 (9). – pp. 9–14.
13. Anfilatov B.C. et al. System analysis in management / B.C. Anfilatov, A.A. Emelyanov, A.A. Kukushkin; Ed. A.A. Emelyanova. M.: Finance and Statistics, 2002. – 368 p. (in Russian)
14. Ashmanov S.A. Optimization theory in tasks and exercises. M.: Science, 1991. – 448 p. (in Russian)
15. Baranovskaya T.P. Modeling and evaluation of organizational structures of management systems Methodical instructions for conducting practical classes of the FSBEI in the Kuban State Agrarian University. Krasnodar. 2015. – 84p. (in Russian)
16. Barsigyan A. A. Methods and models of data analysis: OLAP and Data Mining. SPb.: BHV - Petersburg, 2004. – 336 p. (in Russian)
17. Belolipetsky A.A. Economic and mathematical methods: Textbook for studio. Higher. textbook. establishments. M.: Academy, 2010. – 368 p. (in Russian)
18. Beshelev S.D., Gurvich, F.G. Mathematical and statistical methods of expert assessments. M.: Statistics, 1980 – 260 p. (in Russian)
19. Beshelev S.D., Gurvich F.G. Expert assessments. M.: Science, 1973. – 263 c.
20. Biliatdinov K.Z. Information resources and a dynamic model of evaluating the quality of infocommunication systems // Bulletin of aerospace defense - 2022. - № 3(35). - pp. 118-123. (in Russian)

21. Biliatdinov K.Z., Aleinikov A.A., Krasov A.V., Krivchun E.A., Krysanov A.V. Technical aspects of management using the Internet. Monograph. SPb: Asterion, 2016. – 305p. (in Russian)
22. Biliatdinov K.Z., Aleinikov, A.A., Krasov, A.V., Levin, M.V. Control, measurement and intellectual control of traffic. Monograph. St. Petersburg: Asterion, 2016. – 92 p. (in Russian)
23. Biliatdinov K.Z., Krasov, A.V., Channel, V.V. Research of systems and analysis of test results. Monograph. SPb: Asterion, 2019. – 362 p. (in Russian)
24. Biliatdinov K.Z., Krivchun E.A. Assessment of the quality of management of organizational and technical systems // Notes of the Mining Institute. St. Petersburg, 2014, V. 209. - pp. 152-155. (in Russian)
25. Biliatdinov K.Z. On the formation of the basics of improving the quality of managerial activity // European Social Science Journal. 2014. № 8. V. 3. - pp. 428-434. (in Russian)
26. Biliatdinov K.Z., Кривчун E.A. Types of managerial decisions in product quality control // Quality Century №4. 2014. – pp. 24-27. (in Russian)
27. Biliatdinov K.Z., Krivchun E.A. To the issue of creating a model of managerial activity of managers of the quality management system // In the world of scientific discoveries No. 7.2 (55). Krasnoyarsk, 2014. – pp. 1038-1052. (in Russian)
28. Biliatdinov K.Z. Contradictions of the management process in the modern world // Quality Century №3. 2014. - pp. 40-43. (in Russian)
29. Biliatdinov K.Z., Aleinikov A.A., Krivchun E.A. Technical support management: quality control methodology // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. №6, 2016. – pp. 76 -78. (in Russian)
30. Biliatdinov K.Z., Aleinikov A.A. Model for assessing the quality of management // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. №1, 2017. – pp. 63 – 65. (in Russian)
31. Biliatdinov K.Z., Aleinikov A.A., Krivchun E.A. The scatter diagram and calculation of the correlation of dependence in assessing the quality of control // Quality and life

№1 (13), 2017. - pp. 48- 50. (in Russian)

32. Biliatdinov K.Z., Shliantsev I.V., Meniailo V.V. Application of structure functional model in the method and methodology of systems quality assessment // Aerospace defense herald. 3(27). 2020. pp. 5-13. (in Russian)
33. Biliatdinov K.Z., Meniailo V.V. Methods for assessing the effectiveness of systems based on the modified DEA // Bulletin of aerospace defense ", release 3(27), 2020. pp. 66-74. (in Russian)
34. Biliatdinov K.Z., Meniailo V.V. Methodology for assessing the probability of timely achieving the goal of the system functioning // Bulletin of aerospace defense, release 4(28), 2020. pp. 102-107. (in Russian)
35. Biliatdinov K.Z., Shliantsev I.V. Meniailo V.V. On increasing the effectiveness of the operation of the operation of technical systems // Bulletin of aerospace defense, no. 4(28), 2020. pp. 18-25. (in Russian)
36. Biliatdinov K.Z., Meniailo V.V. Methodology of systems quality assessment in the sphere of stability of big technical objects // Age of quality. 2. 2020. pp. 198-214. (in Russian)
37. Biliatdinov K.Z., Meniailo V.V. The modified DEA method and the methodology for evaluating the effectiveness of technical systems // Information technologies, № 11, 2020. pp. 611-617. (in Russian)
38. Biliatdinov K.Z., Andrianov V.I., Meniailo V.V. Model of the stability of the automated control system // Bulletin of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1: Natural and Technical Sciences. 2020. № 4. pp. 43-47. (in Russian)
39. Biliatdinov K.Z. Model to ensure the stability of large technical systems // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. №12, 2020. – pp. 17 – 20. (in Russian)
40. Biliatdinov K.Z., Shestakov A.V. Creation and use of information reserves in accompanying large technical systems // Proceedings of educational institutions. V.6. № 4. 2020. pp. 104-110. (in Russian)

41. Biliatdinov K.Z. Methods for evaluating the probabilistic characteristics of technical systems in the process of exploitation // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. №12, 2020. – pp. 21 – 24. (in Russian)
42. Biliatdinov K.Z. Comprehensive methodology for assessing the quality of technical systems in the process of exploitation // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region.. №11, 2020. – pp. 20 – 23. (in Russian)
43. Biliatdinov K.Z. Calculation of the probability of timely achievement of the purpose of a system's functioning in unfavorable conditions depending on the time of making and announcing of managerial decisions in information management cycle (Certificate of the state registration of software № 2019661734, 06.09.2019). (in Russian)
44. Biliatdinov K.Z. Calculation and analysis of probabilistic characteristics of a system (Certificate of the state registration of software № 2020610203, 10.01.2020). (in Russian)
45. Biliatdinov K.Z. Realization of the means of rational processing of information resources and formation of information reserves of a system (Certificate of the state registration of software № 2020610335, 13.01.2020). (in Russian)
46. Biliatdinov K.Z. Analysis and assessment of systems effectiveness / Certificate of the state registration of software № 2020610389, 14.01.2020. (in Russian)
47. Biliatdinov K.Z. Assessment of systems stability (Certificate of the state registration of software № 2020615328, 21.05.2020). (in Russian)
48. Biliatdinov K.Z. Model for supporting technical systems in the process of exploitation // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. №10, 2020. pp. 22 – 24. (in Russian)
49. Biliatdinov K.Z. Improving information processing procedures in a comprehensive methodology for evaluating the quality of technical systems // Bulletin of aerospace defense - 2022. - № 1(33). pp. 95-100. (in Russian)
50. Biliatdinov K.Z. Methods for assessing the stability of technical systems // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. №10, 2020. pp. 25 – 28.

(in Russian)

51. Biliatdinov K.Z., Mordvintsev M.V. On the basics of the methodology for assessing the quality of large technical systems in the process of exploitation // International Journal of Open Information Technologies - 2022. - T. 10. - № 5. - pp. 91 - 98. (in Russian)
52. Biliatdinov K.Z., Krivchun E.A. Rationale for the control of product // European Applied Sciences, November-December, 2013, 1 (2). - pp. 204-206. (in Russian)
53. Biliatdinov K.Z. Assessment of the quality of systems using structural-functional modeling and subtraction of matrices of the values of quality indicators (Certificate of the state registration of software № 2022619306, 19.05.2022). (in Russian)
54. Biliatdinov K.Z., Krivchun E.A. Methodological foundations of retraining of specialists at national research universities // XX MNPK “High Intellectual Technologies and Innovation at National Research Universities” on February 28 - March 1, 2013. pp.28-30. (in Russian)
55. Biliatdinov K.Z. Improving and developing information reserves of large technical systems in the process of exploitation // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. №11, 2020. pp. 16 – 19. (in Russian)
56. Biliatdinov K.Z. Assessment of the quality of metrological management management // Innovative planning and management systems in mechanical engineering. Collection of works II MNPK. Volume II-St. Petersburg: National Mineral-Ryrese University "Mountain", 2014. - pp. 121-124. (in Russian)
57. Biliatdinov K.Z., Krivchun E.A. On the issue of improving the quality of training of specialists at a university // Materials of the XX International Scientific and Methodological Conference "Modern Education: Contents, Technologies, Quality", St. Petersburg, April 23, 2014. V. 2. pp.65-67. (in Russian)
58. Biliatdinov K.Z., Krivchun E.A. Quality assessment methodology as a tool for increasing management efficiency // Science and Business: development ways № 5 (119), 2021. – pp. 105-109. (in Russian)
59. Biliatdinov K.Z., Plakhotnyuk V.A., Korolev V.V. The use of the modified DEA

method to assess the effectiveness of the telecom operator (Certificate of the state registration of software № 2022619316, 20.05.2022). (in Russian)

60. Biliatdinov K.Z., Krivchun E.A. On the formation of decision-making competencies in quality management // VIII St. Petersburg Congress "Professional Education, Science, Innovation in the 21st Century": a collection of works / National Mineral-Rying University "Gorny". SPb, 2014. - pp. 24-27. (in Russian)
61. Biliatdinov K.Z. On the formation of proposals for the organization of quality control of products // VIII St. Petersburg Congress "Professional Education, Science, Innovation in the 21st Century": a collection of works / National Mineral-Rying University "Gorny". SPb. 2014. - pp. 28-31. (in Russian)
62. Biliatdinov K.Z., Krivchun E.A. On the innovative ways to increase the efficiency of proactive management of the operation of technical systems // in the collection: priority areas of innovation in industry. Collection of scientific articles V International Scientific Conference in 2 parts. NPP Medpromdetal LLC Gazprom Transgaz Kazan. 2021. pp. 17-20. (in Russian)
63. Biliatdinov K.Z. Methodology for assessing the competence of experts / Dep. in the CMSI of the Ministry of Defense of the Russian Federation Inv. No. B6878. Help 15967. Series B. Issue. № 84. M., 2008. 20 p. (in Russian)
64. Biliatdinov K.Z. Fortinsky A.G. Application of a combined method for assessing the competence of experts / Scientific and technical collection dedicated to the 85th anniversary of the 16th Central Research Institute, Mytishchi, 2008. – pp. 121 - 128. (in Russian)
65. Biliatdinov K.Z., Krivchun E.A. Quality control based on the life cycle of the product // Innovative planning and management systems in mechanical engineering. Collection of works IV MNPK. Volume IV. St. Petersburg: National Mineral-Ryrese University "Mountain", 2016. – pp. 14-17. (in Russian)
66. Biliatdinov K.Z., Dorodnitsky A.B. Assessment of the quality of managerial decisions based on quantitative indicators // New Science: current state and development paths. International scientific periodical of the International Scientific and Practical

Conference (May 9, 2016, Orenburg). Part 2. 2016. – pp. 155-157. (in Russian)

67. Biliatdinov K.Z. Practical aspects of improving the management of telecommunication systems when using matrices of quality indicators // Bulletin of aerospace defense. 2022. № 2 (34). pp. 98 - 105. (in Russian)
68. Biliatdinov K.Z., Dosikov V.S. Experience in the development of methodological support of an innovative assessment of the quality of the functioning of one class of complex systems // Modern information technologies and IT education - 2022. - V.18. - № 1. - pp. 119 - 133. (in Russian)
69. Biliatdinov K.Z. Model and methodology for assessing the stability of the functioning of telecommunication systems // Bulletin of aerospace defense - 2022. - № 4(36). - pp. 85-90. (in Russian)
70. Biliatdinov K.Z. Methods of evaluating the probabilistic characteristics of infocommunication systems based on the binominal law of distribution in samples with a return // Bulletin of aerospace defense - 2022. - № 4(36). - pp. 79-84. (in Russian)
71. Biliatdinov K.Z., Aleinikov A.A., Gvozd K.I., Redzepov I.V. Some aspects of the use of algorithms and adaptive control models // Transactions of the All-Russian Scientific and Technical Conference "Problems of the Efficiency and Safety of the Functioning of Complex Technical and Information Systems". Part 8. Military Academy of the Strategic Missile Forces named after Peter the Great of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Serpukhov. 2017. – pp. 52-56. (in Russian)
72. Biliatdinov K.Z., Dorodnitsky A.B., Tsybulyaeva A.A., Potapov S.E. Fundamentals of assessing the effectiveness of management // Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference "Problems of the effectiveness and safety of the functioning of complex technical and information systems." Part 8. Military Academy of the Strategic Missile Forces named after Peter the Great of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Serpukhov. 2017. – pp. 70-77. (in Russian)
73. Biliatdinov K.Z., Krivchun E.A. Principles for assessing the quality of technical systems in the Process of Exploitation // Bulletin of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1: Natural and Technical Sciences. 2021. № 3.

pp. 27-30. (in Russian)

74. Biliatdinov K.Z. Methodology for assessing the quality of technical systems based on the improved method of paired comparisons // Bulletin of aerospace defense - 2021. - № 4 (32). - pp. 102-107. (in Russian)
75. Biliatdinov K.Z., Krivchun E.A. Process management. Educational and methodological complex / National Mineral-Syrieval University "Mountain". SPb, 2013. – 125 p. (in Russian)
76. Biliatdinov K.Z., Krivchun E.A. Integration of methodological solutions to assess the stability of the functioning of large technical systems // Modeling, optimization and information technology. 2021. 9(4). pp. 1-10. DOI: 10.26102/2310-6018/2021.35.4.003. (in Russian)
77. Biliatdinov K.Z., Chervonetsky A.V., Anufriev A.O. Expert assessment of systems improved method of paired comparisons (Certificate of the state registration of software № 2022660655, 08.06.2022). (in Russian)
78. Biliatdinov K.Z. Кривчун E.A. Rules for the preparation and subtraction of matrices of values for two groups of indicators to assess the quality of large technical systems // International Journal of Open Information Technologies - 2022. - T. 10. - № 7. – pp. 29 - 37. (in Russian)
79. Biliatdinov K.Z. Mobile communication networks (part 2). Textbook, part 2 / SZIPK FSKN Russia. Leningrad region. 2013. – 84 p. (in Russian)
80. Biliatdinov K.Z. The advanced method of paired comparisons for assessing the quality of technical systems in the process of exploitation // Bulletin of aerospace defense - 2021. - № 3. - pp. 39-44. (in Russian)
81. Biliatdinov K.Z., Dosikov D.V. Assessment of probabilistic characteristics of complex radio engineering systems depending on the quantity and quality of electronic elements in their composition // Applied Physics - 2021. - № 4. - pp. 87-92. (in Russian)
82. Biliatdinov K.Z. Modeling model and methodology for assessing the stability of large technical systems in the process of exploitation // International Journal of Open

Information Technologies - 2022. - T. 10. - № 9. - pp. 32 - 40. (in Russian)

83. Biliatdinov K.Z., Krasov, A.V., Channel, V.V., Peshkov, A.I., Karpov A.N. Theory of information processes and systems. Textbook. St. Petersburg: Asterion, 2019. – 145 p. (in Russian)
84. Bussopian A., Dyson R. J., Tanasulis E. Applied Analysis of data package // Russian Management Journal, 10 (2). 2012. – pp. 63–88. (in Russian)
85. Vapnik V.N. Restoration of dependencies according to empirical data. M.: Science, 1979. – 449 p. (in Russian)
86. Vapnik V.N. The theory of recognition of images. Statistical problems of learning. M.: Nauka, 1974. – 415 p. (in Russian)
87. Vasilevsky S.N. Measurement of QMS processes in construction // Methods of quality management. Moscow (2). 2010. – pp. 41-45. (in Russian)
88. Vasiliev F.P. Optimization methods. M.: Factorial Press, 2002. – 824 p. (in Russian)
89. Vasiliev F.P. Numerical methods for solving extreme problems. M.: Science, 1988. – 552 p. (in Russian)
90. Volkova V.N. Fundamentals of the theory of systems and system analysis: a textbook for university students studying in the direction of "System analysis and management". Ed. 3rd., Refined. St. Petersburg: ed. Polytechnic. un-te, 2005. – 520 p. (in Russian)
91. Voronin A.A. Optimal hierarchical structures. M.: IPA RAS, 2003. – 214 p. (in Russian)
92. Gantmacher F.R. Theory of matrices. Edition 5th. M.: Fizmatlit, 2006.–560c.
93. Golub J. Matrix calculations. M.: World, 1999. – 548 p. (in Russian)
94. Golubkov E.P. Technology for making management decisions. M.: Business and service, 2005. – 544p. (in Russian)
95. Golyanova (Dmitrieva) O.N. The task of optimal use and restoration of forestry // Modern methods of functions theory and related problems: conference materials. Voronezh: Vorone State University, 2005. – pp. 77. (in Russian)

96. Golyanova (Dmitrieva) O.N. Optimal management in the model of use of forestry // Application of functional analysis in approximation theory: Sat. Scientific. tr. Tver: TGU, 2005. – pp. 172-178. (in Russian)

97. Gorelova V.L. Fundamentals of forecasting systems: Textbook. Manual for Ing.-Ekon. specialist. universities. M.: Higher school. 1986. – 287 p. (in Russian)

98. Gorsky Yu.M., Ursul A.D. Information in the management of large systems (methodological aspects) // Optimization and management in large energy systems. Irkutsk: USSR Academy of Sciences, 1970. T. 3. – 82 p. (in Russian)

99. Grazhdankin A.I. Expert system for evaluating technogenic risk of hazardous production facilities // Life safety, 2001. №2. – pp. 6-10. (in Russian)

100. Deming E. A way out of the crisis: a new paradigm of human management, systems and processes. M.: Alpina Plishers, 2007. - 349 p. (in Russian)

101. Dmitrieva O.N. Mathematical modeling of the development process of forestry. The dissertation for the degree of candidate of physical and mathematical sciences. Specialty 05.13.18 - mathematical modeling, numerical methods and program complexes. M., 2008. – 100 p. (in Russian)

102. Dmitrieva O.N. The stochastic model of the dynamics of the development of forestry // Collection of scientific papers "Multivorious system of training specialists based on information and communication technologies of education." Tver: TGU, 2006. – pp. 41–49. (in Russian)

103. Dorodnitsyn A.A. Problems of mathematical modeling in descriptive sciences // Cybernetics. 1983. № 4. – pp. 6–10. (in Russian)

104. Dushin S.E., Krasov A.V., Kuzmin N.N. Modeling control systems. Tutorial; Ed. S.E. Dushin. Moscow, 2012. – 134 p.

105. Dushin S.E., Krasov A.V., Litvinov Yu.V. Modeling systems and complexes. Tutorial. SPb: Publishing House of St. Petersburg State University ITMO, 2010. – 177 p. (in Russian)

106. David A. Mark, Clement L. McGowen Methodology of structural analysis and design SADT. M.: 1993. 240 p. (in Russian)

107. Erokhin S.D., Petukhov A.N., Pilyugin P.L. Event-oriented security policy and a formal model of the mechanism for protecting critical information infrastructures // TUZS V.5. №4, 2019 - pp. 99-105. DOI:10.31854/1813-324X-2019-5-4-99-105. (in Russian)

108. Izergin N.D., Tarov A.G. Assessment of condition of technical objects and their classification be the paired comparison method // Izvestiya Tula State University. Technical sciences. 5. 2017. pp. 164-168. (in Russian)

109. Zaks L. Statistical assessment. M.: Statistics, 1976. – 595 pp. (in Russian)

110. Zatsarinnyy A.A., Kostogryzov A.I., Nistratov A.A. Priority areas of development of system engineering, providing for the use of a risk-based approach // IT Standard. 2021. № 4 (29). pp. 23-37. (in Russian)

111. Isaev R.A. Modified paired comparison method for expert assessment of parameters of a fuzzy cogni-tive model // Modern Information Technologies and IT-education. 12(2). 2016. pp. 35-42. (in Russian)

112. Kapitsa S.P. Synergetics and forecasts of the future. 3rd ed. M.: UNITAN URSS, 2003. – 288 p. (in Russian)

113. Kostogryzov A.I., Nistratov G.A., Nistratov A.A., Dovbnya A.B., Timchenko A.N. Standards, methods and technologies of system engineering // Modern information technologies and IT education. 2013. № 9. pp. 14-33. (in Russian)

114. Kostogryzov A.I., Stepanov P.V., Nistratov A.A., Grigoryev L.I., Chervyakov L.M. Prediction of risks to ensure the quality of information in complex systems // high accessibility systems. 2016. V. 12. № 3. pp. 25-38. (in Russian)

115. Kucherova K.N. Forecasting resources of cloud services based on an open code monitoring system // TUZS V.6. №3, 2020 - pp. 100-106. DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-3-100-106. (in Russian)

116. Krylova M.V., Dikusar V.V., Zubov N.V. The criterion for complete controllability for non -stationary discrete control systems. Proceedings of ISA

RAS Dynamics of heterogeneous systems, T. 42 (2). M: ed. Librokom, 2009. – pp. 35–39. (in Russian)

117. Kostogryzov A.I., Nistratov A.A. On priority areas of development of system engineering // Modern information technologies and IT education. 2021. V. 17. № 2. pp. 223-240. (in Russian)

118. Krivulin N.K., Ageev V.A. methods of tropical optimization in multicriterion problems of alternatives as-sessment on the basis of paired comparisons // Vestnik SPbSU. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes. 15 (4). 2019. pp. 472-488. (in Russian)

119. Lyapunov A.M. The general task of the stability of the movement. M.; L.: ONTI, 1935. – 386 p. (in Russian)

120. Mathematical and instrumental methods of economic analysis: Quality management: Collection of scientific works of the Tambov State Technical University. Tambov, 2004. Issue 13. – 240 p. (in Russian)

121. Mesarovich M. Theory of hierarchical multi -level systems. M.: World, 1973. – 344 p. (in Russian)

122. Mestetskiy L.M. Mathematical methods of recognition of images: a course of lectures [Electronic resource] / L.M. Mestetskiy. - Access mode: http://www.cas.ru/frc/papers/mestetskii04course.pdf (date of appeal 10/22/2019). (in Russian)

123. Mogilevsky V.D. Systems methodology: verbal approach. M.: Economics, 1999. – 251 p. (in Russian)

124. Morgunov E.P. Multidimensional classification of objects based on assessing their effectiveness // Bulletin of the SuvPT Research Institute: Sat. scientific. tr. Krasnoyarsk: NII SUVPT, 2003. Issue 14. – pp. 222–240. (in Russian)

125. Morgunov E.P. Formation of an artificial border of effectiveness in the Data Envelopment Analysis method // Bulletin of Sib. state. Aerospace. University named after Academician M.F. Reshetneva: Sat. scientific. tr. / Krasnoyarsk:

SibGAU, 2003. – pp. 385 – 386. (in Russian)

126. Morgunova O.N. The information system as a source of data for assessing the level of effectiveness of objects and processes in the field of higher education // VI All-Russian Scientific and Technical Conference “Theoretical and Applied issues of modern information technologies”, July 25–31, 2005 (Ulan -UdE). Ulan-Ude: Publishing House of VSGTU, 2005. Ч. 2. – pp. 286–289. (in Russian)

127. Morgunova O.N. Theory of system effectiveness: some questions and suggestions // X International Scientific and Practical Conference "System Analysis in Design and Management". Saint Petersburg. 2006. Part 1. – pp. 119 – 122. (in Russian)

128. Morgunova O.N. Models and algorithms for studying the effectiveness of hierarchical systems. The dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Specialty 05.13.01 - System analysis, management and processing of information. Krasnoyarsk, 2006. – 153 p. (in Russian)

129. Reliability and effectiveness in technology: reference / ed. Tip: V.S. Avduevsky (before.) Et al. T. 1. Methodology. Organization. Terminology / Ed. A.I. Rembesis. M.: Engineering, 1986. – 224 p. (in Russian)

130. Reliability and effectiveness in technology: reference / ed. Tip: V.S. Avduevsky (before.) Et al. T. 3. The effectiveness of technical systems / for total. Ed. V.F. Utkina, Yu. V. Kryuchkova. M.: Engineering, 1988. – 328 p. (in Russian)

131. Niv G.R. Dr. Deming's space: the principles of building a sustainable business. M.: Alpina Business Books, 2005. – 268 p. (in Russian)

132. Ovsyannikova N.I. The task of optimal management in the epidemic model dissertation for the degree of candidate of physicomatic and mathematical sciences. Specialty 01.01.09 - "discrete mathematics and mathematical cybernetics." Moscow, 2010. – 132 p. (in Russian)

133. Ovsyannikova N.I. Search for optimal control of the epidemic by vaccination // Optimal management of dynamic systems: Bulletin of OGU №5, 2006. – pp.37–45. (in Russian)

134. Panteleev A.V. Optimization methods in examples and tasks: textbook. manual. M.: Higher school, 2002. – 544 p. (in Russian)

135. Petrov D.V., Petrov M.V. Methods for analyzing alternatives in decision support systems // Information-measuring and control systems. - 2008. – pp. 99–107. (in Russian)

136. Petukhov G.B. The methodological foundations of external design of targeted processes and purposeful systems. M.: AST, 2006. – 504 p. (in Russian)

137. Ponomarev S.V. Reasons and motives that encourage businessmen to introduce quality management systems at their enterprises // Mathematical and instrumental methods of economic analysis: Quality management: Collection of scientific works of the Tambov State Technical University. Tambov, 2004. № 13. – pp. 81-90. (in Russian)

138. Pongishvili I.V. System approach and increasing management efficiency. M.: Science, 2005. – 422 p. (in Russian)

139. Putivtseva N.P., Pusnaya O.P., Igrunova S.V., Zaitseva T.V., Nesterova E.V. Comparative analysis of the application of multicriterion methods // Research result. Information technologies. 2 (1). 2017. pp. 40-47. (in Russian)

140. Rosin M.F. Statistical dynamics and theory of effectiveness of management systems. M.: Engineering, 1980. – 312 p. (in Russian)

141. Saati T. Making decisions: method of analysis of hierarchies. M.: Radio and communication, 1993. – 92 p. (in Russian)

142. Savin K.N., Khamkhanova D.N. Certification of algorithms for processing weight coefficients of quality indicators // Modern problems of science and education. 2012. № 6. – pp. 17 – 24. (in Russian)

143. Smolyak S.A. Assessment of the effectiveness of investment projects in conditions of risk and uncertainty (theory of the expected effect). M.: Science, 2002. – 182 p. (in Russian)

144. Sinitsyn I.N. Shalamov A.S. Stochastic CALS technologies for after-sales support of high accessibility systems // high accessibility systems. 2016. Volume

12. № 2. pp. 13−26. (in Russian)

145. Starinets D.V. The task of optimal management of the resources of an industrial enterprise, taking into account interaction with related enterprises. The dissertation for the degree of candidate of physicomatic and mathematical sciences. Specialty 05.13.01 - System analysis, management and processing of information. Moscow, 2009. – 128 p. (in Russian)

146. TU J., Gonzalez R. Principles of image recognition. M.: World, 1978. – 412 p. (in Russian)

147. Management is science and art / A. Fayol, G. Emerson, F. Taylor, G. Ford. M.: Republic, 1992. – 289 p. (in Russian)

148. Tihomirova A.N., Sidorenko E.V. Modification of the method of analysis of hierarchies of T. Saati for calculation of weights of criteria in assessment of innovative projects // Contemporary problems of science and education. 2. 2012. URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=6009 (Accessed: 25.10.2020). (in Russian)

149. Fedotov Yu.V. Methods and models for constructing empirical production functions. St. Petersburg: Publishing House of the St. Petersburg. un-te, 1997. – 74 p. (in Russian)

150. Fedotov Yu.V. Assessment of the effectiveness of the production activity of the company using the production function // Bulletin of the St. Petersburg University. Series Economics (3), 1992. – pp. 112–118. (in Russian)

151. Fleishman B.S. Fundamentals of systemology. M.: Radio and communication, 1982. – 368 p. (in Russian)

152. Fleishman B.S. Elements of the theory of potential efficiency of systems. M.: Sov. radio, 1971. – 224 p. (in Russian)

153. Henley J. Reliability of technical systems and risk assessment. M.: Engineering, 1984. – 528 p. (in Russian)

154. Cherepanov V.S. Expert assessments in pedagogical research. M.: Pedagogy, 1989. – 152 p. (in Russian)

155. Cherkashin A.K. Mathematical aspects of the realization of the method of analysis of hierarchies // Information and mathematical technologies in science and management. 1 (17). 2020. pp. 5-24. (in Russian)

156. Shestakov A.L. The purpose of the QMS and its processes // Quality Management Methods. 2010. N 1. – p. 10–13. (in Russian)

157. Shishkin I.F., Khamkhanova D.N. Control. The quality of a single solution // Devices and systems. Management, control, diagnostics. 2012. № 11. – pp. 41–43. (in Russian)

158. Shishkin I.F. Control: Textbook. - St. Petersburg: SZPI. 1992. – 62p. (in Russian)

159. Azgaldov G., Kostin A. Applied Qualimetry: Its origins, errors and misconceptions // Benchmarking: An International Journal, Volume 18, Number 3, 2011. pp. 428-444.

160. Anderson T.R. Extending Productivity Research Frontiers: DEA Resource of Datasets and Errata // Journal of Productivity Analysis. 2003. Vol. 19, № 2–3. – pp. 271–275.

161. Biliatdinov K.Z., Dosikov V.S., Meniailo V.V. Improvement of the paired comparison method for implementation in computer programs used in assessment of technical systems' quality // Computer Research and Modeling, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 1125-1135. DOI: 10.20537/2076-7633-2021-13-6-1125-1135 (URL: http://crm.ics.org.ru/journal/article/3145/).

162. Bilyatdinov K.Z., Krivchun E.A. Development and improvement of assessment means of technical systems quality in the process of maintenance // CEUR Workshop Proceedings. July 5-9, 2021. Vol. 3041, pp. 579-583.

163. Bilyatdinov K.Z., Krivchun E.A. About the method of assessing the quality of big technical systems based on the rules of subtraction of matrices of values of indicators // Journal of Physics: Conference Series - 2022, Vol. 2373, No. 052009, pp. 1 – 6.

164. Banker R.D. Hypothesis Tests Using Data Envelopment Analysis // The

Journal of Productivity Analysis. 1996. Vol. 7. – pp. 139–159.

165. Banker R.D. Maximum Likelihood, Consistency and Data Envelopment Analysis: A Statistical Foundation // Management Science. 1993. Vol. 39, № 10. – pp. 1265 – 1273.

166. Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W. Some models for estimating technical and scale efficiency in data envelopment analysis // Management Science. 1984. Vol. 30, № 9. – pp. 1078 – 1092.

167. Banker R.D., Morey R.C. Efficiency analysis for exogenously fixed inputs and outputs // Operations Research. 1986. № 4. – P. 513 – 521.

168. Barr R.S. Parallel and hierarchical decomposition approaches for solving large-scale Data Envelopment Analysis models // Annals of Operations Research. 1997. Vol. 73. – pp. 339 – 372.

169. Boles J.N. Efficiency Squared – Efficiency Computation of Efficiency Indexes // Proceedings of the 39th Annual Meeting of the Western Farm Economics Association. 1966. – pp. 137 – 142.

170. Calabrese R., Osmetti S.A. A new approach to measure systemic risk: A bivariate copula model for dependent censored data // European Journal of Operational Research. 2019. Vol. 279(3). - pp. 1053-1064.

171. Charnes A., Cooper W.W. Programming with linear fractional functionals // Naval Research Logistics Quarterly. 1962. № 9. – pp. 181-185.

172. Chen J.-X. Overall performance evaluation: new bounded DEA models against unreachability of efficiency // The Journal of the Operational Research Society. 2014. Vol. 65. № 7. - pp. 1120-1132.

173. Cooper W.W. Data Envelopment Analysis. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. – 318 p.

174. Cooper W.W., Charnes A., Golany B., Seiford L., Stutz J. Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-Koopmans Efficient Empirical Production Functions // Journal of Econometrics. l985. Vol 30. – pp. 91-l07.

175. Duddy C., Piggins A. A foundation for Pareto optimality // Journal of

Mathematical Economics. 2020. 88. pp. 25-30.

176. Downes C. Strategic Blind–Spots on Cyber Threats, Vectors and Campaigns // The Cyber Defense Review. 2018. Vol. 3. № 1. - pp. 79-104.

177. Duer S. Assessment of the operation process of wind power plant's equipment with the use of an artificial neural network // Energies. 2020. № 13(10). Article 2437.

178. Dulá J.H. Computations in DEA // Pesquisa Operacional. 2002. Vol. 22, № 2. – pp. 165–182.

179. Efficiency and Productivity Analysis in the 21st Century // Proceedings of International DEA Symposium (24–26 June 2002, Moscow, Russia). Moscow: International Research Institute of Management Sciences, 2002. – 178 p.

180. Farrell M.J. The Measurement of Productive Efficiency // Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General), Part III. 1957. Vol. 120. – pp. 253–281.

181. Filz M., Herrmann C., Thiede S. Simulation-based Assessment of Quality Inspection Strategies on Manufacturing Systems // Procedia CIRP. 2020. Vol. 93. – pp. 777-782.

182. Gerami J. An interactive procedure to improve estimate of value efficiency in DEA // Expert Systems with Applications. 2019. № 137. - pp. 29-45.

183. Golabchi A., Han S., AbouRizk S. A simulation and visualization-based framework of labor efficiency and safety analysis for prevention through design and planning // Automation in Construction. 2018. Vol. 96. - pp. 310-323.

184. Han P., Wang L., Song P. Doubly robust and locally efficient estimation with missing outcomes // Statistica Sinica. 2016. Vol. 26. № 2. - pp. 691-719.

185. Hund L., Schroeder B., Rumsey K., Huerta G. Distinguishing between model- and data-driven inferences for high reliability statistical predictions // Reliability Engineering and System Safety. 2018. Vol. 180. - pp. 201-210.

186. Jabbour K., Poisson J. Cyber Risk Assessment in Distributed Information Systems // The Cyber Defense Review. 2016. Vol. 1. № 1. - pp. 91-112.

187. Petchrompo S., Coit D. W., Brintrup A., Wannakrairot A., Kumar Parlikad A. A review of Pareto pruning methods for multi-objective optimization // Computers & Industrial Engineering. 2022. 167. 108022.

188. Karagiannis G. On structural and average technical efficiency // Journal of Productivity Analysis. 2015. Vol. 43. № 3. - pp. 259-267.

189. Kuritsyna V.V., Kuritsyn D.N., Shahrivar S.M., Kazantsev S.A. Automation of scientific and technical expertise procedures in the methodology of technological audit of aircraft manufacturing // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 868(1). Article 012004.

190. Lemmerling P. Fast structured total least squares algorithm for solving the basic deconvolution problem // SIAM J. Matrix Anal. Appl., 2000. – 104p.

191. Li Y., Huang Sh., Li, H. Application of phase sequence exchange in emergency control of a multi-machine system // International journal of electrical power & energy systems. 2020. Vol. 121. Article 106136.

192. Liang Ya., Gao Zh., Gao J. A new method for multivariable nonlinear coupling relations analysis in complex electromechanical system // Applied soft computing. 2020. Vol. 94. Article 106457.

193. Luetje A., Wohlgemuth V. Tracking Sustainability Targets with Quantitative Indicator Systems for Performance Measurement of Industrial Symbiosis in Industrial Parks // Administrative sciences. 2020. Vol. 10. № 1. Article 3.

194. Minnullina A., Minnullin R., Kopytova A., Savoskina E. Production strategy development for an energy company based on SADT // E3S Web of Conferences. "International Scientific and Practical Conference "Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering", ERSME 2020", 2020. 07015.

195. Men J., Chen G., Zhou L., Chen P. A pareto-based multi-objective network design approach for mitigating the risk of hazardous materials transportation // Process Safety and Environmental Protection. 2022. 161. 860-875.

196. Neumann G.K., Grace P., Burns D., Surridge M. Pseudonymization risk analysis in distributed systems // Journal of Internet Services and Applications. 2019. Vol. 10(1). Article 1.

197. Pačaiová H., Sinay J., Nagyová A. Development of GRAM – A risk measurement tool using risk based thinking principles // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation. 2017. № 100. - pp. 288-296.

198. Popova L.F. The practical application of the methodology for the QMS effectiveness assessment // Quality - Access to Success. 2018. Vol. 19(167). - pp. 43-47.

199. Putz M., Wiene T., Pierer A. A multi-sensor approach for failure identification during production enabled by parallel datamonitoring // CIRP annals-manufacturing technology. 2018. Vol. 67. № 1. - pp. 491-494.

200. Ratner S., Ratner P. Developing a strategy of environmental management for electric generating companies using DEA-methodology // Advances in Systems Science and Applications. 2017. Vol. 17(4). - pp. 78-92.

201. Shreelekhya G., Yazhini, Senthilkumaran U., Manikandan N. Methods for evaluating software architecture-A survey // International Journal of Pharmacy and Technology, December 2016. Vol. 8 (4). - pp.25720-25733.

202. Shafik M.B., Chen H., Rashed G. Planning and reliability assessment to integrate distributed automation system into distribution networks utilizing binary hybrid PSO and GSA algorithms considering uncertainties // International Transactions on Electrical Energy Systems. 2020. Article e12594.

203. Skrypnik I.L., Ksenofontov Yu.G., Kaverzneva T.T., Rumyantseva N.V., Kiss V.V. Assessment of technical level of new, promising models of equipment at the stage of their development in modern engineering practice // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 862(4). Article 042031.

204. Tortorella G.L., Vergara L.G.L., Ferreira E.P. Lean manufacturing implementation: an assessment method with regards to socio-technical and ergonomics practices adoption // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2017. № 89(9-12). - pp. 3407-3418.

205. Tran V.P., Shcherbakov M., Nguyen T.A. Yet another method for heterogeneous data fusion and preprocessing in proactive decision support systems: distributed architecture approach // International Conference on Distributed Computer and Communication Networks – DCCN 2017 : 20th International Conference (Moscow, Russia, September 25-29, 2017). Springer International Publishing AG, 2017. – pp. 319-330. DOI: 10.1007/978-3-319-66836-9_27.

206. Wang Y., You S., Zhang H., Zheng X., Wei S., Miao Q., Zheng W. Operation stability analysis of district heating substation from the control perspective // Energy and Buildings. 2017. № 154. - pp. 373-390.

207. Wildauer R., Kapeller J. Tracing the invisible rich: A new approach to modelling Pareto tails in survey data // Labour Economics. 2022. 75. 102145.

208. Yang R., Zheng W. Output-Based Event-Triggered Predictive Control for Networked Control Systems // IEEE transactions on industrial electronics. 2020. Vol. 67. № 12. - pp.10631-10640.

209. Yazdi M. Introducing a heuristic approach to enhance the reliability of system safety assessment // Quality and Reliability Engineering International. 2019. Vol. 35(8). - pp. 2612-2638.

210. Yan, Y., Liu, Y., Fang, J., (...), Sanjeevikumar, P., Jiang, X. Application of random matrix model in multiple abnormal sources detection and location based on PMU monitoring data in distribution network // IET Generation, Transmission and Distribution. 2020. 14(26).- pp. 6476-6483.

211. Yizhen P., Yu W., Jingsong X., Yanyang Z. Adaptive stochastic-filter-based failure prediction model for complex repairable systems under uncertainty conditions // Reliability Engineering and System Safety. 2020. Vol. 204. Article 107190.

212. Yin, X., Qian, J., Guo, X., Lin, G. An optimized algorithm to construct QC-LDPC matrix in compressed sensing // Journal of Web Engineering. 2020. 19 (7-8). - pp. 999-1016.

213. Yu L., Xu X., Li C., Li S., Cao D. Health Management Quality Assessment of Complex Communication System // Journal of Physics: Conference Series. 2021. 1738(1). 012036.

214. Zhang L., Chen S., Cen,Y., (...), Wang,H., Zeng M. Block sparse low-rank matrix decomposition based visual defect inspection of rail track surfaces // KSII Transactions on Internet and Information Systems. 2019. 13(12). - pp. 6043-6062.

215. Zhang Z., David J. Structural order measure of manufacturing systems based on an information-theoretic approach // Expert Systems with Applications. 2020. Vol. 158. Article 113636.

216. Zhao X., Barber S., Taylor C., Milan Z. Interval forecasts based on regression trees for streaming data // Advances in Data Analysis and Classification. 2021. Vol. 15.- pp. 5 - 36.

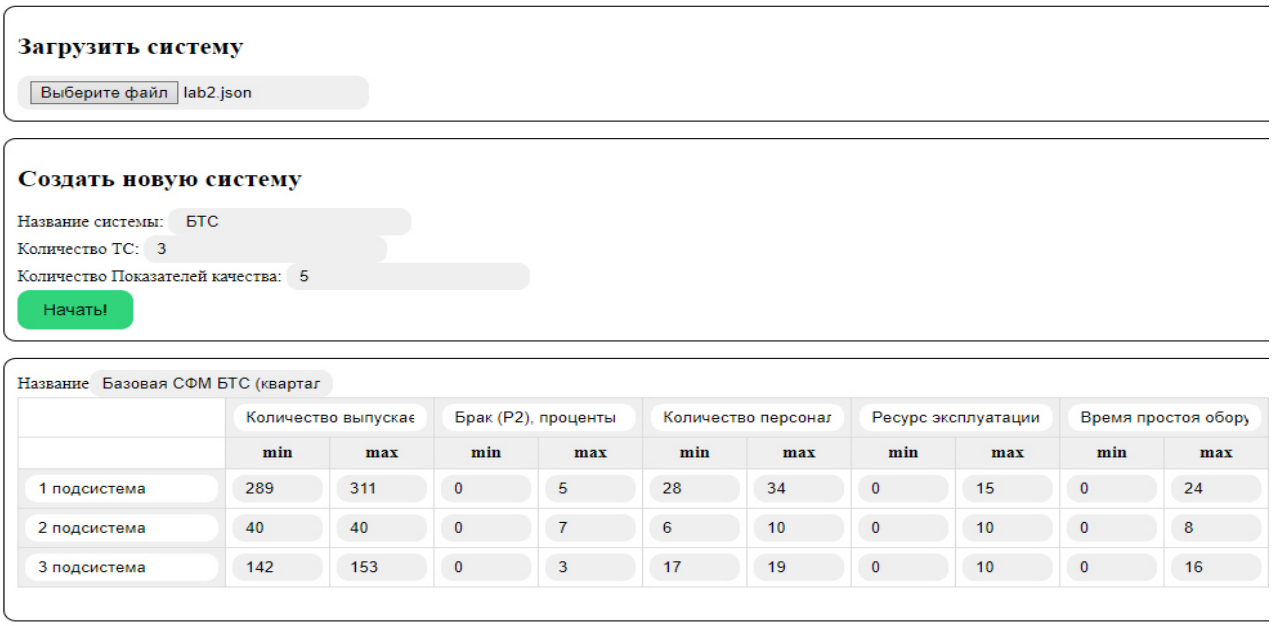
217. Zou G., Faber M.H., Gonzalez A. A holistic approach to risk-based decision on inspection and design of fatigue-sensitive structures // Engineering structures. 2020. Vol. 221. Article 110949.

Appendix A. Examples of calculations and application of computer programs

Section A.1. An example of a software implementation of the quality assessment method for assessment of the quality of big technical systems based on subtracting matrices of indicators [53].

Features: in the presented example, the method can be applied together with a comprehensive methodology for assessing the quality of the technical systems (r. A.6 of Appendix A) and the methodology for assessing the probabilistic characteristics of systems (r. A.4 of Appendix A) according to the decision -making algorithm based on the results of the quality assessment systems in the process of exploitation (fig. 5.1.3). In the example, the method is implemented using the computer program "Assessing the quality of systems using structural-functional modeling and subtraction of matrices of the values of quality indicators" [53] (fig. A.1.1-A.1.7). The calculation of the values of complex quality indicators (Q_i) is presented for the reasonable choice of the best period of time (quarter) of the functioning of the BTS evaluated, which includes three production subsystems.

I stage of the method is presented in figure A.1.1.



	Количество выпускае		Брак (P2), проценты		Количество персонал		Ресурс эксплуатации		Время простоя обору	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1 подсистема	289	311	0	5	28	34	0	15	0	24
2 подсистема	40	40	0	7	6	10	0	10	0	8
3 подсистема	142	153	0	3	17	19	0	10	0	16

Figure A.1.1. Basic structural and functional model of BTS

(determining the basic requirements for the quality of the functioning of the BTS

In the estimated quarter)

In the example, universal quality indicators are applied sufficiently (P_1, P_2, P_3, P_4, P_5), suitable for a comprehensive assessment of the quality of the functioning of most BTS: industrial enterprises, objects of transport infrastructure, communication facilities, various information systems, objects of the fuel and energy complex, etc.

II stage of the Method – fig. A.1.2 – A.1.5.

Название Реальная СФМ БТС в I квар

	Количество выпускаемой продукции (P1), комплект		Брак (P2), проценты		Количество персонала (P3), специалист		Ресурс эксплуатации оборудования (P4), проценты		Время простоя оборудования (P5), часы	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1 подсистема	294	294	0	4	28	30	0	11	0	0
2 подсистема	40	40	0	6	8	8	0	9	0	2
3 подсистема	150	150	0	1	17	17	0	9	0	5

Q1=3.5892

Figure A.1.2. Real structural and functional model BTS in I quarter

Название Реальная СФМ БТС во II кв

	Количество выпускаемой продукции (P1), комплект		Брак (P2), проценты		Количество персонала (P3), специалист		Ресурс эксплуатации оборудования (P4), проценты		Время простоя оборудования (P5), часы	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1 подсистема	302	302	0	7	29	33	0	9	0	4
2 подсистема	40	40	0	7	6	8	0	5	0	6
3 подсистема	144	144	0	3	17	17	0	7	0	5

Система Реальная СФМ БТС во II квартале не участвует в рейтинге, так как не соответствует базовым требованиям

Figure A.1.3. Real structural and functional model BTS in the II quarter with conclusions about the inconsistency of the basic requirements in accordance with the rules for the preparation of matrices (the percentage of marriage in the manufactured products of the 1st production subsystem above the established requirements in the BTS basic SFM in the stage i at the stage of the method)

Название Реальная СФМ БТС в III ква

	Количество выпускаемой продукции (P1), комплект		Брак (P2), проценты		Количество персонала (P3), специалист		Ресурс эксплуатации оборудования (P4), проценты		Время простоя оборудования (P5), часы	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1 подсистема	310	310	0	2	28	34	0	14	0	20
2 подсистема	40	40	0	5	9	10	0	10	0	7
3 подсистема	150	150	0	2	18	18	0	10	0	15

Q3=2.2925

Figure A.1.4. The real structural and functional model BTS in the III quarter

Название Реальная СФМ БТС в IV ква

	Количество выпускаемой продукции (P1), комплект		Брак (P2), проценты		Количество персонала (P3), специалист		Ресурс эксплуатации оборудования (P4), проценты		Время простоя оборудования (P5), часы	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1 подсистема	295	295	0	4	29	32	0	12	0	18
2 подсистема	40	40	0	3	9	9	0	6	0	4
3 подсистема	152	152	0	3	19	19	0	3	0	10

Q4=2.8323

Figure A.1.5. The real structural and functional model BTS in the IV quarter

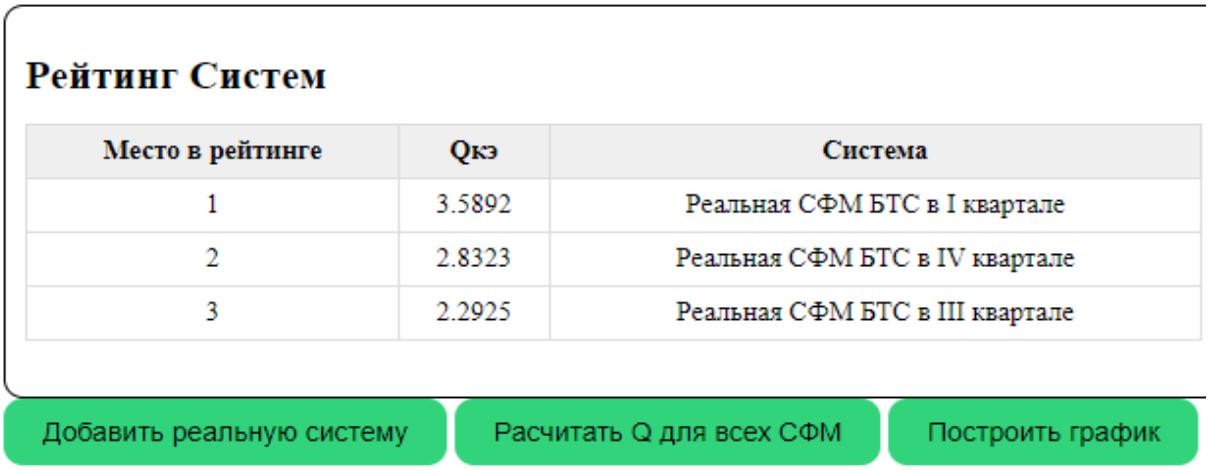
In structural and functional models of BTS, indicators of the first group (where the smallest value of the indicator is considered the best) are:

- the percentage of defective products (P_2);
- exploitation resource costs (P_4);
- equipment downtime (P_5).

In the example, there are no indicators that can only be included in the second group (where the highest value of the indicator is considered the best).

Indicators whose values will be included in the matrices of the first and second groups are: the number of products manufactured (P_1) and the number of personnel involved in the production of these products (P_3).

III stage of the Method (fig. A.1.6 and A.1.7)



Рейтинг Систем

Место в рейтинге	Qкэ	Система
1	3.5892	Реальная СФМ БТС в I квартале
2	2.8323	Реальная СФМ БТС в IV квартале
3	2.2925	Реальная СФМ БТС в III квартале

Добавить реальную систему | Расчитать Q для всех СФМ | Построить график

Figure A.1.6. BTS quality rating

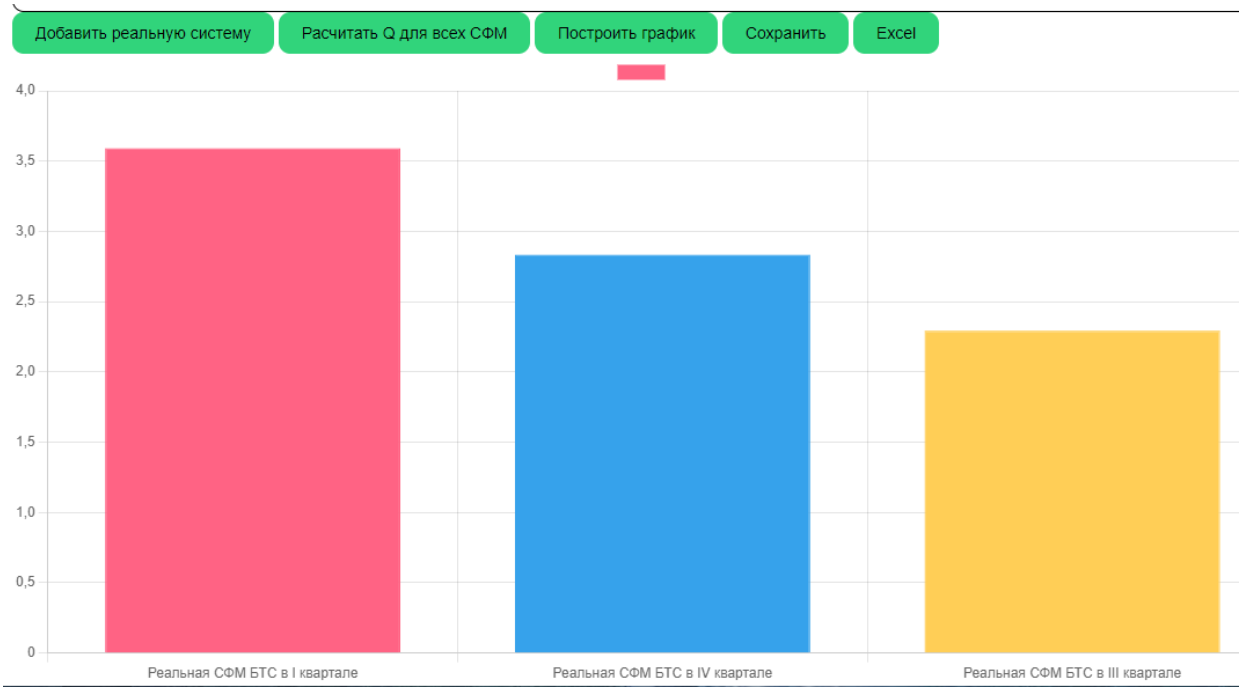


Figure A.1.7. BTS quality rating

Conclusion: the evaluated BTS showed the best results on the established quality indicators in the first quarter of the year.

Section A.2. An example of software implementation improved method of paired comparisons [77]

The program for computers “Expert assessment of systems with an improved method of paired comparisons” [77] can be applied at III stage of a comprehensive methodology for assessing the quality of technical systems (r. A.6 of Appendix A) according to the fig. algorithms. 4.1.1 and 4.1.2.

Examples of calculations and the main content of the software implementation of the method when evaluating 11 systems in the "ONLINE" mode with the involvement of a large number of experts are presented at fig. A.2.1 – A.2.9.

Figure A.2.1. Start work with the program: Selecting the expert survey method

Comments to Figure A.2.1:

- “LOCALLY” - an expert survey using one computer where the program is installed (can be applied in the processing of confidential information);

- “ONLINE” - for a survey of a large number of experts in the local computer network and (or) in the telecommunication network Internet.

Figure A.2.2. The start of data input 289 by an expert when compared system 1 with system 2, to accumulate the minimum necessary data for automatic filling of the questionnaire (table. 2.3.1) according to the systematic rules of logical conclusions (table 2.3.2)

Figure A.2.3. The results of the automatic filling of the survey table 289 experts and the input of data on internal and external sources of information, on the basis of which the expert made a decision when comparing systems

Figure A.2.4. Continuation of the input of data on internal and external sources of information, on the basis of which 289 the expert made a decision when comparing systems

Figure A.2.5. Program implementation of automatic filling of the survey table (table 2.3.1) according to the systematic rules of logical conclusions (table 2.3.2) and choice 290 by an expert of the number of points when compared systems 1 with system 8

Figure A.2.6. The results of the automatic filling of the questionnaire (table 2.3.1) 1205 by an expert and entering data on internal and external sources of information, on the basis of which 1205 the expert made a decision when comparing systems

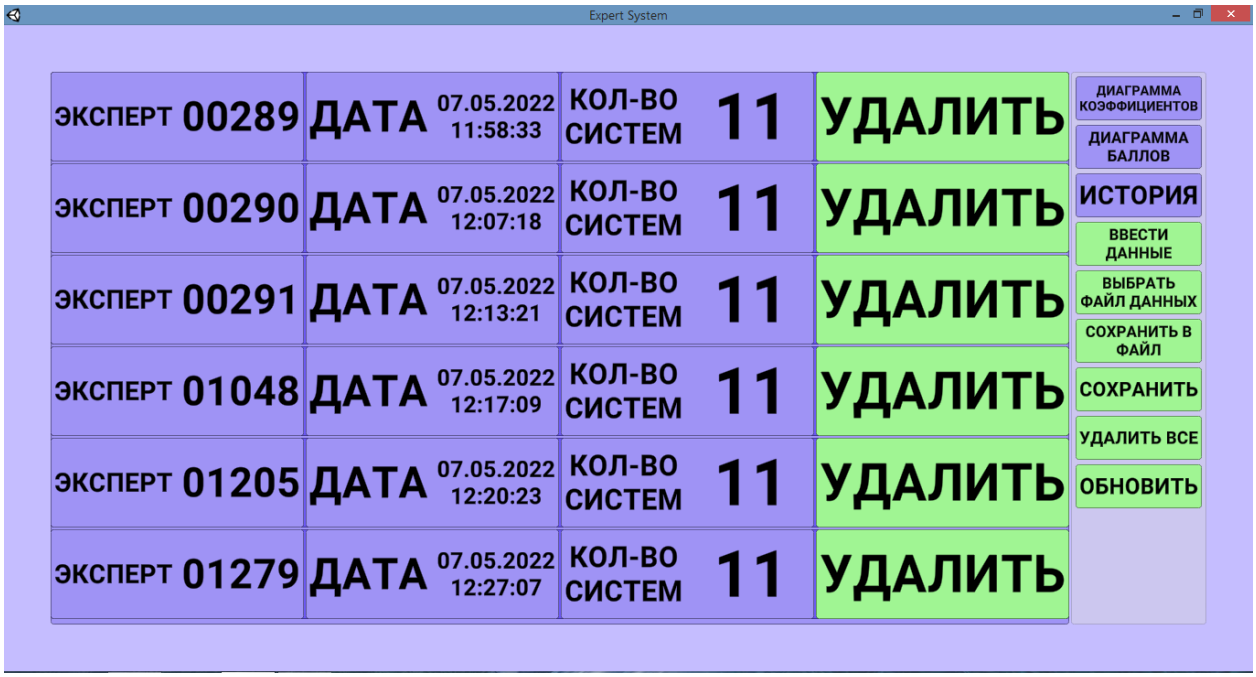


Figure A.2.7. An example of a sample of experts who participated in the online comparison of 11 systems by date and time of assessment

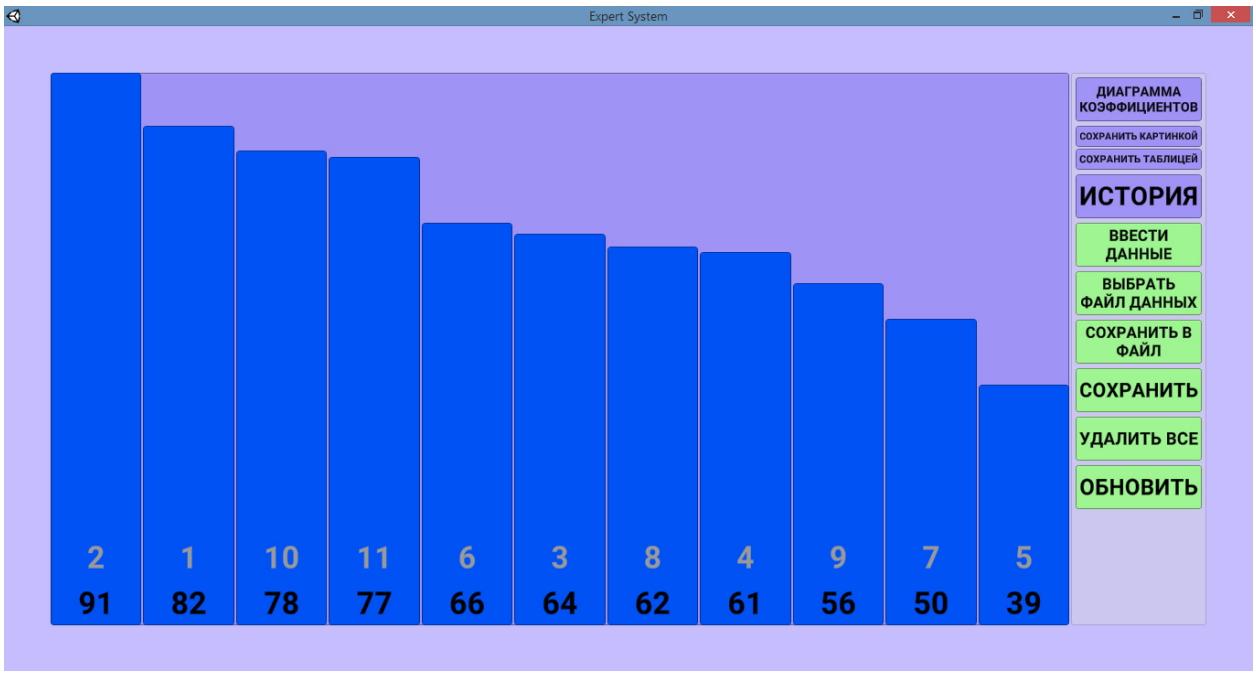


Figure A.2.8. The option of compiling a rating of systems for the highest value of the amount of points (B_Z) scored by systems during expert assessment, – formula (2.3.9)

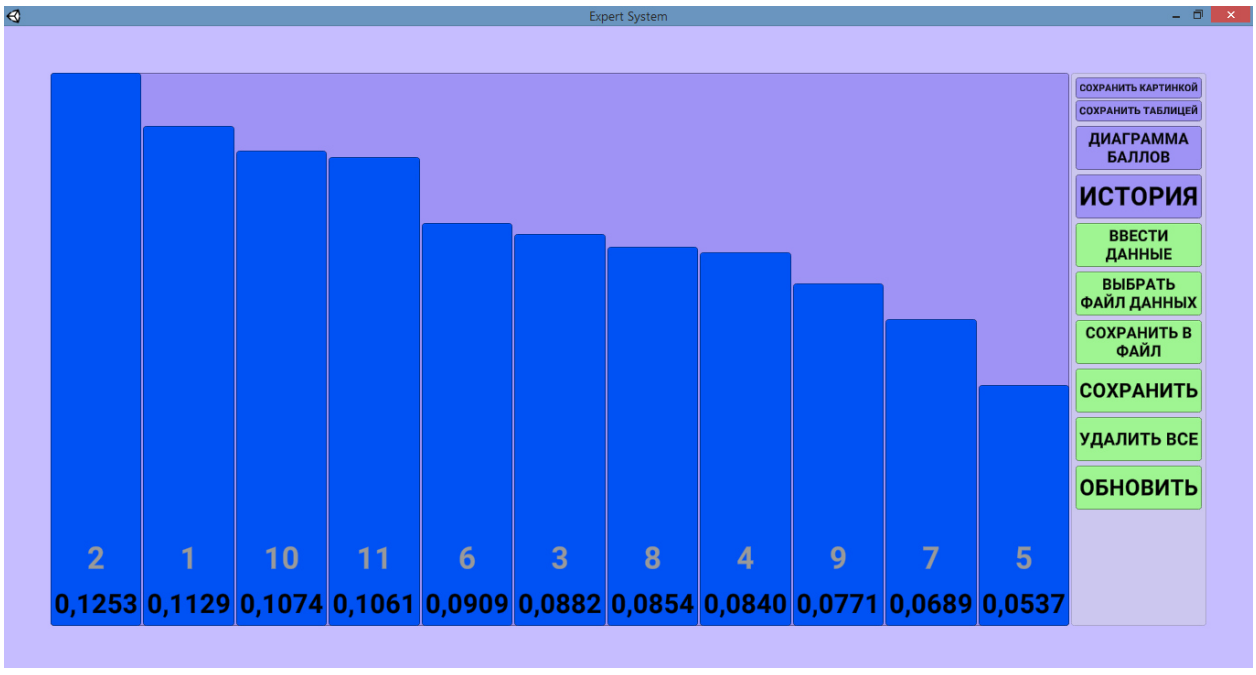


Figure A.2.9. Option of compiling a rating of systems for the greatest value of the quality factor of systems (K_z) – formula (2.3.10)

Conclusion: Based on the results of the expert assessment of 11 systems conducted online on May 07, 2022, the best system is the system 2 (fig. A.2.8 and A.2.9).

At the same time, as a result of the application in this example of the computer program “Expert assessment of systems by the improved method of paired comparisons”, the following additional information about the ranking of information sources on their use by experts when comparing 11 systems (fig. A.2.3, A.2.4 and A.2.6):

1 place. Personal experience and knowledge (in most cases of comparison of systems, experts did not use any sources of information (did not argue their decision).

2nd place. External sources of information – Internet sites, in particular site 2.

3rd place. Internal sources of information – reports for 2021.

4th place. Internal sources of information – the opinion of a specialist 2.

5th place. External sources of information are the opinion of an external specialist 1.

Another, in my opinion, is a more important positive factor is the possibility of reducing the subjectivity of the BTS governing bodies, which can manifest itself in the processing of expert information.

The achievement of this effect is ensured in the program with the possibility of numbering systems and sources of information (without indicating their names). Indication of numbers and names can be sent to experts and LPR with a separate file.

At the same time, in each expert’s questionnaire (table 2.3.1), the possibility of verifying the entered data for consistency (counteraction to the input of false information) is implemented using the use of formulas (2.3.11), (2.3.12), (2.3.13), ((2.3.13), (2.3.14) and verification table 2.3.3 (fig. A.2.3, A.2.4 and A.2.6).

In practice, this computer program can be successfully used in the consideration of commercial proposals in the field of public procurement, as well as in the preparation of equipment specifications in the development of design and (or) working documentation for a capital construction project.

Section A.3. Methods for evaluating system effectiveness Together with a computer program "Analysis and assessment of systems effectiveness" [46]

A.3.1. Assessment of the effectiveness of a managerial decision on the choice of the best system 6 in the example of the application of a comprehensive methodology for assessing the quality of systems in the process of exploitation (V stage of the methodology), given in the r. A.6 of this application.

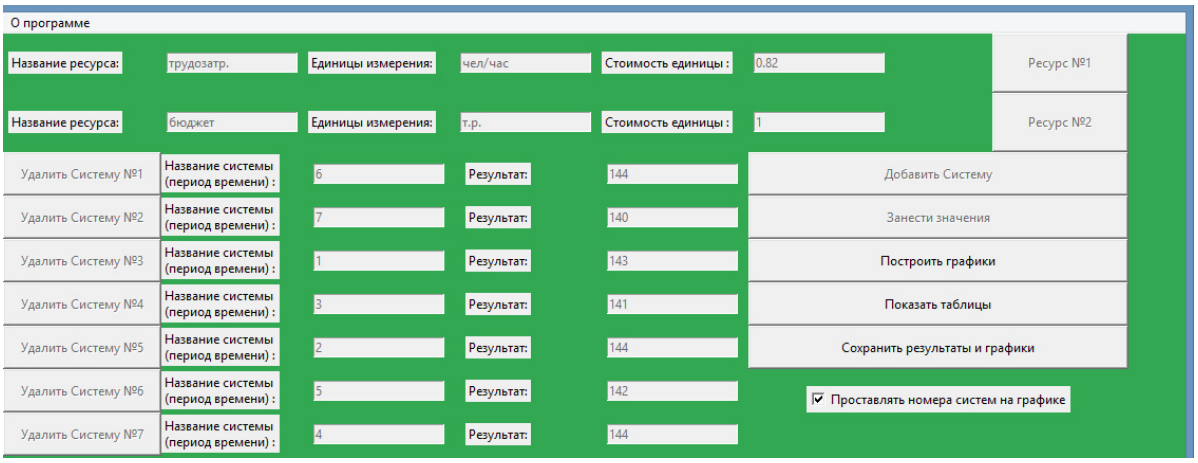


Figure A.3.1.1. Entering the source data

Система	Количество израсходованных ресурсов		Стоимость единицы измерения израсходованного ресурса в тыс. рублей		Стоимость затрат ресурсов на достижение результата	Количественное выражение полученного результата (y)	Стоимость единицы измерения полученного результата	Соотношение затрат ресурсов и результата	
	x1 (чел/час)	x2 (т.р.)	p1	p2				x1/y	x2/y
6	211.0	304.0	0.82	1	477.02	144	3.31264	1.46528	2.11111
7	211.0	305.0	0.82	1	478.02	140	3.41443	1.50714	2.17857
1	212.0	308.0	0.82	1	481.84	143	3.36951	1.48252	2.15385
3	215.0	308.0	0.82	1	484.3	141	3.43475	1.52482	2.1844
2	215.0	310.0	0.82	1	486.3	144	3.37708	1.49306	2.15278
5	217.0	311.0	0.82	1	488.94	142	3.44324	1.52817	2.19014
4	217.0	315.0	0.82	1	492.94	144	3.42319	1.50694	2.1875

Figure A.3.1.2. Calculation results

In figure A. 3.1.1, the result of exploitation systems for the year is the number of days exploitation of systems for the estimated year.

Степень корреляционной зависимости между парами значений показателей				
Очень слабая корреляция 0 < |r| <0,5	Слабая корреляция 0,5 < |r| < 0,7	Средняя корреляция 0,7 < |r| < 0,8	Высокая корреляция 0,8 < |r| < 0,9	Очень высокая корреляция 0,9 < |r| < 1
X1 И Y r = 0.19462473604038072			X1 И X2 r = 0.8953520263793189	X1/Y И X2/Y r = 0.9296121501893004
X2 И Y r = 0.3629819765739879				
Собщ. и У r = 0.3086625266515133				

Figure A.3.1.3. Systematization of correlation dependence between indicators

Система	Количество набранных баллов по результату	Количество набранных баллов по стоимости общ	Количество набранных баллов по расходу x1	Количество набранных баллов по расходу x2	Количество набранных баллов по общ. ст. ед. изм. результата	Общее количество баллов
6	7	7	7	7	7	35
7	1	6	6	6	4	23
1	4	5	5	5	6	25
3	2	4	3	4	2	15
2	5	3	4	3	5	20
5	3	2	1	2	1	9
4	6	1	2	1	3	13

Рейтинг систем по наибольшему значению набранных баллов, при условии равных коэффициентов важности показателей оценки эффективности: :
1. 6 - 35
2. 1 - 25
3. 7 - 23

Figure A.3.1.4. The results of calculations of the rating of systems for the year exploitation

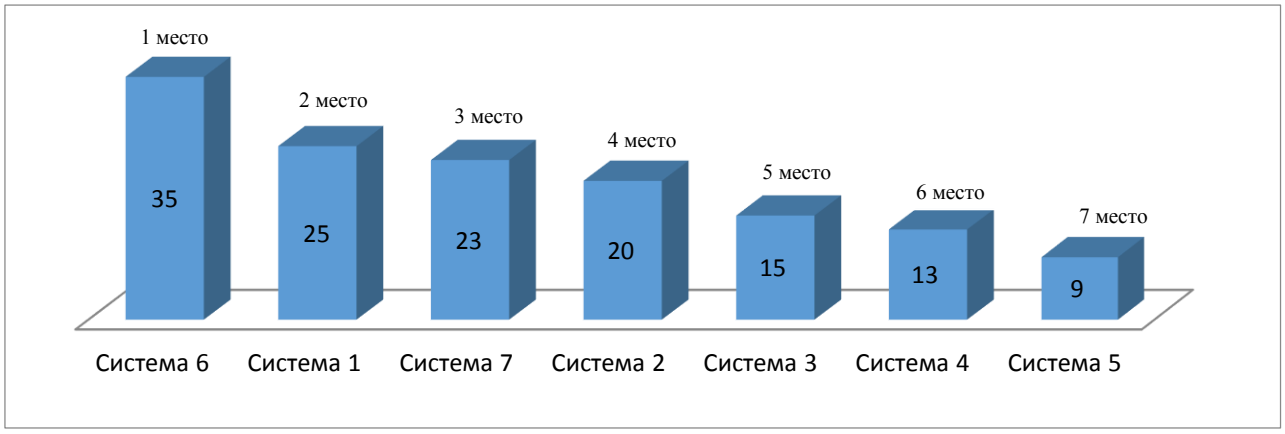


Figure A.3.1.5. System rating for the year exploitation

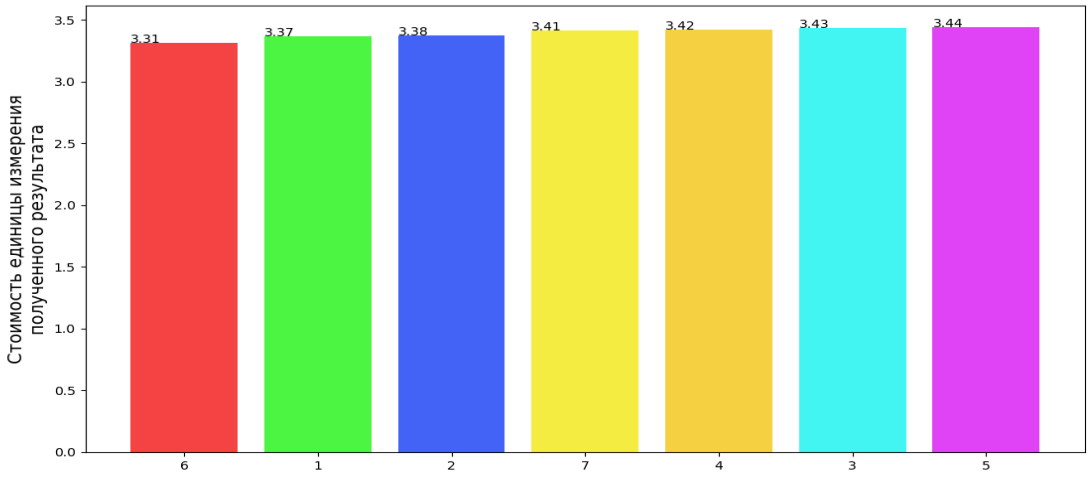


Figure A.3.1.6. Distribution at the average cost of exploitation of evaluated systems in one day

Conclusion: The results obtained (fig. A.3.1.5 and fig. A. 3.1.6) allow us to conclude that the LPR made the right decision on the choice for the exploitation system 6. This decision, adopted based on the results of a comprehensive quality assessment, led to saving on average for the year exploitation (140 days) per system 84 thousand rubles compared to system 1, which has the best results among the remaining systems of 2, 7, 4, 3 and 5, and compared to the worst system 5, was 182 thousands of rubles.

A.3.2. An example of the use of aggregation of input variable resources when assessing the effectiveness of systems.

In this example, there is one input variable - these are exploitation budgets of four identical systems (X_1) and one result, expressed in the amount of day of stable Exploitation in the same adverse conditions (Y).

At the same time, the developed methods and means were used in system 1, including information reserves created on their basis, that is, the integration reserves of the system were used (paragraphs No. 1.3 and No. 5.3 of the dissertation).

In systems 2, 3 and 4 – were not used.

Система	Количество израсходованных ресурсов		Стоимость единицы измерения израсходованного ресурса в тыс. рублей		Стоимость затрат ресурсов на достижение результата	Количественное выражение полученного результата (y)	Стоимость единицы измерения полученного результата	Соотношение затрат ресурсов и результата	
	x1 (т.р.)	x2 (0)	p1	p2				x1/y	x2/y
1	362.0	0.0	1	0	362.0	11.8	30.67797	30.67797	0.0
2	367.0	0.0	1	0	367.0	11.1	33.06306	33.06306	0.0
3	367.5	0.0	1	0	367.5	10.7	34.34579	34.34579	0.0
4	368.0	0.0	1	0	368.0	10.2	36.07843	36.07843	0.0

Figure A.3.2.1. Calculation results

Система	Количество набранных баллов по результату	Количество набранных баллов по стоимости общ	Количество набранных баллов по расходу x1	Количество набранных баллов по расходу x2	Количество набранных баллов по общ. ст. ед. изм. результата	Общее количество баллов
1	4	4	4	4	4	20
2	3	3	3	3	3	15
3	2	2	2	2	2	10
4	1	1	1	1	1	5

Рейтинг систем по наибольшему значению набранных баллов, при условии равных коэффициентов важности показателей оценки эффективности: :
1. 1 - 20
2. 2 - 15
3. 3 - 10

Figure A.3.2.2. The results of the calculations of the rating of systems for the period exploitation in adverse conditions

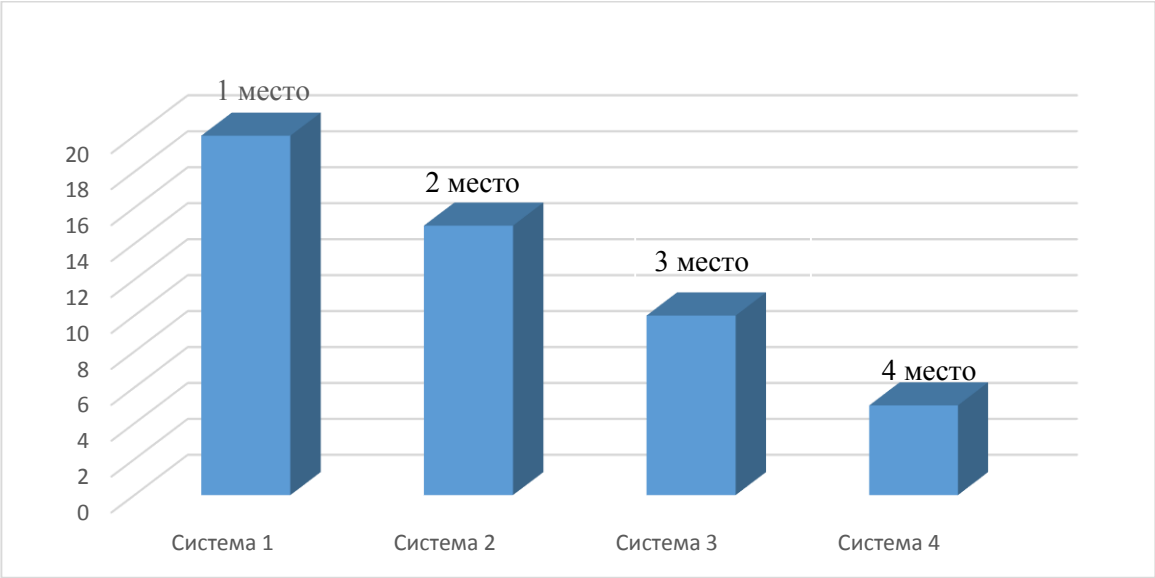


Figure A.3.2.3. The performance rating of systems for the period exploitation in adverse conditions

Степень корреляционной зависимости между парами значений показателей				
Очень слабая корреляция 0 < |r| <0,5	Слабая корреляция 0,5 < |r| < 0,7	Средняя корреляция 0,7 < |r| < 0,8	Высокая корреляция 0,8 < |r| < 0,9	Очень высокая корреляция 0,9 < |r| < 1
X1/Y И X2/Y r = nan				X1 И Y r = -0.9092988098824766
X1 И X2 r = nan				Собщ. и У r = -0.9092988098824766

Figure A.3.2.4. Correlation dependence between the budget and the result

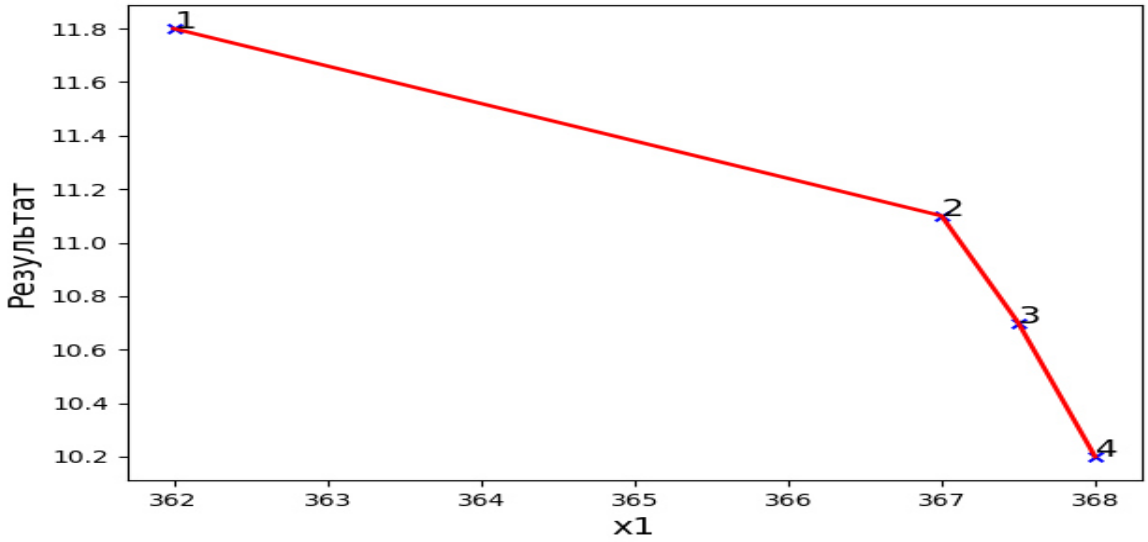


Figure A.3.2.5. The schedule of the dependence between the budget and the result: the system has less budget in the system - more result

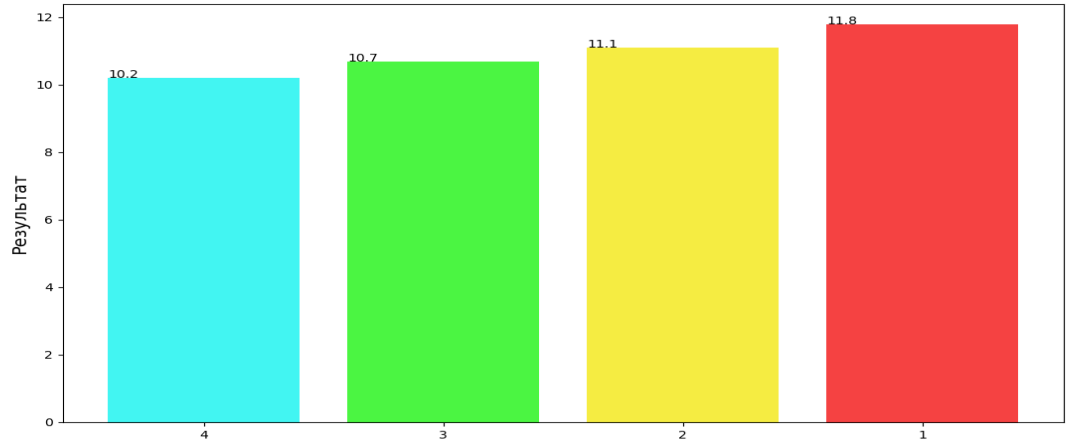


Figure A.3.2.6. The number of days of sustainable functioning of systems

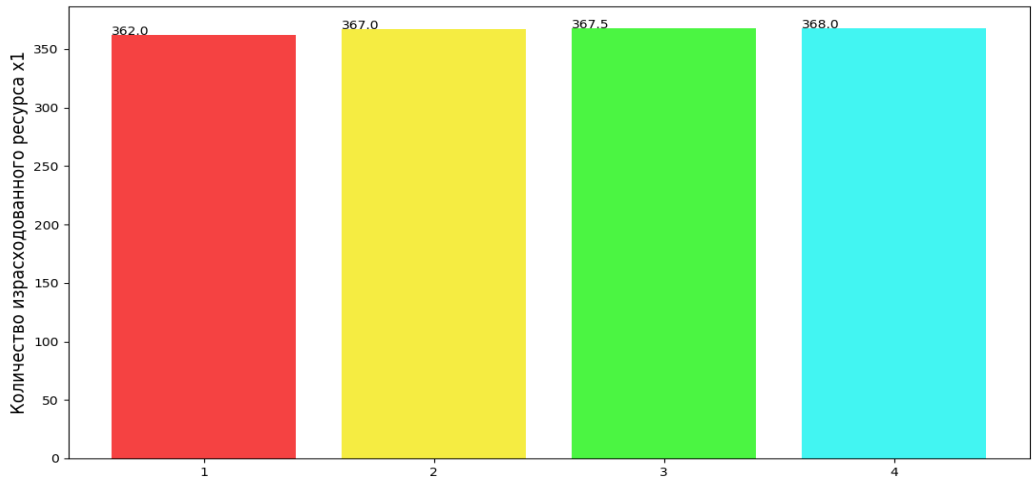


Figure A.3.2.7. The distribution of budget for the evaluated systems for the period of exploration in adverse conditions

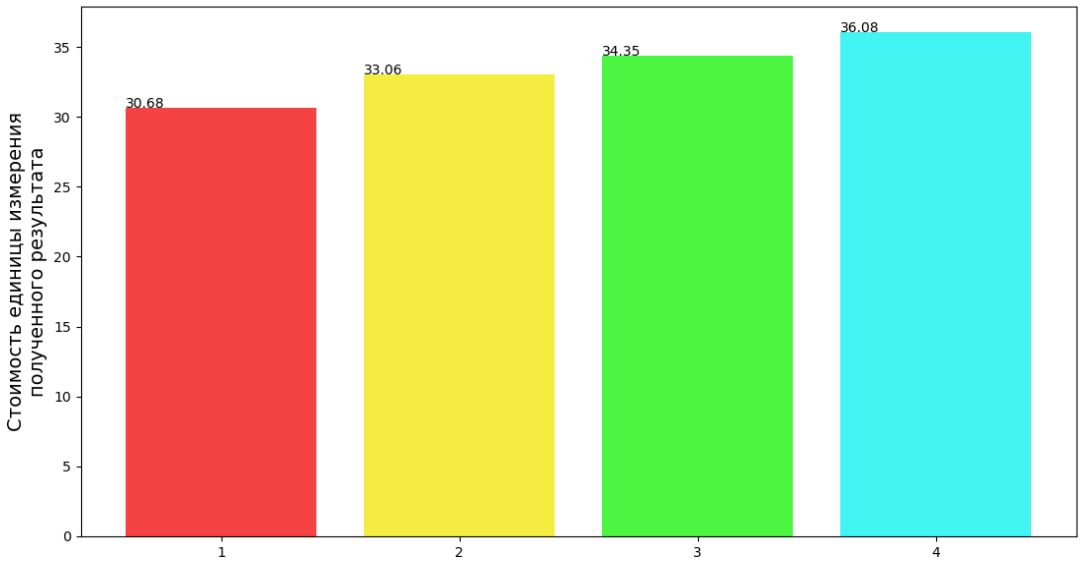


Figure A.3.2.8. The cost of one day exploitation evaluated systems In adverse conditions

Conclusion: system 1, where the methods, methods and IR were used as integration reserves of the system (fig. 5.3.10) showed the best result with a significantly lower expenditure of budget funds. Moreover, in other systems, a slight change in the result from the spent budget was observed.

Section A.4. The methodology for analysis and assessment of the probability of a big technical system's non-performance of its functions in the process of exploitation together with a computer program

"Calculation and analysis of probabilistic characteristics of a system" [44]

In the example, it is required to determine:

Part 1. In which of the two communication systems of emergency recovery formations that have two different types of the probability of sustainable management of emergency and recovery formations by the staff of the radio station will be higher: $P_1(9)$ or $P_2(10)$.

Part 2. The values of the failure of the failure of radio stations of the first and second types $P_1(1)$ and $P_2(1)$ in systems 1 and 2 in order to $P_1(9)$ and $P_2(10)$ They were equal to zero with a given accuracy of six signs after aim.

Initial data: In the first communication system of emergency recovery formations (hereinafter referred to as the system 1), the number of radio stations is operated n_1=63. It is determined that the simultaneous refusal (malfunction, destruction, etc.) x_1 =9 and more than the number of radio stations will lead to a loss of sustainable management of emergency recovery formations. Moreover, for the 1st probability of refusal (malfunction, destruction, etc.) of one radio station of the first type functioning in system 1, it will be equal $P_1(1)$=0,038.

In the second communication system of emergency recovery formations (hereinafter-the system 2), the values of indicators are given n_2 = 56, x_2 = 10 and radio stations of the second type, functioning in the second system $P_2(1)$=0,044.

Part 1.

Calculation of the probability of loss of sustainable control in systems 1 and 2.

Based on the results of the calculations, we obtain for system 1 value $P_1(9)$ = 0,000483 (table A.4.1, fig. A.4.1, A.4.2 and A.4.3), and for the system $P_2(10)$ = 0,000122 (table A.4.2, fig. A.4.4, A.4.5 and A.4.6).

Thus, the probability of loss of sustainable control is less in the system 2 than in system 1 on $\Delta P_{1,2}$ = 0,000361.

Table A.4.1

The results of the calculation of probabilistic characteristics of the system 1

X	$F_1(x)$	$P_1(x)$
0	0.08710228302444337	0.08710228302444337
1	0.3038620185343367	0.21675973550989336
2	0.569291299647283	0.26542928111294634
3	0.7824808608461082	0.21318956119882523
4	0.9087990000179693	0.1263181391718611
5	0.9676774341184501	0.058878434100480784
6	0.9901597745130204	0.02248234039457028
7	0.9973912490147488	0.007231474501728427
8	0.9993908043343536	0.0019995553196047416
9	**0.9998734874734126**	**0.000483**

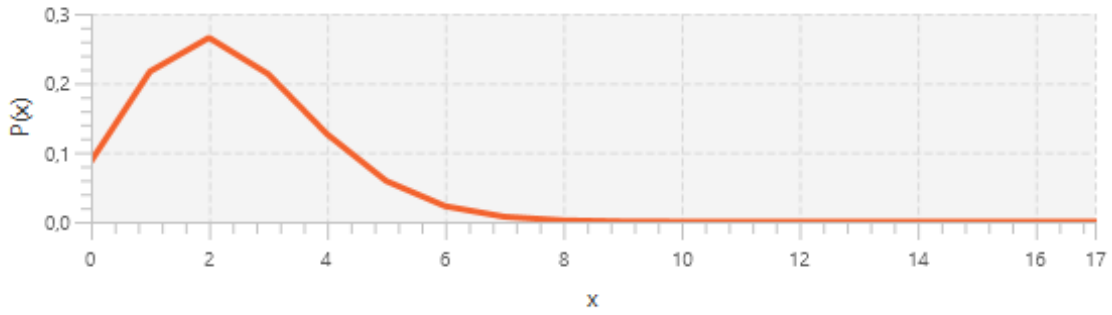


Figure A.4.1. The probability schedule of failure of radio stations of the first type in the system 1

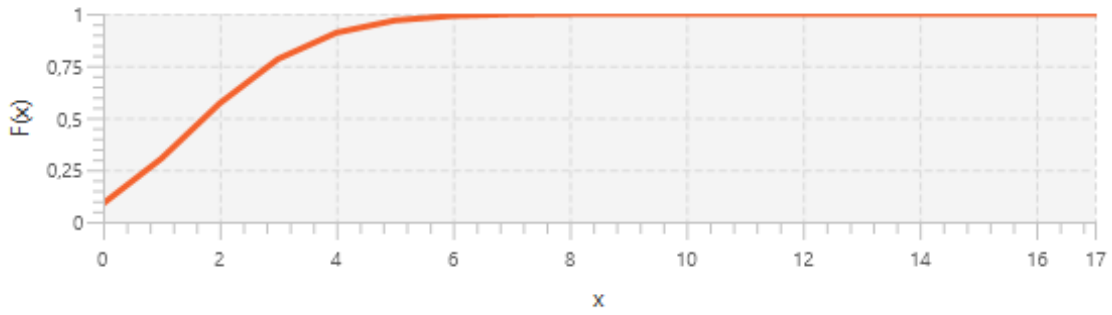


Figure A.4.2. Cumulative probability of failure of radio stations first type in system 1

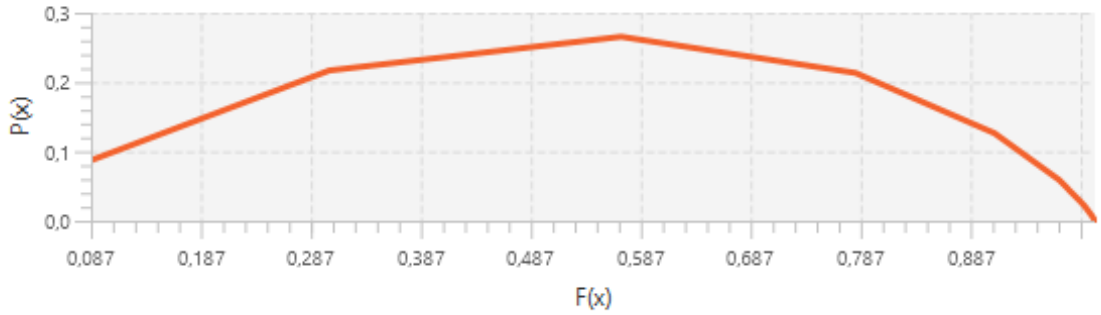


Figure A.4.3. Dependence graph $P_1(x)$ on $F_1(x)$ in system 1

Table A.4.2

The results of the calculation of probabilistic characteristics of the system 2

X	$F_2(x)$	$P_2(x)$
0	0.08047147605083911	0.08047147605083911
1	0.2878791298053031	0.207407653754464
2	0.5503930011890912	0.2625138713837881
3	0.76787311220997	0.21748011102087886
4	0.9004995815877654	0.13262646937779538
5	0.9639827116999822	0.06348313011221669
6	0.9888181621832134	0.024835450483231217
7	0.9969828350856504	0.008164672902437041
8	0.9992844871224776	0.0023016520368271784
9	0.9998494672598299	5.649801373522781E-4
10	**0.9999716826284538**	**1.2221536862390284E-4**

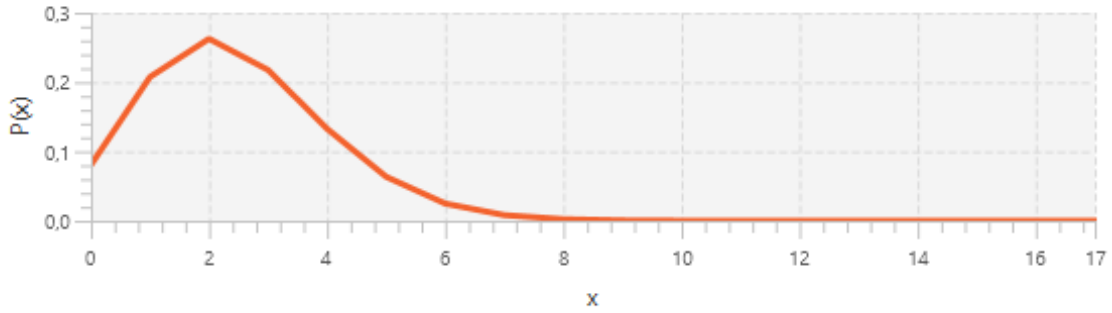


Figure A.4.4. The probability schedule of failure of radio stations of the second type in the system 2

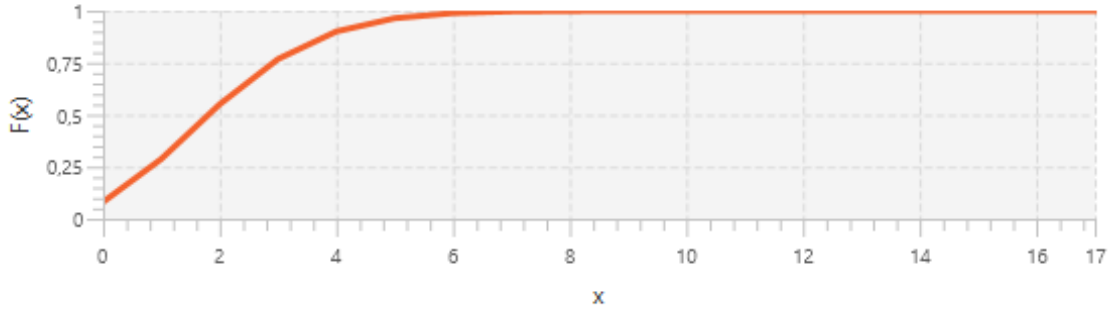


Figure A.4.5. Cumulative probability of failure of radio stations second type in system 2

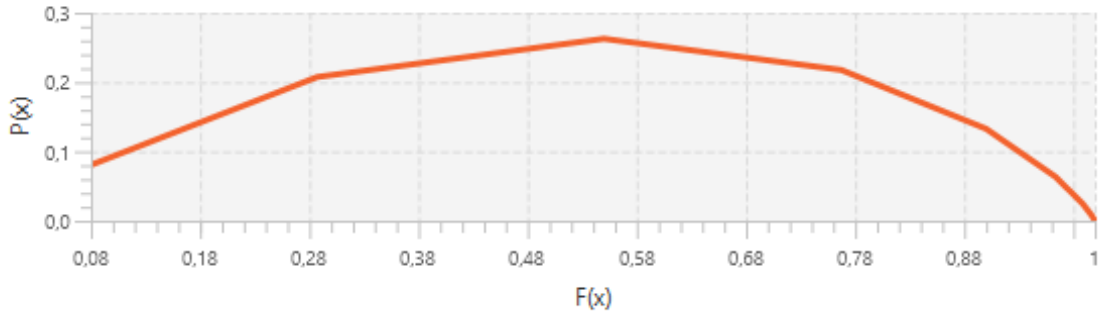


Figure A.4.6. Dependence graph $P_2(x)$ on $F_2(x)$ in system 2

Part 2.

Calculate the required probabilities of failure of radio stations of the first and second types $P_1(1)$ and $P_2(1)$ in systems 1 and 2 in order to $P_1(9)$ and $P_2(10)$ were equal to zero with a given accuracy of six decimal places.

As a result of calculations, it was established (fig. A.4.7 and A.4.8):

2.1. In the system 1 probability of loss of sustainable management $P_1(9) = 0$ with a given accuracy of six signs after aim, it will be with the value of the probability of failure of one radio station of the first type $P_1(1) \leq 0{,}015404$ (fig. A.4.7).

2.2. In the system 2, the probability of loss of sustainable management $P_2(10) = 0$ with a given accuracy of six signs after aim, it will be with the value of the probability of failure of one radio station of the second type $P_2(1) \leq 0{,}0229703$ (fig. A.4.8).

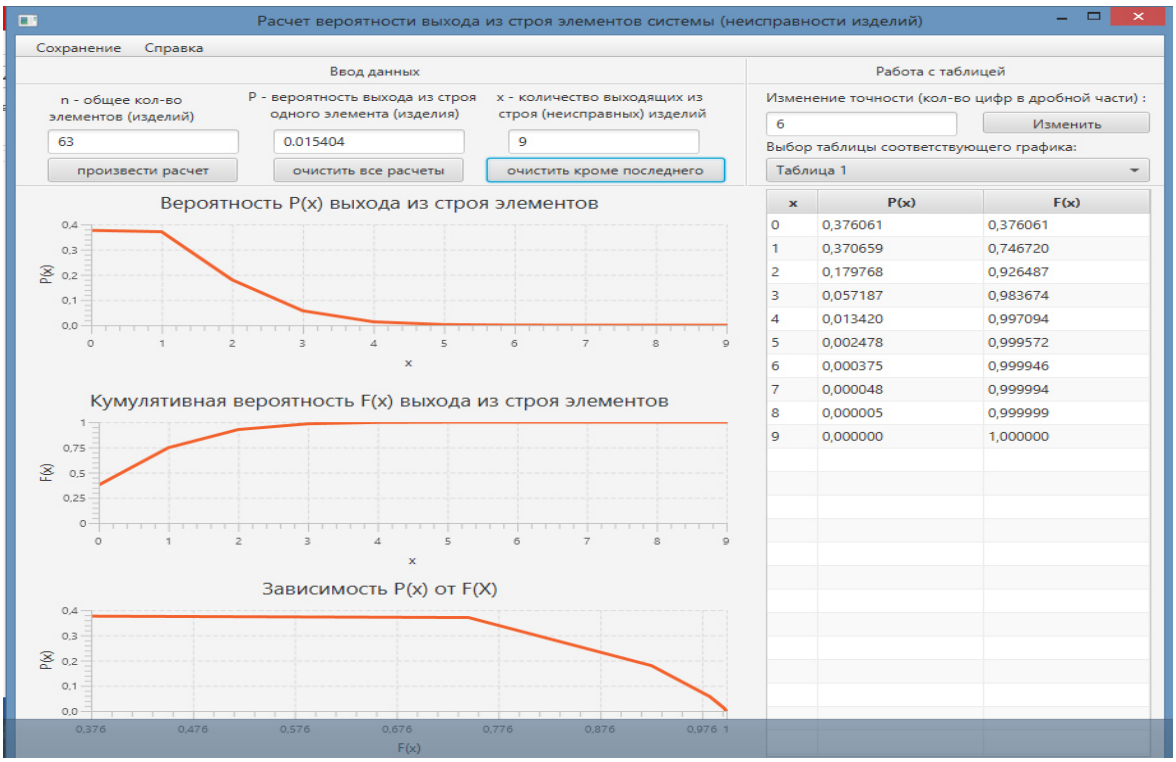


Figure A.4.7. The results of calculating the probability of failure of the radio station of the first type $P_1(1)$ in system 1, at $P_1(9) = 0$ with a given accuracy of six signs after aim

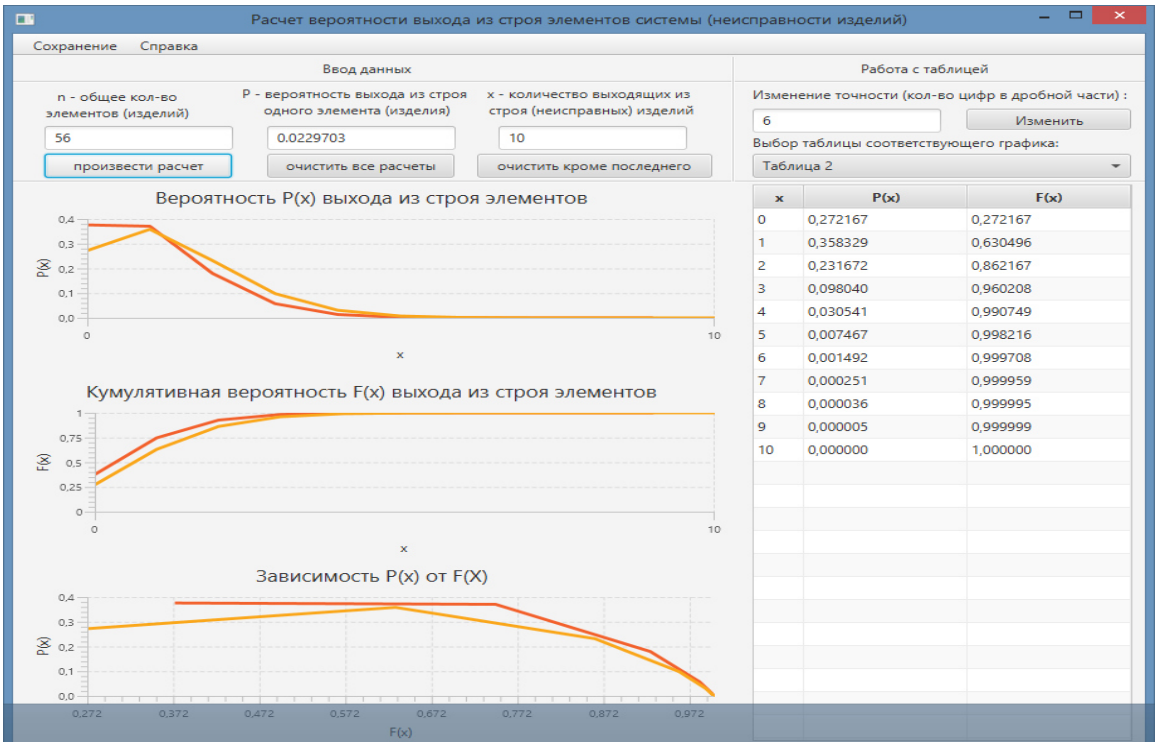


Figure A.4.8. The results of calculating the probability of failure of the second type of radio station $P_2(1)$ in system 2, at $P_2(10) = 0$ with a given accuracy of six signs after aim

Section A.5. The methodology for the analysis and assessment of the processes of ensuring of the stability of big technical systems together with the computer program "Assessment of systems stability" [47]

Assessment of the stability of the «test 3» system functioning in adverse conditions

Table A.5.1

The initial parameters of the functioning of the system

№ n/p	Name of the indicator	Designation, unitofmeasurement	The value of the indicator	Set limit
1	Period of stable exploitationsystem exploitation	ΔT, day	10	≥ 10
2	Number of elements put into operation, 1 group	N_1	26	> 0
3	Number of elements performing system functions, 2 group	N_2	38	≥ 38
4	Number of other elements: support subsystem,reserve, group 3	N_3	45	> 0
5	Number of elements of group 1 that were put into operation (restored)	P_1	11	> 0
6	Number of elements of group 1 that were not transferred to group 2 due to resource deficiencies	A_1	1	> 0
7	Number of defective elements of group 1	B_1	2	> 0
8	Number of elements of group 1 transferred to group 2	F_1	8	> 0
9	Number of elements of group 2 transferred to group 3 (faulty, but still subject to restoration or suitable for use)	Q_2	7	> 0
10	Number of non-recoverable elements in group 2	D_2	4	> 0

№ n/p	Name of the indicator	Designation, unitofmeasurement	The value of the indicator	Set limit
11	Number of elements of 3 groups that have moved to 1 group	H_3,	9	> 0
12	Number of shifts in days	Lc,	2	= 2
13	Time of one shift	T_s, per hourax	12	= 12
14	Maximum resource consumption for 1 element of 1 group (Cost) per day	R_1, in thousandsof rubles	10	> 0
15	Max. resource consumption for restoring (repairing) an element of group 2 (Cost) per day	R_{b2}, in thousands ofrubles	145	145≤
16	Maximum resource consumption for 1 element of group 2	R_2, in thousands of rubles	56	> 0
17	Maximum resource consumption per 1 element of group 3 (Cost) per day	R_3, in thousandsof rubles	4	4 ≤
18	Maximum man-hours spent per 1 element of group 1 per day	W_1, person/hour	10	10 ≤
19	Maximum man-hours spent on restoring (repairing) an element of group 2 (Cost) per day	W_{b2}, person/hour	145	145 ≤
20	Maximum consumption of man-hours for 1 element of group 2 per day	W_2, person/hour	56	56 ≤
21	Maximum consumption of man-hours for 1 element of group 3 per day	W_3, person/hour	4	4 ≤
22	The predicted number of losses of specialists of the 1rd group per shift	S_{n1}, personovek	4	> 0
23	The predicted number of losses of specialists of the 2rd group per shift	S_{n2}, person	1	> 0
24	The predicted number of losses of specialists of the 3rd group per shift	S_{n3}, person	2	> 0

Table A.5.2

System calculation parameters

№ n/p	Name of the indicator	Designation, unitofmeasurement	The value of the indicator	Set limit
1	Resource consumption per 1 group (Cost) per day	R_{day1}, in thousandsof rubles	1855	> 0
2	Resource consumption per 1 group (Cost) for the period of operation	R_{f1}, in thousandsof rubles	18550	> 0
3	Resource consumption per 2 group (Cost) per day	R_{day2}, in thousands of rubles thousandrubles	2128	> 0
4	Resource consumption for group 2 (Cost) for the period of operation	R_{2f}, in thousandrubles	21280	> 0
5	Resource consumption for group 3 (Cost) per day	R_{day3}, in thousandrubles	180	> 0
6	Resource consumption for group 3 (Cost) for the period of operation	R_{f3}, in thousandsof rubles	1800	> 0
7	Resource consumption (Cost) of system operation per day	R_{day}, in thousandsof rubles	4163	> 0
8	Cost of system operation during the period of operation	R, in thousandsof rubles	41630	> 0
9	Consumption of man-hours per 1 group per day	W_{day1}, person / hour	1855	> 0
10	Consumption of man-hours per group 1 for the period of operation	W_{f1}, people / hour	18550	> 0
11	Consumption of man-hours per group 2 per day	W_{day2}, people/hour	2128	> 0
12	Consumption of man-hours per group 2 for the period	W_{f3}, people/hour	21280	> 0
13	Consumption of man-hours per group 3 per day	W_{day3}, people/hour	180	> 0

№ n/p	Name of the indicator	Designation, unitofmeasurement	The value of the indicator	Set limit
14	Consumption of man-hours per group 3 for the period of operation	W_{f3}, people/hour	1800	> 0
15	Consumption of man-hours for the operation of the system per day	W_{day}, people/hour	4163	> 0
16	Consumption of man-hours for the operation of the system for the period of operation	W, people/hour	41630	> 0
17	Minimum required number of specialists in 1 shift for group 1	S_{min1}, person	78	> 0
18	Minimum required number of specialists in 1 shift for group 2	S_{min2}, person	89	> 0
19	Minimum required number of specialists in 1 shift for group 3	S_{min3}, person	8	> 0
20	Minimum required number of specialists in 1 shift for group personnel in 1 shift for the entire system	S_{minC}, person	175	> 0
21	Minimum required number of personnel for the entire system for the period of operation	S_{min}, person	350	> 0
22	Required number of specialists in one shift for group 1	S_1, person	82	> 0
23	Required number of specialists in one shift for 2 groups	S_2, person	90	> 0
24	Required number of specialists in one shift for 3 groups	S_3, person	10	> 0
25	Required number of personnel in one shift for the entire system	Sc, person	182	> 0
26	Required number of personnel for the entire system for the period of operation	S, person	490	> 0
27	Required number of personnel for repair and restoration ϕoperations for the period	S_{N1}, person	236	> 0

№ n/p	Name of the indicator	Designation, unitofmeasurement	The value of the indicator	Set limit
28	Required number of personnel directly to ensure the functioning (performance of basic functions) of the system for the period of operation	S_{N2}, person	198	> 0
29	Required number of personnel to ensure the subsystem of inventory storage and redundancy for the period of operation	S_{N3}, person	56	> 0

Table A.5.3

Assessment of the processes of ensuring of the stability of the system

System functioning coefficients			
№ n/p	The name of the coefficient	Designation	Value
1	Coefficient of putting new elements (group 1) into operation	p	0.4230769230769231
2	Coefficient of accounting for the impact of resource shortage on the first group of elements	a	0.038461538461538464
3	Coefficient of destruction of elements of the first group	b	0.07692307692307693
4	Coefficient of recovery intensity (transition of elements of group 1 to group 2)	f	0.3076923076923077
5	Coefficient of intensity of transition of elements of the 2nd group to the 3rd group	q	0.18421052631578946
6	Coefficient of destruction (malfunction) of elements of the second group	d	0.10526315789473684
7	Coefficient of use (loss) of elements of the third group in the interests of the 1st group	h	0.2

The coefficient ensuring of the stability of the systems:

$U = 1.0688551565053004$.

Output:

The «test 3» system is stable during the period "10 days"

under given conditions and restrictions.

Section A.6. The methodology for assessment of the quality of components of a big technical system based on complex indicators and rules of logical output within their expert paired comparison

Stage I. LPR decided to evaluate the quality of systems performing the specified functions in the BTS. The LPR selected the following indicators of the quality assessment of the system in the field of exploitation and technical support:

- exploitation time to conducting the first maintenance (hereinafter – TO-1) (t_{mo});

- the predicted diesel fuel consumption for 1 (one) hour of the system in the specified conditions exploitation (in liters), (L_n), and the number of regulatory maintenance maintenance that can be used when using spare tools and accessories, which are included in the system delivery (number of maintenance), (C_{mo});

- the adaptation of the system and the attached set of spare instruments and accessories (hereinafter – ZIP) for exploite and conduct technical support systems in the specified conditions of functioning, (K_c).

By decision of the LPR, 7 (seven) systems from among the systems operated in the BTS and similar systems that perform the required functions under specified conditions were selected to assess quality. In the example, the names of the selected systems are their serial numbers: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. It is determined that for t_{mo}, L_n, C_{mo} – this is the statistical information contained in the reports, technical description, passports for the product. External sources for obtaining such information can serve as sites of manufacturers on the Internet. The best quantitative values of these indicators for the best system:

- t_{mo} – this is the maximum number of hours of the system to TO-1;

- L_n – this is the minimum consumed amount of diesel fuel in liters;

- C_{mo} – this is the largest number of routine maintenance that can be carried out using spare tools and accessories, which are included.

t_{mo}, L_n и C_{mo} – these are the main indicators for assessing the quality of systems.

For K_c – this is expert information obtained as a result of expert surveying after studying the technical description and passport for each evaluated product. At the same time, LPR determines that the value K_c. Use for additional quality assessment, that is, the

3rd stage is carried out, but is not the main one. Respectively, normalized weight coefficient K_c it is decided not to determine. 11 experts from among the personnel operating similar systems are assigned. The weight coefficients of the competence of experts are calculated. To reduce the degree of mutual influence, each expert received his serial number (table A.6.1).

Table A.6.1.

Normalized weight coefficients of expert competence

Number expert	The quantitative values of the selected indicators of the expert's competence assessment (unit of measurement), (*Pi*)			The quantitative values of the weight coefficients of the competence of experts for selected indicators (q_{pi})			Expert competence coefficient (q_j)
	Experience exploitation work of similar systems (number of years)	The number of similar products on which the expert worked (number of products)	Expert work experience on BTS (number of years)	q_{ci}	q_{TOi}	q_{pi}	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	8	2	10	0,07692308	0,05	0,05714	0,06135531
2	11	5	15	0,10576923	0,125	0,08571	0,10549451
3	7	1	25	0,06730769	0,025	0,14286	0,07838828
4	11	8	25	0,10576923	0,2	0,14286	0,14954212
5	17	8	20	0,16346154	0,2	0,11429	0,15924908
6	14	2	15	0,13461538	0,05	0,08571	0,09010989
7	6	2	10	0,05769231	0,05	0,05714	0,05494505
8	9	4	10	0,08653846	0,1	0,05714	0,08122711
9	12	5	25	0,11538462	0,125	0,14286	0,12774725
10	9	3	20	0,08653846	0,075	0,11429	0,08419993
11	8	2	10	0,07692308	0,05	0,05714	0,06135531
The normalization condition is fulfilled				1	1	1	1

Normalized weight coefficients of experts (q_n) determined by three equivalent normalized coefficients (table A.6.1) obtained on the basis of the following quantitative indicators:

- q_{ci} – exploitation work experience in similar systems;

- q_{TOi} – the coefficient of similar systems (products) of various types that was operated and conducted by technical support expert;

- q_{pi} – work experience directly at the facility.

The normalized weight coefficients of the importance of the selected indicators were determined by polling data 11 experts – table A.6.2.

Table A.6.2

The results of calculating the standardized weight coefficients of the chosen indicators of the assessment of systems based on statistical information (C_i)

Number expert	Expert competence coefficient, (q_j)	t_{mo}	L_n	C_{mo}
1	2	3	4	5
1	0,06135531	3	8	5
2	0,10549451	4	9	4
3	0,07838828	3	10	4
4	0,14954212	2	4	5
5	0,15924908	4	10	5
6	0,09010989	5	10	6
7	0,05494505	5	9	7
8	0,08122711	4	9	8
9	0,12774725	6	10	4
10	0,08419993	3	10	3
11	0,06135531	2	8	9
$C_j = c_j \Big/ \sum_{j=1}^{11} c_j$		C_t =0,2	C_L =0,5	C_{mo} =0,3
The normalization condition is fulfilled $\sum_{j=1}^{3} C_j = 1$			Consent of experts: W = 0,6	

Stage II. The official appointed by LPR, according to the results of the study of sources of information, introduced the initial data on his ARM for filling out columns 1, 2, 10, 11, 12 of tables A.6.3, A.6.4 and A.6.5. Further, the program based on the resulting source data makes calculations and fills the tables presented in the example:

- table A.6.3 for 7 (seven) selected systems in order to evaluate their quality according to the chosen indicator: exploitation time of the first before the first one (unit of measurement - hours), (t_{mo});

- table A.6.4 in terms of “diesel fuel consumption for 1 (one) hour of the system in the conditions of exploitation BTS (in liters), (L_n) “;

- table A.6.5 for another chosen indicator “The number of regulatory maintenance (TO), which can be carried out when used by consumables and spare tools and accessories included in the system supply (number of then), (C_{mo}) “.

Table A.6.3

Statistical information to assess the quality of systems
according to the chosen indicator of quality assessment
exploitation time of the system before the first (the number of hours of work),
(t_{mo}),

_____

(indicator name, unit measurement of the indicator)

Systems	0,2	Systems							Sources of information about systems		The date
		1	2	3	4	5	6	7			
Systems	t_{mo}	240	342	330	370	400	252	380	Internal	External	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	240	0	-102	-90	-130	-160	-12	-140		Internet site 1	23.01.20
									User's manual		24.01.20
2	342	102	0	12	-28	-58	90	-38		Directory	23.01.20
3	330	90	-12	0	-40	-70	78	-50	User's manual	Internet site 4	24.01.20
										Internet site 2	24.01.20
4	370	130	28	40	0	-30	118	-10		Internet site 3	23.01.20
5	400	160	58	70	30	0	148	20	User's manual	Internet site 4	24.01.20
6	252	12	-90	-78	-118	-148	0	-128		Internet site 4	24.01.20
7	380	140	38	50	10	-20	128	0		Directory	24.01.20
									Technical description of the product		24.01.20
The results of checking data for consistency:						Norm					

The tables check the data for consistency.

Further, in electronic form, using software (Matlab, Excel or other), calculations were made based on the quality indicators of the source data systematized in the tables corresponding to the selected indicators.

Table A.6.4

Statistical information to assess the quality of systems according to the chosen indicator of quality assessment the predicted consumption of diesel fuel per 1 (one) hour of the system under specified conditions exploitation (in liters), (L_n)

_____

(indicator name, unit measurement of the indicator)

Systems	0,5	Systems							Sources of information about systems		The date
		1	2	3	4	5	6	7			
Systems	L_n	32	36	34	40	38	33	35	Internal	External	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	32	0	-4	-2	-8	-6	-1	-3	User's manual		24.01.20
2	36	4	0	2	-4	-2	3	1		Directory	23.01.20
3	34	2	-2	0	-6	-4	1	-1	User's manual	Internet site 4	24.01.20
										Internet site 2	24.01.20
4	40	8	4	6	0	2	7	5		Internet site 3	23.01.20
5	38	6	2	4	-2	0	5	3	User's manual	Internet site 4	24.01.20
6	33	1	-3	-1	-7	-5	0	-2		Internet site 4	24.01.20
7	35	3	-1	1	-5	-3	2	0	Technical description of the product		24.01.20
The results of checking data for consistency:						Norm					

The results of calculations on the quality assessment of systems and system ratings are available on ARM interested officials and ARM LPR in the form of the following tables:

- table A.6.6, the rating is compiled at the greatest time exploitation systems before the first TO (t_{mo});

- table A.6.7, The rating is compiled according to the smallest predictable consumption of diesel fuel for 1 (one) hour of the system in conditions exploitation BTS (L_n), (measured in the number of liters of diesel fuel);

Table A.6.5.

Statistical information to assess the quality of systems
according to the chosen indicator of quality assessment
the number of regulatory maintenance maintenance that can be carried out when using the ZIP included in the system supply (number TO), (C_{mo}),

(indicator name, unit measurement of the indicator)

Systems	0,3	Systems							Sources of information about systems		The date
		1	2	3	4	5	6	7			
Systems	C_{mo}	2	4	3	3	1	5	4	Internal	External	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	0	-2	-1	-1	1	-3	-2	User's manual		24.01.20
2	4	2	0	1	1	3	-1	0		Internet site 1	24.01.20
3	3	1	-1	0	0	2	-2	-1		Internet site 4	24.01.20
4	3	1	-1	0	0	2	-2	-1		Internet site 3	23.01.20
5	1	-1	-3	-2	-2	0	-4	-3	User's manual	Internet site 4	24.01.20
6	5	3	1	2	2	4	0	1		Internet site 4	24.01.20
7	4	2	0	1	1	3	-1	0	Technical description of the product		24.01.20
The results of checking data for consistency:						Norm					

- table A.6.8, the rating is compiled by the largest number of regulatory ones that can be carried out when using the ZIP included in the system supply, (number of TO), (C_{mo}).

After entering the initial data, all calculations and the presentation of the results occur in real time, regardless of what program this method is implemented with. Further, to assess the quality in the II stage of this methodology in this example, this is the systematization of the results obtained in tables A.6.6-8, and their representation of LPR in the form of consolidated tables A.6.8.1, A.6.8.2, A.6.9.1 and A.6.9.2.

Table A.6.6

System quality assessment results based on statistical information according to the chosen indicator of quality assessment exploitation time of the system before the first (in watches), TO (t_{mo}),

(indicator name, unit measurement of the indicator)

Place in the ranking	System	t_{mo} (in the clock)	The quality factor of the system obtained on the basis of statistical data, D_n	The number of points scored by the system according to the results of paired comparison, U_n
1	System 5	400	0,172860847	486
2	System 7	380	0,164217805	346
3	System 4	370	0,159896283	276
4	System 2	342	0,147796024	80
5	System 3	330	0,142610199	-4
6	System 6	252	0,108902334	-550
7	System 1	240	0,103716508	-634
Sum			1	0
The results of checking data for consistency:			Norm	Norm

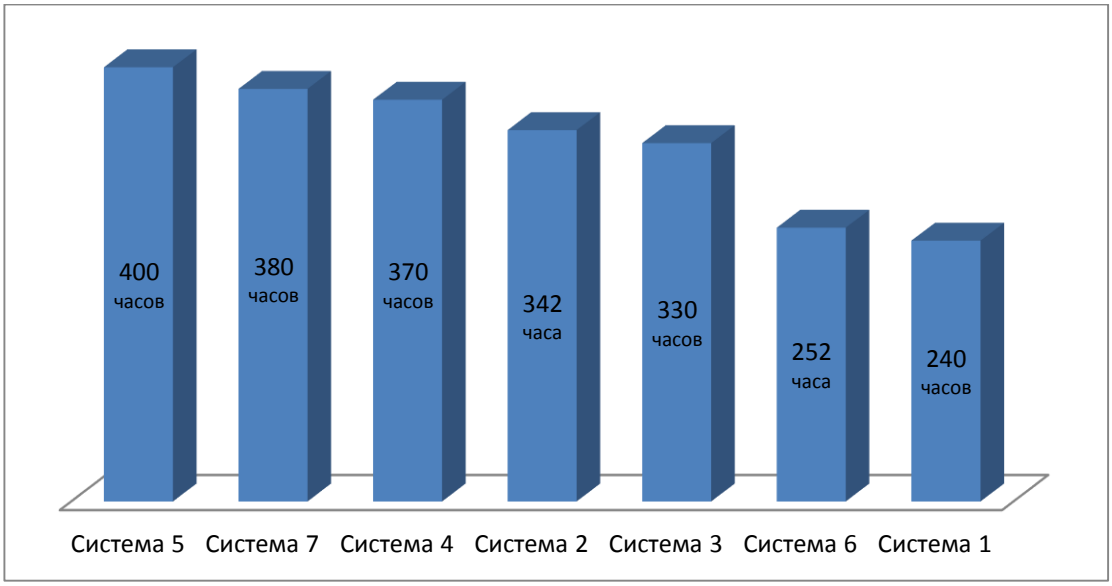


Figure A.6.1. Exploitation time of the system before the first (in the clock), (t_{mo}),

In these tables, calculations are made in 4 different ways:

- in table A.6.8.1, the results of the quality assessment of systems were obtained on the basis of statistical information and rating of 7 (seven) systems of 3 (three) indicators

of quality assessment, taking into account the standardized factors of quality assessment indicators (g_i) depending on the rating of systems for each selected indicator;

Table A.6.7

System quality assessment results based on statistical information according to the chosen indicator of quality assessment diesel fuel consumption per 1 (one) hour of the system in the conditions of exploitation BTS (in liters) (L_n),

(indicator name, unit measurement of the indicator)

Place in the ranking	System	L_n (measured in the number of liters of diesel fuel)	The quality factor of the system obtained on the basis of statistical data, D_n	The number of points scored by the system according to the results of paired comparison, U_n
1	System 1	32	0,129032258	-24
2	System 6	33	0,133064516	-17
3	System 3	34	0,137096774	-10
4	System 7	35	0,141129032	-3
5	System 2	36	0,14516129	4
6	System 5	38	0,153225806	18
7	System 4	40	0,161290323	32
Sum			1	0
The results of checking data for consistency:			Norm	Norm

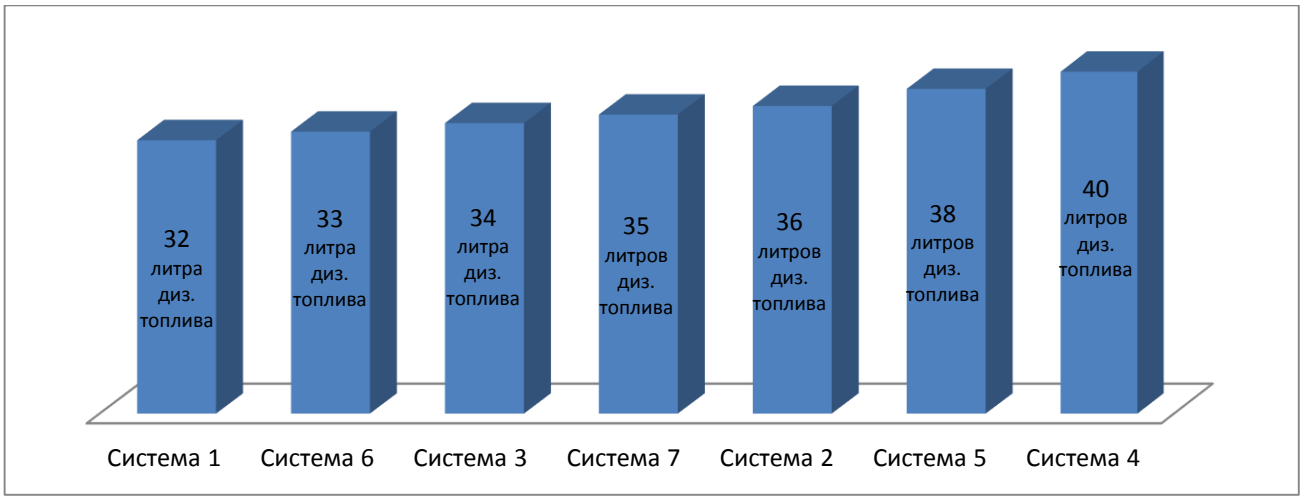


Figure A.6.2. Diesel fuel consumption per 1 (one) hour of the system in the conditions of exploitation BTS (in liters) (в литрах), (L_n)

Table A.6.8

System quality assessment results based on statistical information according to the chosen indicator of quality assessment the number of regulatory maintenance maintenance that can be carried out when using the ZIP included in the system supply (number TO), (C_{mo}),

(indicator name, unit measurement of the indicator)

Place in the ranking	System	C_{mo}	The quality factor of the system obtained on the basis of statistical data, D_n	The number of points scored by the system according to the results of paired comparison, U_n
1	System 6	5	0,227272727	13
2	System 7	4	0,181818182	6
	System 2	4	0,181818182	6
3	System 3	3	0,136363636	-1
	System 4	3	0,136363636	-1
4	System 1	2	0,090909091	-8
5	System 5	1	0,045454545	-15
Sum			1	0
The results of checking data for consistency:			Norm	Norm

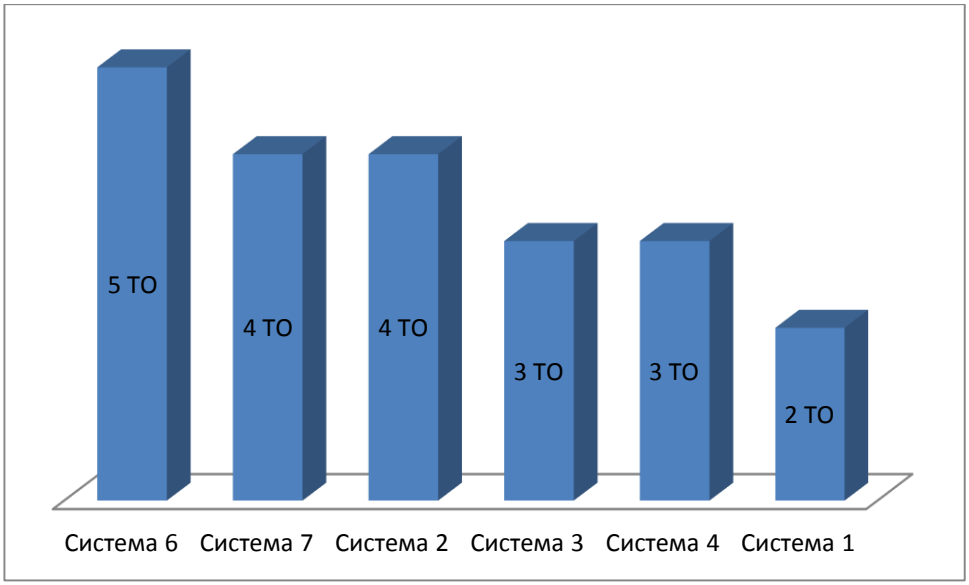


Figure A.6.3. The number of regulatory maintenance maintenance that can be carried out when using the ZIP included in the system supply kit (C_{mo}).

- table A.6.8.2, the results of the quality assessment of systems were obtained on the basis of statistical information and rating 7 (seven) systems of 3 (three) quality

indicators depending on the rating of systems for each selected indicator, but without taking into account the standardized factors of evaluation indicators qualities;

Table A.6.8.1

System quality assessment results
Based on statistical information and rating 7 (seven) systems
3 (three) indicators of quality assessment, taking into account the standardized factors of quality indicators depending on the rating of systems for each selected indicator

Place in the overall ranking	System	Quality assessment indicators						
		Q_{gn}	t_{mo} (g_t=0,2)		L_n (g_L=0,5)		C_{mo} (g_C =0,3)	
			number of hours	M_{tn}	литры	M_{Ln}	Кол-во ТО	M_{Cn}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	System 6	0,196429	252	6	33	2	5	1
2	System 7	0,174286	380	2	35	4	4	2
3	System 1	0,162143	240	1	32	1	2	3
4	System 3	0,155714	330	5	34	3	3	4
5	System 2	0,142143	342	4	36	5	4	2
6	System 5	0,100714	400	1	38	6	1	5
7	System 4	0,098571	370	3	40	7	3	4
The maximum allowable value of the indicator			absent		absent		absent	
The minimum permissible indicator value			absent		absent		absent	
Check results and action			Examination not carried out		Examination not carried out		Examination not carried out	

- in table A.6.9.1, the results of the quality assessment of 7 (seven) systems were obtained on the basis of statistical information about the values of 3 (three) selected indicators of quality assessment, taking into account the standardized factors of the importance of these indicators;

- in table A.6.9.2, the results of the quality assessment of 7 (seven) systems were obtained on the basis of statistical information about the values of 3 (three) selected indicators of quality assessment without taking into account the standardized factors of the importance of these indicators.

Table A.6.8.2

System quality assessment results
Based on statistical information and rating 7 (seven) systems
3 (three) indicators of quality assessment without taking into account normalized coefficients of the importance of quality assessment indicators
depending on the rating of systems for each selected indicator

Place in the overall ranking	System	Quality assessment indicators						
		Q_{gn}	t_{mo}		L_n		C_{mo}	
			number of hours	M_{tn}	liters	M_{Ln}	quantity TO	M_{Cn}
1	System 7	0,557143	380	2	35	4	4	2
2	System 6	0,535714	252	6	33	2	5	1
3	System 2	0,45	342	4	36	5	4	2
4	System 3	0,435714	330	5	34	3	3	4
5	System 1	0,385714	240	1	32	1	2	3
6	System 5	0,364286	400	1	38	6	1	5
7	System 4	0,100714	370	3	40	7	3	4
The maximum allowable value of the indicator			absent		absent		absent	
The minimum permissible indicator value			absent		absent		absent	
Check results and action			Examination not carried out		Examination not carried out		Examination not carried out	

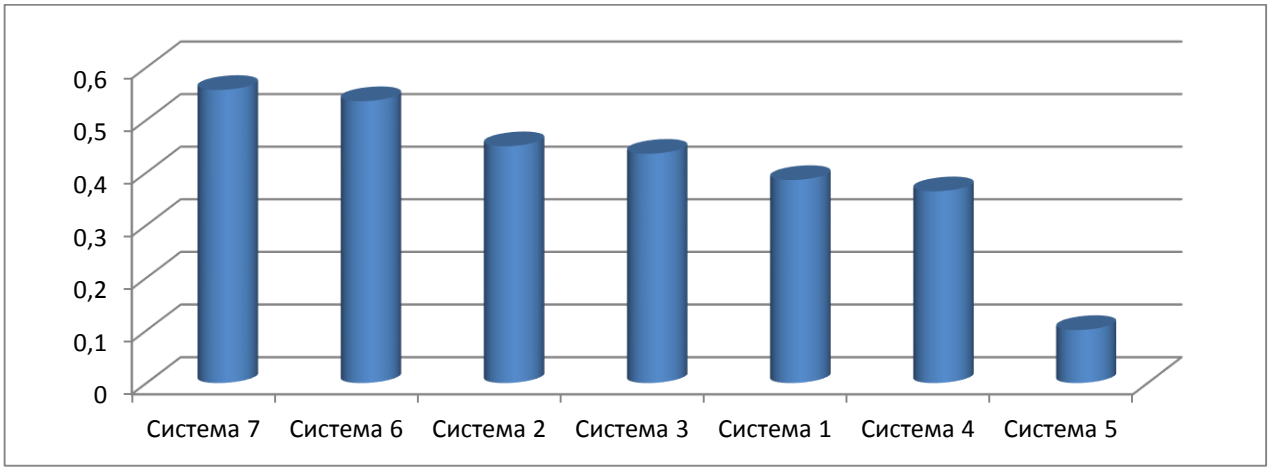


Figure A.6.4. System rating by table A.6.8.2

The generalization of the results and the conclusion based on the results of the quality assessment of the systems are presented in table A.6.10. Table A.6.10 is available on ARM LPR and interested officials. In this table, the system rating is compiled by the

largest number of points received when they are evaluated in various ways presented in the tables A.6.8.1, A.6.8.2, A.6.9.1 и A.6.9.2.

Table A.6.9.1.

The results of quality assessment 7 (seven) systems
based on statistical information about the values of 3 (three) selected quality assessment, taking into account the standardized factors of these indicators (g_i)

Place in the overall ranking	Systems	Quality assessment indicators			
		Q_n	t_{mo} (g_t=0,2)	L_n (g_L=0,5)	C_{mo} (g_C =0,3)
			number of hours	Litrs	quantityTO
1	System 6	0,199337	252	33	5
2	System 1	0,173016	240	32	2
3	System 7	0,165514	380	35	4
4	System 3	0,163181	330	34	3
5	System 2	0,146605	342	36	4
6	System 5	0,079459	400	38	1
7	System 4	0,072888	370	40	3
The maximum allowable value of the indicator			absent	absent	absent
The minimum permissible indicator value			absent	absent	absent
Check results			Examination not carried out	Examination not carried out	Examination not carried out

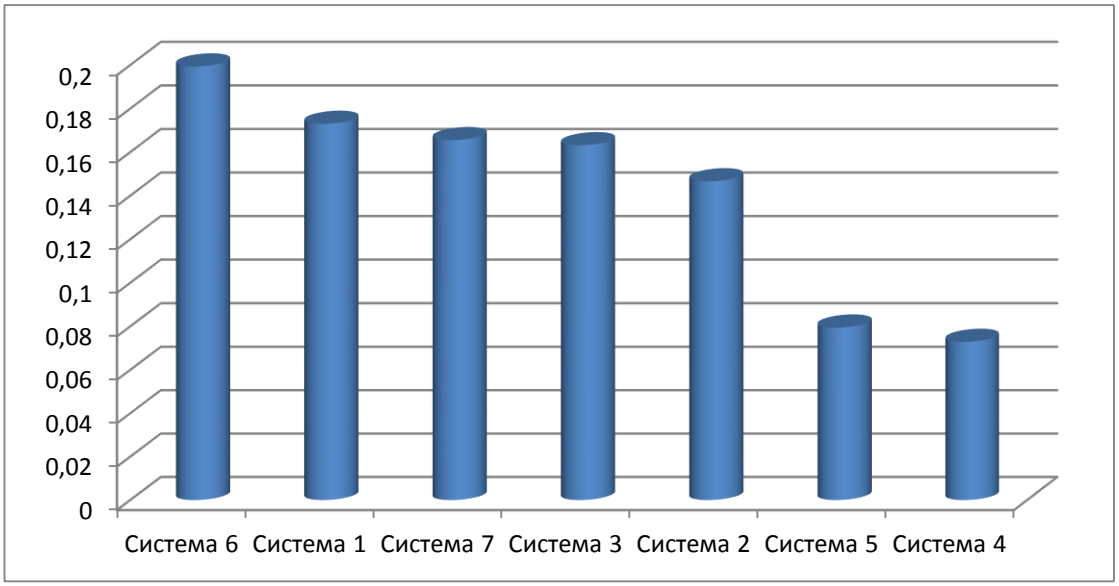


Figure A.6.5. System rating by table A.6.9.1

Table A.6.9.2.

The results of quality assessment 7 (seven) systems
based on statistical information about the values of 3 (three) of selected quality assessment indicators without taking into account the standardized factors of these indicators

Place in the overall ranking	System	Quality assessment indicators			
		Q_n	t_{mo}	L_n	C_{mo}
			number of hours	Litrs	quantityTO
1	System 6	0,554925	252	33	5
2	System 7	0,502286	380	35	4
3	System 3	0,466474	330	34	3
4	System 2	0,454614	342	36	4
5	System 1	0,444626	240	32	2
6	System 4	0,29626	370	40	3
7	System 5	0,280815	400	38	1
The maximum allowable value of the indicator			absent	absent	absent
The minimum permissible indicator value			absent	absent	absent
Check results			Examination not carried out	Examination not carried out	Examination not carried out

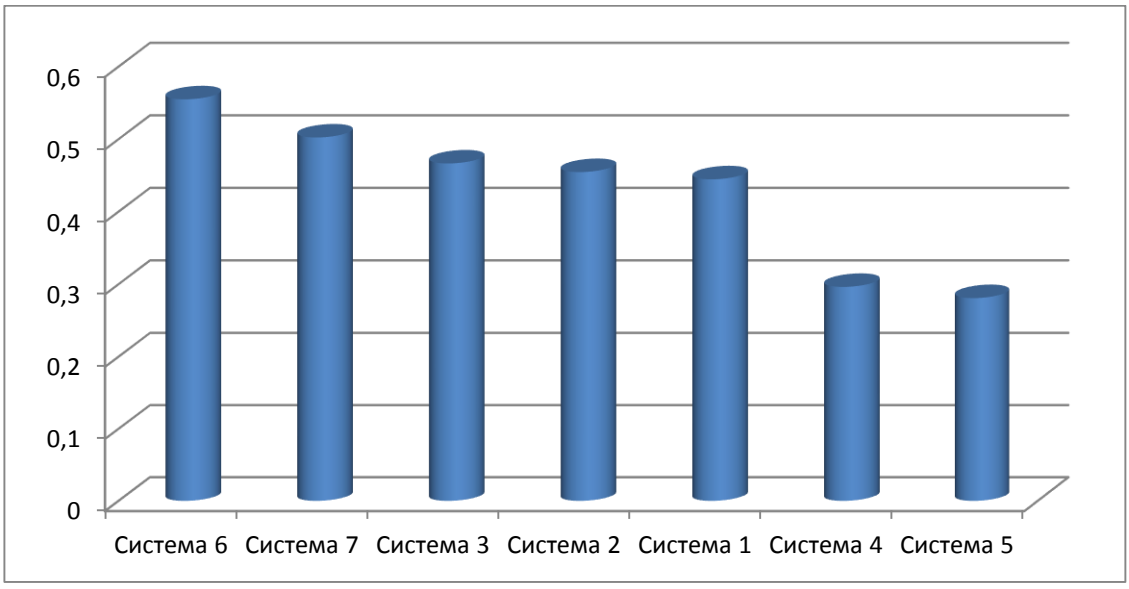


Figure A.6.6. System rating by table A.6.9.2.

To evaluate and make a decision, LPR can choose any of the above tables A.6.8.1, A.6.8.2, A.6.9.1 or A.6.9.2, based on the specifics of the exploitation evaluated BTS.

Table A.6.10

System rating based on the results of quality assessment in various ways when using statistical information

Place in the overall ranking	System	The amount of points for ratings	Place in the rating when evaluating quality in various ways according to the results of the assessment systematized in the tables:			
			table 8.1	table 8.2	table 9.1	table 9.2
1	System 6	27	1	2	1	1
2	System 7	24	2	1	3	2
3	System 1	17	3	5	2	5
3	System 3	17	4	4	4	3
4	System 2	15	5	3	5	4
5	System 5	7	6	6	6	7
6	System 4	5	7	7	7	6

Moreover, the analysis of the data in table A. 6.10 allows LPR to draw the following conclusions:

1. In 3 (three) scores of evaluation (tables A.6.8.1, A.6.9.1 and A.6.9.2), out of four methods used, the system is 6. In the fourth method (table A.6.8.2) System 6 ranks second.

2. With any method of assessing the worst systems, systems are 4 and 5.

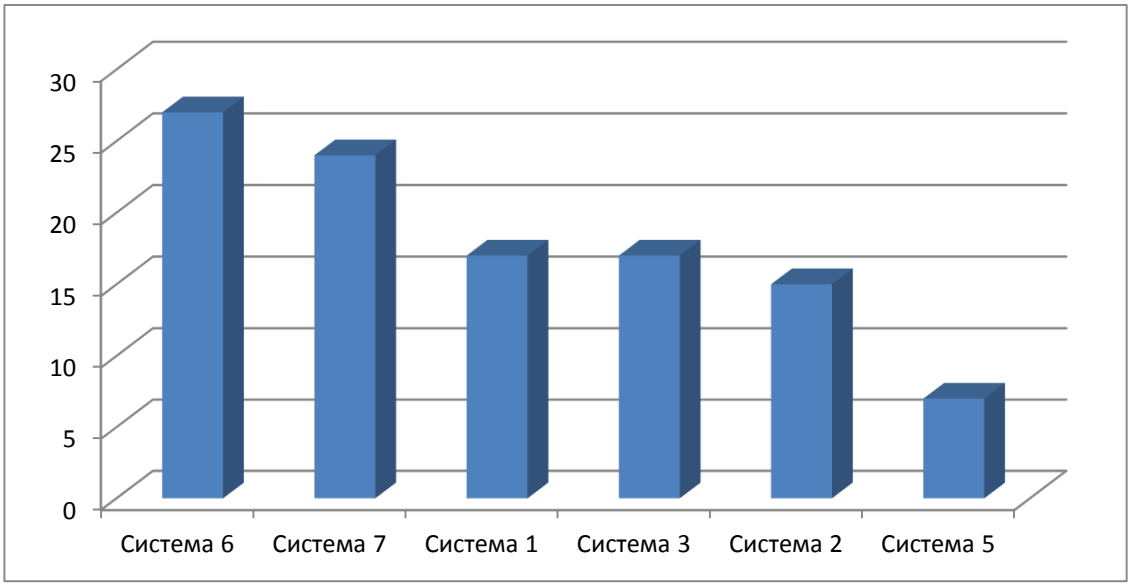


Figure A.6.7. System rating based on the results of quality assessment in various ways when using statistical information

Stage III. Based on the I stage of this methodology, using software for each expert, a table of processing and systematizing expert information was created when assessing the quality of 7 (seven) selected systems (table A.6.11) with an improved method of paired comparisons. In the example (tables A.6.11, A.6.12 and A.6.13), the quality of the systems of the first expert is evaluated. Other 10 (ten) experts evaluate the quality of the selected 7 (seven) systems similarly to the first expert.

Table A.6.11 presents the appearance of the table, which was received by all experts on their ARM from officials, organizing the assessment of the quality of the selected systems.

Table A.6.11

Table of processing and systematization of expert information when assessing the quality of 7 (seven) systems by paired comparison given the sources of information used **1** expert and date of receipt of this information

№ expert **1**	Systems							K	Number of points, B_n	Examination	Sources of information about systems		The date
Systems	1	2	3	4	5	6	7				Internal	External	
1	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	**1**	**?**	**?**	**?**	**?**	**?**	**?**						
2		**1**											
3			**1**										
4				**1**									
5					**1**								
6						**1**							
7							**1**						
Sum:													
The results of checking data for consistency:													

Table A.6.12 presents the work of the program after filling out the first line by the expert. The program on the basis of table 2.3.2 (paragraph No. 2.3 of the dissertation) filled all possible cells of table 12.

Further, the first expert needs to fill out all the cells of the table where the sign “?” Appeared, comparing the corresponding systems among themselves.

In this example (table A. 6.12), the expert needs to conduct 4 (four) comparison of systems.

Table A.6.13 presents the final results of the quality assessment of 7 (seven) systems by the expert using the improved method of paired comparison (paragraph No. 2.3 of the dissertation).

Table A.6.12

Table of processing and systematization of expert information when assessing the quality of 7 (seven) systems by paired comparison given the sources of information used the first expert and the date of receipt of this information, after filling out the first line

№ expert **1**	Systems							*K*	Number of points, B_n	Examina-tion	Sources of information about systems		The date
Systems	1	2	3	4	5	6	7				Internal	External	
1	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	**1**	2	1	2	1	0	2		9	norm		Internet site 1	20.01.20
											Hardware magazine		21.01.20
												Source of literature 1	21.01.20
2	2	**1**	0	**?**	0	0	**?**					Internet site 2	20.01.20
3	1	2	**1**	2	**?**	0	2					Internet site 1	21.01.20
4	0		0	**1**	0	0	**?**					Source of literature 2	21.01.20
											Report 1		20.01.20
												Internet site 3	21.01.20
5	1	2		2	**1**	0	2					Internet site 4	20.01.20
6	2	2	2	2	2	**1**	2		13	norm	User's manual	Source of literature 2	20.01.20
												Internet site 2	21.01.20
7	0		0		0	0	**1**				User's manual	Internet site 4	21.01.20
Sum:													
The results of checking data for consistency:													

The analysis of the filling of the first line in table A.6.12 shows that for 7 (seven) systems, usually four cells require further filling by experts (sign “?” In table A.6.12).

With the exception of 2 cases: if the expert puts all “1” or all “2” in the first line. These cases are described in the rules of logical conclusions of the improved method of paired comparisons in paragraph No. 2.3 of the dissertation of this methodology, which are systematized in table 2.3.2.

Table A.6.13

Table of processing and systematization of expert information when assessing the quality of 7 (seven) systems by pair comparison given the sources of information used first expert and date of receipt of this information

№ expert **1**	Systems							K	Number of points, B_n	Examination	Sources of information about systems		The date
Systems	1	2	3	4	5	6	7				Internal	External	
1	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	2	1	2	1	0	2	0,1837	9	norm		Internet site 1	20.01.20
											Hardware magazine		21.01.20
												Source of literature 1	21.01.20
2	0	1	0	2	0	0	0	0,0612	3	norm		Internet site 2	20.01.20
3	1	2	1	2	2	0	2	0,2041	10	norm		Internet site 1	21.01.20
4	0	0	0	1	0	0	0	0,0204	1	norm		Source of literature 2	21.01.20
											Report 1		20.01.20
												Internet site 3	21.01.20
5	1	2	0	2	1	0	2	0,1633	8	norm		Internet site 4	20.01.20
6	2	2	2	2	2	1	2	0,2653	13	norm	User's manual	Source of literature 2	20.01.20
												Internet site 2	21.01.20
7	0	2	0	2	0	0	1	0,102	5	norm	User's manual	Internet site 4	21.01.20
Sum:								1	49	norm			
The results of checking data for consistency:								norm					

Based on the results of the expert survey, 11 experts, information from the personal survey tables of experts (table A.6.13) is automatically transmitted via the local computer network on ARM officials, organizing quality assessment, for filling in tables A.6.14 and A.6.15.

Table A.6.14

System quality assessment results based on the use of expert information (opinions 11 experts) taking into account the standardized weight coefficients of expert competence *(q_j)*

Place in the overall ranking	System	$\sum q_j K_n$	The results of the quality assessment of systems 11 experts, taking into account the standardized weight coefficients of expert competence, $q_j K_n$										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	**6**	0,248	0,016	0,028	0,021	0,040	0,033	0,024	0,015	0,008	0,034	0,017	0,013
2	**1**	0,222	0,011	0,022	0,013	0,031	0,042	0,018	0,011	0,017	0,026	0,015	0,016
3	**7**	0,153	0,006	0,011	0,016	0,003	0,016	0,017	0,010	0,022	0,023	0,022	0,006
4	**3**	0,130	0,013	0,019	0,002	0,024	0,029	0,006	0,003	0,015	0,003	0,005	0,011
5	**2**	0,114	0,004	0,017	0,014	0,027	0,003	0,002	0,001	0,013	0,008	0,014	0,010
6	**5**	0,100	0,010	0,006	0,008	0,009	0,010	0,009	0,009	0,005	0,021	0,009	0,004
7	**4**	0,087	0,001	0,002	0,005	0,015	0,026	0,015	0,006	0,002	0,013	0,002	0,001

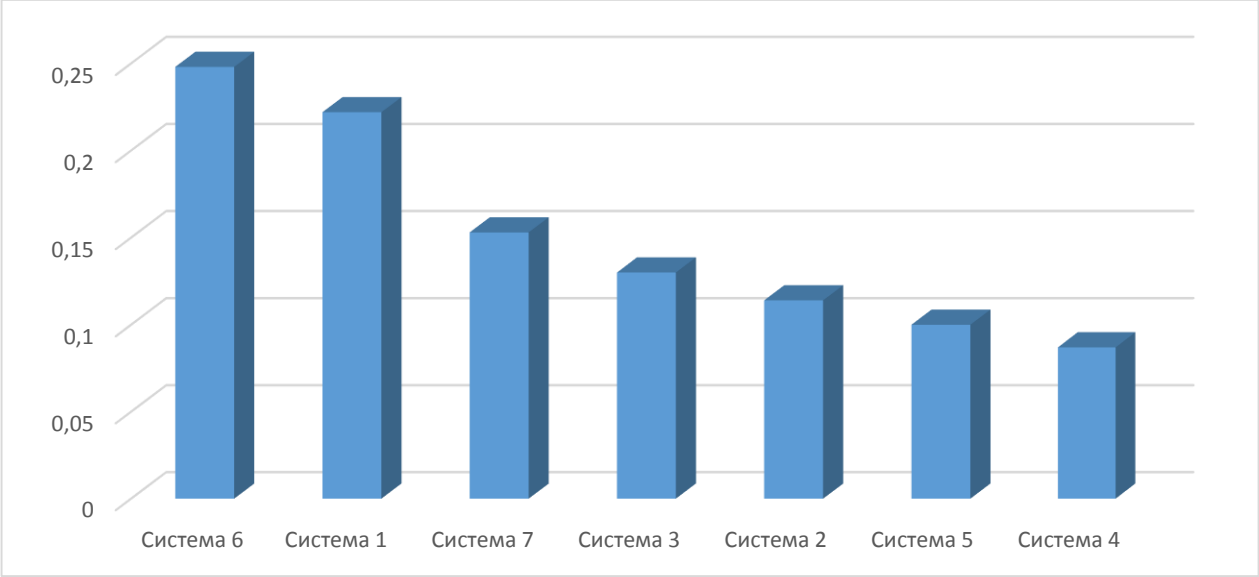


Figure A.6.8. System quality assessment results

Based on opinions 11 experts, taking into account the standardized weight coefficients of expert competence *(q_j)*.

Table A.6.15

System quality assessment results based on the use of expert information (opinions of 11 experts) excluding normalized weight coefficients of expert competence

Place in the overall ranking	System	$\sum K_n$	The results of the quality assessment of systems 11 experts, taking into account the standardized weight coefficients of expert competence, K_n										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	**6**	2,571	0,265	0,265	0,265	0,265	0,204	0,265	0,265	0,102	0,265	0,204	0,204
2	**1**	2,286	0,184	0,204	0,163	0,204	0,265	0,204	0,204	0,204	0,204	0,184	0,265
3	**7**	1,714	0,102	0,102	0,204	0,020	0,102	0,184	0,184	0,265	0,184	0,265	0,102
4	**3**	1,327	0,204	0,184	0,020	0,163	0,184	0,061	0,061	0,184	0,020	0,061	0,184
5	**2**	1,204	0,061	0,163	0,184	0,184	0,020	0,020	0,020	0,163	0,061	0,163	0,163
6	**5**	1,102	0,163	0,061	0,102	0,061	0,061	0,102	0,163	0,061	0,163	0,102	0,061
7	**4**	0,796	0,020	0,020	0,061	0,102	0,163	0,163	0,102	0,020	0,102	0,020	0,020

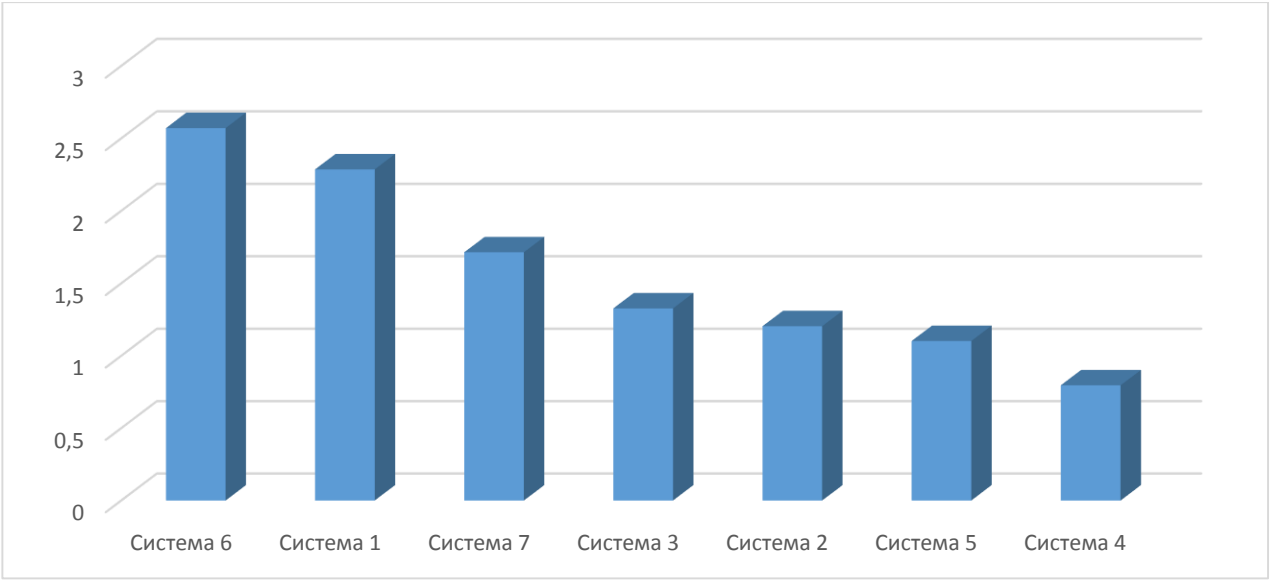


Figure A.6.9. System quality assessment results based on opinions 11 experts, excluding normalized weight coefficients of expert competence.

The analysis of tables A.6.14 and A.6.15 shows that the ratings of systems compiled by the results of quality assessment are the same when evaluating quality, both taking into account and without taking into account the standardized weight coefficients of expert competence. The best expert estimate system is system 6, and the worst systems are 5 and 4 systems.

Stage IV. Compilation of the system rating based on the results of quality assessment and presentation of the results of the quality assessment of LPR systems.

Table A.6.16

System rating based on the results of quality assessment

Место в общем рейтинге	System	Сумма баллов по рейтингам	Место в рейтинге по результатам оценки качества при использовании:	
			статистической информации	экспертной информации
1	System 6	14	1	1
2	System 7	11	2	3
3	System 1	11	3	2
3	System 3	9	3	4
4	System 2	7	4	5
5	System 5	5	5	6
6	System 4	3	6	7

Thus, in this example, LPR can reasonably decide on determining the system 6 as the best system (table A.6.16) according to the selected quality indicators and under exPloitation in given conditions (fig. A.6.10).

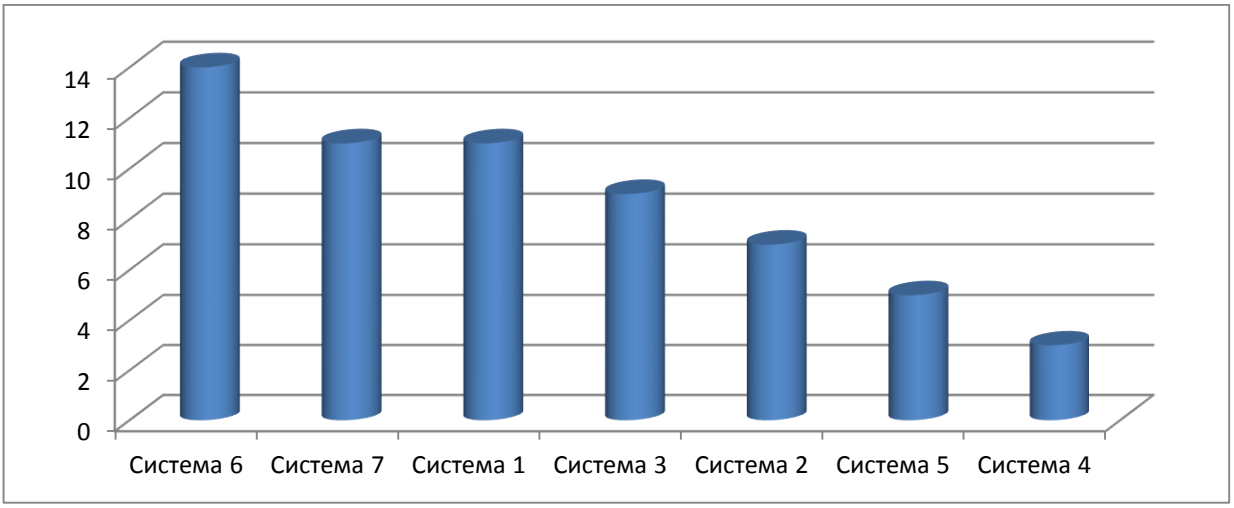


Figure A.6.10. System rating based on the results of quality assessment

V stage. Assessment of the effectiveness of the decision is given in section A. 3 of Appendix A dissertation.

Based on the experience of exploitation of evaluated systems, the best system for selected quality indicators is system 6, and the worst systems are system 4 and system 5.

Appendix B. Acts of the implementation of the results of the dissertation research, acts of the computer programs installations and state registration

АО «Системы управления»

Акционерное общество
«Научно-производственное объединение
«Импульс»
(АО «НПО «Импульс»)
Киришская ул., д.2, лит.А,
Санкт-Петербург,195299
Тел/факс: (812) 290-48-55
e-mail: kanz@npoimpuls.ru;
http:www.npoimpuls.ru
ОКПО 07545636/ОГРН 1127847076202
ИНН/КПП 7804478424/780401001

«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный директор
АО «НПО «Импульс»
С.В. Вилков
«22» декабря 2020 года

На №_____ от _____

АКТ
о внедрении результатов диссертационного исследования
Билятдинова Камиля Закировича

Комиссия в составе
председателя комиссии:
Заместителя генерального директора –
главного конструктора Д.В. Звездарева
членов комиссии:
заместителя начальника УИРиСП С.В. Филиппова
начальника КНТЦ-2 Д.В. Козьмовского
составила настоящий акт, о том, что научные результаты докторской диссертации Билятдинова К.З., представленные в виде методик и программ для ЭВМ использованы в интересах оценки устойчивости больших технических систем (БТС) в сфере деятельности предприятия на этапе проведения научно-исследовательских работ с учётом принятия прогнозных данных по функционированию БТС.

Внедрение данных научных результатов (после установки программы на ПЭВМ предприятия) позволило без затрат дополнительных ресурсов впервые произвести оценку допущений и границ изменений количественного состава

1 page of the act of introducing the results of the dissertation research arom the joint-stock company "Scientific and Production Association "Impulse"

групп систем при сохранении устойчивости БТС.

Время обработки информации при оценке устойчивости БТС снижается до 30%. Обоснование количественного состава ЗИП при сохранении устойчивости БТС позволяют говорить о возможной экономии бюджета эксплуатации до 5%.

Председатель комиссии:
Заместитель генерального директора –
главный конструктор Д.В. Звездарев

члены комиссии:
заместитель начальника УИРиСП С.В. Филиппов

начальник КНТЦ-2 Д.В. Козьмовский

«22» декабря 2020 года

2 page of the act of introducing the results of the dissertation research arom the joint-stock company "Scientific and Production Association "Impulse"

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. временного генерального директора

АО «ЦНИИ ЭИСУ»

кандидат технических наук

_____А.Г. Фортинский

«19» мая 2021 года

мп

АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования соискателя ученой степени доктора технических наук Билятдинова Камиля Закировича

Научные результаты, полученные в ходе исследований при подготовке диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук Билятдинова К.З., представленные в виде моделей, методик и программ для ЭВМ, использованы в научно-исследовательских работах СЧ НИР «Управление ресурсами – Воентелеком – ЦНИИ ЭИСУ» и СЧ НИР «Управление ресурсами – Галактика – ЦНИИ ЭИСУ», а также в интересах повышения эффективности управления эксплуатацией и техническим обеспечением аппаратно-программных средств стендового оборудования АО «ЦНИИ ЭИСУ».

Внедрение данных научных результатов позволило без затрат дополнительных ресурсов в зависимости от вида информации снизить от 10 до 19% время обработки информации при оценке качества технических систем в интересах принятия своевременных и обоснованных управленческих решений при возможности экономии бюджета эксплуатации до 4-5%.

При этом наблюдалось повышение вероятности достижения цели функционирования технических систем на 0,0011 за счет существенного снижения вероятности возникновения неисправностей критически важного числа элементов в их составе.

Председатель комиссии:
Директор по научной методологии,
кандидат технических наук _____ В.Ю. Феоктистов
Члены комиссии:
доктор технических наук _____ С.К. Колганов
кандидат технических наук _____ А.В. Калеватых
Директор Департамента РИВСРО _____ А.С. Шмыглев
«14» мая 2021 года

Act of introducing the results of the dissertation research
from JSC «Central Research Institute of Economics, Informatics
and Management Systems»

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ВОЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ
РАКЕТНЫХ ВОЙСК
СТРАТЕГИЧЕСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ
имени ПЕТРА ВЕЛИКОГО
(филиал в г. Серпухове
Московской области)
г. Серпухов, 142210

«28» 12 2011 г. № 281/12

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель начальника филиала ВА РВСН
по учебной и научной работе
полковник А.Людоговский
«28» 12 2011г.

АКТ
о реализации материалов научных трудов
кандидата военных наук Билятдинова Камиля Закировича.

Комиссия в составе: председателя - начальника кафедры №4 кандидата технических наук, доцента полковника Ковалькова Д.А. и членов комиссии: профессора кафедры №4 кандидата технических наук, профессора Виноградова С.А., доцента кафедры №4 кандидата технических наук подполковника Чистопрудова Д.А. составила настоящий акт о том, что материалы научных работ:

1. Билятдинов К.З. Методика оценки компетентности экспертов \ Деп. в ЦВНИ МО РФ. Инв. № В 6878. Справка № 15967, серия Б. Вып. № 84. М.,2008. 20 с.
2. Билятдинов К.З. Обоснование применения метода групповых экспертных оценок для формирования учебной программы (статья)\Материалы региональной научно-практической конференции.\ Под ред. Власовой С. А. к. филологических наук, Байер Н. А. –Ленинск - Кузнецкий, 2008. с. 14-20.
3. Билятдинов К.З., Фортинский А. Г. Формирование экспертной группы для оценки инженерных записок на выполнение научно-исследовательских и опытно- конструкторских работ, выполняемых по государственному оборонному заказу с использованием комбинированного метода оценки компетентности экспертов (статья) \ Научно- технический сборник, посвященный 85-летию 16 ЦНИИ, г. Мытищи,2008. с. 112- 121.

1 page of the act of implementation of scientific papers

4. Билятдинов К.З., Фортинский А. Г. Применение комбинированного метода оценки компетентности экспертов (статья) \ Научно- технический сборник, посвященный 85-летию 16 ЦНИИ, г. Мытищи,2008. с. 121-128.

5. Билятдинов К.З. Рекомендации по применению группового метода компетентности экспертов (статья) \ Сборник материалов Всероссийской научно- практической конференции «Наука и образование в современном обществе». \ НИПКиПРО, Новосибирск, 2008. с. 36- 44.

6. Билятдинов К.З. Методика формирования концептуальной модели специалиста на основе метода групповых экспертных оценок (статья) \Сборник материалов Всероссийской научно- практической конференции «Наука и образование в современном обществе».\ НИПКиПРО, Новосибирск, 2008. с. 22- 36.

7. Билятдинов К.З. Вариант методики оценки качества подготовки специалиста на основе метода групповых экспертных оценок (статья) \Сборник материалов Всероссийской научно- практической конференции «Наука и образование в современном обществе».\ НИПКиПРО, Новосибирск, 2008. с. 17- 22.

реализованы в учебном процессе кафедры № 4 Филиала военной академии РВСН им. Петра Великого (г.Серпухов) при разработке учебно-методических материалов по дисциплинам «Основы теории оптимального управления» и «Теория автоматического управления» (Тема 5 «Методы теории оптимального управления при качественной исходной информации»).

Председатель комиссии

кандидат технических наук, доцент

полковник Д. Ковальков

Члены комиссии:

кандидат технических наук, профессор

С. Виноградов

кандидат технических наук

подполковник Д. Чистопрудов

2 page of the act of implementation of scientific papers

«УТВЕРЖДАЮ»

Национальный исследовательский университет

«Высшая школа экономики»

190008, г. Санкт-Петербург, ул. Союза Печатников, д. 16

«16» октября 2020 года

доцент В.В. Меняйло

АКТ
о внедрении результатов диссертационного исследования Билятдинова Камиля Закировича на соискание ученой степени доктора технических наук

Комиссия в составе председателя комиссии:
к.фил.н. Меняйло В.В.
членов комиссии: к.пед.н. Кузнецовой Е.О.
к.фил.н. Никитиной Н.А.
составила настоящий акт, о том, что научные результаты докторской диссертации Билятдинова К.З., представленные в виде способа формирования информационных ресурсов методик и программ для ЭВМ использованы для информационного обеспечения научно-исследовательской работы и учебного процесса, а также в интересах повышения эффективности эксплуатации и технического обеспечения лабораторной базы аппаратно-программных средств, используемых в учебном процессе.

Внедрение научных результатов докторской диссертации Билятдинова К.З. позволило обеспечить возможность экономии до 5% расходных материалов при эксплуатации и техническом обеспечении аппаратно-программных средств и при этом снизить в среднем на 17% время обработки информации при материально-техническом обеспечении учебного процесса.

Председатель комиссии:
Меняйло В.В.
члены комиссии: Кузнецова Е.О.
Никитина Н.А.

«16» октября 2020 года

Подпись руки Меняйло В.В.

ВЕДУЩИЙ СПЕЦИАЛИСТ ПО КАДРАМ Цыпляева О.А.

Act of introducing the results of the dissertation research from the Research University "Higher School of Economics"

«УТВЕРЖДАЮ»

Начальник ЦГП 8

АО «НИИССУ»

«29» сентября 2020 года

МП

АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования Билятдинова Камиля Закировича

Начальник ЦГП 8 - Донков П.А.
членов комиссии: начальник отдела КРОДД – Пчелинцева О.А.
руководитель группы ЦО-НПД-5 – Силантьев И.А.
составила настоящий акт, о том, что научные результаты докторской диссертации Билятдинова К.З., представленные в виде методик и программ для ЭВМ использованы в интересах повышения эффективности управления эксплуатацией и техническим обеспечением аппаратно-программных средств. Внедрение данных научных результатов позволило без затрат дополнительных ресурсов снизить в среднем на 17% время обработки информации при оценке качества технических систем в интересах принятия своевременных и обоснованных управленческих решений.

Председатель комиссии: _____ Донков П.А.
члены комиссии: _____ Пчелинцева О.А.
_____ Силантьев И.А.

«29» сентября 2020 года

Act of introducing the results of the dissertation research from joint -stock company "Research Institute of Communications and Management"

ЦЕНТР Галактика

АО «Галактика Центр»

125167, Россия, Москва,
Театральная аллея, д.3, стр.1

+7 (495) 252-02-55
+7 (495) 252-02-48
Факс: +7 (495) 252-02-56
www.galaktika.ru

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
АО «Галактика Центр»
И.В. Целиков
«21» мая 2021 года

АКТ
о внедрении результатов диссертационного исследования
соискателя ученой степени доктора технических наук
Билятдинова Камиля Закировича

Научные результаты докторской диссертации Билятдинова К.З., представленные в виде методик и программ для ЭВМ использованы в интересах повышения эффективности управления эксплуатацией и техническим обеспечением аппаратно-программных средств. Внедрение данных научных результатов позволило без затрат дополнительных ресурсов снизить в среднем на 18% время обработки информации при оценке качества технических систем в интересах принятия своевременных и обоснованных управленческих решений при возможности экономии бюджета эксплуатации до 4%.

Председатель комиссии:

Сухарев С.Н., заместитель генерального директора,
председатель НТС АО «Галактика Центр»

члены комиссии:

Михалицын Е.Н.,
ученый секретарь НТС АО «Галактика Центр»
Вихлянов Максим Владиславович,
член НТС АО «Галактика Центр»
Петрушов Алексей Владимирович,
член НТС АО «Галактика Центр»
Емельянов Петр Алексеевич,
член НТС АО «Галактика Центр»
Капралов Роман Игоревич,
член НТС АО «Галактика Центр»
Шиловец Алексей Валерьевич,
член НТС АО «Галактика Центр»

«20» мая 2021 года

Act of introducing the results of the dissertation research

from the joint -stock company "Galaxy Center"

**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»
(СПбГУТ)**

Санкт-Петербург

УТВЕРЖДАЮ
И.о. первого проректора –
проректора по учебной работе
к.т.н. _____ С. И. Ивасишин
«___» _____ 2022 г.

Акт

об использовании результатов диссертационной работы
Билятдинова Камиля Закировича

«Методы и способы оценки качества больших технических систем
в процессе эксплуатации»

Настоящий Акт составлен в подтверждении того, что результаты диссертационной работы Билятдинова Камиля Закировича, а именно:

- способ формирования информационных резервов;
- методика оценки эффективности, качества и вероятностно-временных характеристик эксплуатации технических систем;
- программа для ЭВМ, реализующая данный способ и методику,

используются кафедрой защищенные системы связи федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» в учебном процессе на старших курсах обучения бакалавров по направлению подготовки 10.03.01 «Информационная безопасность» по дисциплине «Основы информационной безопасности» (рабочая программа дисциплины, регистрационный № 21.05/535-Д) и магистров первого года обучения по направлению подготовки 10.04.01 «Информационная безопасность» по дисциплине «Управление информационной безопасностью», (рабочая программа дисциплины, регистрационный № 21.05/472-Д) при чтении курсов лекций, проведении практических занятий и лабораторных работ.

Председатель комиссии:

к.т.н., доцент Красов Андрей Владимирович

Члены комиссии:
к.т.н., доцент Ушаков Игорь Александрович

к.т.н., доцент Кушнир Дмитрий Викторович

Act of introducing the results of the dissertation research

from Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

«УТВЕРЖДАЮ»
Декан факультета инфокоммуникационных технологий
университета ИТМО
кандидат технических наук, доцент
А.А. Капитонов
«21» 04 2022 года

АКТ
о внедрении результатов диссертационного исследования
на соискание ученой степени доктора технических наук
Билятдинова Камиля Закировича

Научные результаты докторской диссертации доцента Билятдинова К.З., представленные в виде способа формирования информационных резервов, методик оценки эффективности, качества и вероятностно-временных характеристик эксплуатации технических систем, а также программы для ЭВМ, реализующиеэти методики:

1. Билятдинов К.З. Расчет вероятности своевременного достижения цели функционирования системы в неблагоприятных условиях в зависимости от времени принятия и доведения управленческих решений в информационном цикле управления / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ№ 2019661734, дата государственной регистрации 06.09.2019.
2. Билятдинов К.З. Расчет и анализ вероятностных характеристик системы / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020610203, дата государственной регистрации 10.01.2020.
3. Билятдинов К.З. Анализ и оценка эффективности систем / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020610389, дата государственной регистрации 14.01.2020,
4. Билятдинов К.З. Реализация способа рациональной работы с информационными ресурсами и формирования информационных резервов системы / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020610335, дата государственной регистрации 13.01.2020.
5. Билятдинов К.З. Оценка устойчивости систем / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020615328, дата государственной регистрации 21.05.2020.

использованы при проведении занятий по учебный дисциплинами при выполнении студентами научно-исследовательских работ и выпускных квалификационных работ

Внедрение данных научных результатов в учебном процессе позволило без затрат дополнительных ресурсов снизить в среднем до 18% время обработки информации при оценке качества инфокоммуникационных систем в интересах принятия своевременных и обоснованных управленческих решений, а также существенно уменьшить (до 16,5%) расход ресурсов учебно-материальной базы при выполнении лабораторных и практических работ.

Председатель комиссии:
Декан факультета ИКТ,
к.т.н., доцент _____ Капитонов А.А.

Члены комиссии:
Зудилова Т.В.
Грудинин В.А.
Харьковская Т. А.

«21» 04 2022 года

Act of introducing the results of the dissertation research from ITMO University

ВОЕНТЕЛЕКОМ

Акционерное общество
«Военителеком»
ул. Большая Оленья, д. 15А, стр. 1
г. Москва, Россия, 107014
тел.: +7(495) 609-5005
факс: +7(495) 609-5152
e-mail: info@voentelecom.ru
www.voentelecom.ru
ИНН 7718766718 КПП 771801001
ОКПО 07627860 ОГРН 1097746350151

«Утверждаю»

Руководитель департамента
информационных технологий
И.В. Зуев

«__» июня 2021 года

МП

АКТ
о внедрении результатов диссертационного исследования
на соискание ученой степени доктора наук
Билятдинова Камиля Закировича

Настоящий акт составлен о том, что научные результаты докторской диссертации Билятдинова К.З., представленные в виде способа формирования информационных ресурсов, методик оценки эффективности, качества и вероятностно-временных характеристик эксплуатации технических систем, а также программ для ЭВМ, реализующих данный способ и методики, использованы в интересах повышения эффективности управления эксплуатацией и техническим обеспечением аппаратно-программных средств.

Внедрение данных научных результатов позволило без затрат дополнительных ресурсов снизить в среднем на 15-18% время обработки информации при оценке качества технических систем в интересах принятия своевременных и обоснованных управленческих решений при обеспечении возможности экономии до 20% трудозатрат персонала на выполнение рутинных операций обработки информации при оценке качества технических систем. Таким образом, результаты докторской диссертации Билятдинова К.З. являются новыми техническими, технологическими и методологическими решениями в сфере повышения эффективности управления.

Руководитель проекта
отдела руководителей проекта
коммерческого департамента

К.В. Татаренков

Act of introducing the results of the dissertation research from the joint-stock company "Voentelecom"

«УТВЕРЖДАЮ»
Начальник департамента научно-
образовательной деятельности
ПАО «НПО «Алмаз»
кандидат технических наук, доцент
Д.А. Романский
«28» 04 2022 г.

АКТ
о внедрении результатов диссертационной работы
Билятдинова Камиля Закировича, представленной
на соискание ученой степени доктора наук

Комиссия в составе
научного руководителя департамента научно-образовательной деятельности, доктора технических наук, профессора Алдошина В.М.,
заместителя начальника НТЦ-3 доктора технических наук Соколова С.П.
установила, что способ формирования информационных ресурсов, методики оценки эффективности, качества и вероятностно-временных характеристик эксплуатации технических систем, а также программы для ЭВМ, реализующие данный способ и методики, изложенные в докторской диссертации Билятдинова К.З., используются в интересах повышения эффективности управления эксплуатацией технических систем, а также при подготовке и повышении квалификации специалистов.

Внедрение способа и методик позволяет сократить время оценки качества технических систем, а также трудозатраты персонала на подготовку и оформление управленческих решений без затрат дополнительных ресурсов.

Члены комиссии:
В.М. Алдошин
С.П. Соколов

Act of introducing the results of the dissertation research
from Public Joint Stock Company "Scientific and Production Association "Almaz" named after academician A.A. Raspletin (PJSC NPO "Almaz")

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной деятельности
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского, д. м.н., профессор
_____ А.В. Кубышкин
«03» июня 2022 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования
на соискание ученой степени доктора наук
Билятдинова Камиля Закировича

Модель сопровождения технических систем в процессе эксплуатации, способ формирования информационных ресурсов, методики оценки эффективности, качества и вероятностно-временных характеристик эксплуатации технических систем, а также программы для ЭВМ, реализующие данный способ и методики, изложенные в докторской диссертации Билятдинова К.З., используются в учебном процессе, для повышения эффективности эксплуатации аппаратно-программных средств и компьютерных сетей и для формирования информационных резервов совершенствования учебного процесса студентов.

Внедрение способа, методик и программ для ЭВМ позволяет до 20% сократить время оценки качества технических систем, а также до 18% затраты ресурсов и трудозатраты персонала на подготовку учебно-материальной базы для проведения практических и лабораторных занятий.

Председатель комиссии:
Заведующий кафедрой системного анализа и информатизации Физико-технического института ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», д.т.н., профессор _____ А.В. Степанов

члены комиссии:
Заведующий кафедрой экспериментальной физики Физико-технического института ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», д. ф.-м. н., профессор _____ С.Н. Полулях
Доцент кафедры системного анализа и информатизации Физико-технического института ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», к.э.н _____ Г.В. Литвинова
«03» июня 2022 года

Act of introducing the results of the dissertation research
from Federal state autonomous educational institution of higher education
«V.I. Vernadsky Crimean Federal University»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU 2020610389

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства): 2020610389	Автор: Билятдинов Камиль Закирович (RU)
Дата регистрации: **14.01.2020**	Правообладатель: **Билятдинов Камиль Закирович (RU)**
Номер и дата поступления заявки: **2019667306 20.12.2019**	
Дата публикации: 14.01.2020	
Контактные реквизиты: **k01b@mail.ru**	

Название программы для ЭВМ:
Анализ и оценка эффективности систем

Реферат:
Программа предназначена для анализа и оценки эффективности систем и (или) одной системы в различные периоды времени её функционирования. Область применения: управление системами и их оценка. Программа выполняет все необходимые расчёты для построения таблиц, систематизации полученных значений корреляционной зависимости показателей функционирования систем, графиков и диаграмм. Программа позволяет сравнивать системы (периоды времени) по результату и (или) показателю функционирования систем, а также по соотношению израсходованных ресурсов и результата. В программе предусмотрено возможность формирования отчётов в формате документов в формате Word, а также визуализации полученных результатов в режиме реального времени.

Язык программирования: Python

Объем программы для ЭВМ: 307 Кб

Information about state registration of a computer program

«Analysis and assessment of systems effectiveness»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU 2020610203

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства): **2020610203**	Автор: **Билятдинов Камиль Закирович (RU)**
Дата регистрации: **10.01.2020**	Правообладатель: **Билятдинов Камиль Закирович (RU)**
Номер и дата поступления заявки: **2019667310 20.12.2019**	
Дата публикации: **10.01.2020**	
Контактные реквизиты: **k01b@mail.ru**	

Название программы для ЭВМ:
Расчет и анализ вероятностных характеристик системы

Реферат:
Программа предназначена для расчета и анализа вероятности отказа (неисправности) определенного количества элементов системы и кумулятивной вероятности на основе исходных данных о вероятности отказа (неисправности) одного элемента. Область применения: моделирование и анализ вероятности отказов заданного числа элементов системы и кумулятивной вероятности. Функциональные возможности: расчет вероятности отказов (неисправностей) задаваемого числа элементов системы и кумулятивной вероятности в зависимости от общего количество отказов элементов в системе; построение и сравнение графиков и таблиц, а также их сохранение и экспорт в Word и(или) в Excel.

Язык программирования: Java

Объем программы для ЭВМ: 324 Кб

Information about state registration of a computer program

«Calculation and analysis of probabilistic characteristics of a system»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU 2019661734

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства):
2019661734

Дата регистрации: **06.09.2019**

Номер и дата поступления заявки:
2019619600 22.07.2019

Дата публикации: 06.09.2019

Контактные реквизиты:
k01b@mail.ru

Автор:
Билятдинов Камиль Закирович (RU)

Правообладатель:
Билятдинов Камиль Закирович (RU)

Название программы для ЭВМ:
Расчет вероятности своевременного достижения цели функционирования системы в неблагоприятных условиях в зависимости от времени принятия и доведения управленческих решений в информационном цикле управления

Реферат:
Программа предназначена для обоснования управленческих решений при обеспечении оперативности управления. Область применения: расчет вероятностно-временных характеристик управления техническими системами в зависимости от числа отказов элементов (изделий) системы. Программа позволяет провести расчет вероятность своевременного достижения цели функционирования системы на основе использования экспериментально полученных данных.

Язык программирования: C#

Объем программы для ЭВМ: 392 Кб

Information about state registration of a computer program «Calculation of the probability of timely achievement of the purpose of a system's functioning in unfavorable conditions depending on the time of making and announcing of managerial decisions in information management cycle»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU 2020615328

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства): 2020615328	Автор: Билятдинов Камиль Закирович (RU)
Дата регистрации: **21.05.2020**	Правообладатель: **Билятдинов Камиль Закирович (RU)**
Номер и дата поступления заявки: **2020614034 25.03.2020**	
Дата публикации: 21.05.2020	
Контактные реквизиты: **k01b@mail.ru**	

Название программы для ЭВМ:
Оценка устойчивости систем

Реферат:
Программа предназначена для оценки устойчивости систем и (или) одной системы в различные периоды времени её функционирования. Область применения: управление системами и их оценка. Программа выполняет расчёты значений показателей качества, влияющих на устойчивость организационно-технических систем: время устойчивого функционирования, ресурсы, количество элементов, количество персонала, трудозатраты, неисправности, возможности системы по восстановлению и результаты восстановления. В программе рассчитывается коэффициент устойчивости, и на основе результатов этих расчетов делается вывод об устойчивости оцениваемой системы в заданный период времени. В программе предусмотрена возможность формирования отчётов в виде таблиц, графиков и диаграмм, представляемых в формате документов Word, а также визуализации полученных результатов в режиме реального времени.

Язык программирования: C#, JavaScript, HTML

Объем программы для ЭВМ: 2,13 Мб

Information about state registration of a computer program

«Assessment of systems stability»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU 2020610335

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства): **2020610335**	Автор: **Билятдинов Камиль Закирович (RU)**
Дата регистрации: **13.01.2020**	Правообладатель: **Билятдинов Камиль Закирович (RU)**
Номер и дата поступления заявки: **2019667308 20.12.2019**	
Дата публикации: **13.01.2020**	
Контактные реквизиты: **k01b@mail.ru**	

Название программы для ЭВМ:
Реализация способа рациональной работы с информационными ресурсами и формирования информационных резервов системы

Реферат:
Программа предназначена для обеспечения рациональной работы пользователей ЭВМ с внутренними ресурсами и внешними информационными ресурсами телекоммуникационной сети Интернет. Также программу целесообразно применять для существенного ослабления негативного влияния информационной избыточности. Область применения: сокращение времени поиска и обработки информации за счет систематизации информации, хранящейся на ЭВМ и(или) сервере. Функциональные возможности: реализация наиболее рационального способа поиск информации, а также формирование информационных резервов системы по требуемой предметной области, состоящей из базы данных, в которой хранится наиболее часто востребованная информация и архива, в который помещается более подробная информация по заданной предметной области.

Язык программирования: Python, JavaScript

Объем программы для ЭВМ: 275 Кб

Information about state registration of a computer program «Realization of the method of rational processing of information resources and formation of information reserves of a system»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU 2022619316

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства):
2022619316

Дата регистрации: **20.05.2022**

Номер и дата поступления заявки:
2022615488 23.03.2022

Дата публикации: 20.05.2022

Контактные реквизиты:
нет

Авторы:
Плахотнюк Владлен Александрович (RU),
Королев Владислав Вадимович (RU),
Билятдинов Камиль Закирович (RU)

Правообладатели:
Плахотнюк Владлен Александрович (RU)
Королев Владислав Вадимович (RU)

Название программы для ЭВМ:
Применение модифицированного метода DEA для оценки эффективности оператора связи

Реферат:
Программа предназначена для оценки эффективности работы оператора связи на основе собранных статистических данных: затраты на ведение деятельности, а также полученный результат, который, например, может выражаться в количестве обслуженных клиентов. Оценка осуществляется с применением модифицированного метода DEA. Программа может использоваться в аналитических отделах компаний для построения наиболее эффективной стратегии развития. Функциональные возможности: возможность указания периода, за который будет выставляться оценка; возможность указания статей расходов и результата для каждой системы; расчет рейтинга систем на основе взвешенной оценки; построение корреляционных зависимостей статей расходов и результата. ОС: Windows 10.

Язык программирования: C#

Объем программы для ЭВМ: 145 КБ

Information about state registration of a computer program
«The use of the modified DEA method to assess the effectiveness
of the telecom operator»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU 2022619306

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства): 2022619306	Автор: Билятдинов Камиль Закирович (RU)
Дата регистрации: **19.05.2022**	Правообладатель: **Билятдинов Камиль Закирович (RU)**
Номер и дата поступления заявки: **2022618005 22.04.2022**	
Дата публикации: 19.05.2022	
Контактные реквизиты: **k01b@mail.ru**	

Название программы для ЭВМ:
Оценка качества систем с помощью структурно-функционального моделирования и вычитания матриц значений показателей качества

Реферат:
Программа предназначена для расчета комплексных показателей качества систем методом вычитания матриц значений показателей качества. Матрицы составляются на основе базовой структурно-функциональной модели (в ней выражены требования к значениям показателей качества системы) и реальных структурно-функциональных моделей (в них отражены действительные показателей качества систем). Составляется рейтинг качества систем. Область применения: обоснование управленческих решений по выбору лучших систем и (или) периодов функционирования одной системы. Программа позволяет провести расчет комплексных показателей качества систем, составление рейтинга качества, анализ данных и визуализацию результатов оценки в виде унифицированных табличных форм структурно-функциональных моделей, графиков и диаграмм. Программа может функционировать как кросс-платформенное приложение.

Язык программирования: HTML, CSS, JavaScript

Объем программы для ЭВМ: 115 КБ

Information about state registration of a computer program «Assessment of the quality of systems using structural-functional modeling and subtraction of matrices of the values of quality indicators»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU **2022660655**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства):
2022660655

Дата регистрации: **08.06.2022**

Номер и дата поступления заявки:
2022619072 09.05.2022

Дата публикации: 08.06.2022

Контактные реквизиты:
Контактный телефон: +79817832413 (Червонецкий Андрей Валерьевич), email: creogen.ac@gmail.com

Авторы:
Червонецкий Андрей Валерьевич (RU),
Ануфриев Артем Олегович (RU),
Билятдинов Камиль Закирович (RU)

Правообладатели:
Червонецкий Андрей Валерьевич (RU)
Ануфриев Артем Олегович (RU)
Билятдинов Камиль Закирович (RU)

Название программы для ЭВМ:
Экспертная оценка систем усовершенствованным методом парных сравнений

Реферат:
Назначение программы: программа предназначена для использования в системах поддержки принятия решений в интересах обоснования рациональных вариантов управленческих решений на основании дистанционного опроса большого количества экспертов. Области применения: проведение дистанционного опроса экспертов с использованием сети Интернет; для обоснования управленческих решений. Функциональные возможности: отправление и просмотр данных с сервера; сохранение данных в виде таблиц и изображений; управление локальными данными. Программа разработана на движке Unity и не хранит персональных данных пользователей. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК. ОС: Windows 10 или выше.

Язык программирования: C#

Объем программы для ЭВМ: 75 МБ

Information about state registration of a computer program

«Expert assessment of systems improved method of paired comparisons»

УТВЕРЖДАЮ

Технический директор

_____ А.В. Иванов

«__» _____ 202_ г.

м.п.

АКТ

установки программных средств
на объекте вычислительной техники «Комплексный стенд
проведения тестирования программных изделий ресурсного обеспечения»

«05» ноября 2021 г. была проведена установка и настройка следующих программных средств:

№ п/п	Наименование программных средств	Свидетельство о государственной регистрации	Место установки
1	Расчет вероятности своевременного достижения цели функционирования системы в неблагоприятных условиях в зависимости от времени принятия и доведения управленческих решений в информационном цикле управления (автор: Билятдинов К.З.)	№ 2019661734	ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133
2	Реализация способа рациональной работы с информационными ресурсами и формирования информационных резервов системы (автор: Билятдинов К.З.)	№ 2020610335	ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133
3	. Оценка устойчивости систем (автор: Билятдинов К.З.)	№ 2020615328	ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133
4	Оценка качества программных систем с использованием структурно-функционального моделирования (авторы: Билятдинов К.З., Шмыглев А.С.)	Разработано в АО «ЦНИИ ЭИСУ»	ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133
5	Применение модифицированного метода DEA для оценки эффективности оператора связи (авторы: Билятдинов К.З., Плахотнюк В.А., Королев В. В.)		ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133
6	Визуализация классификации технических средств телекоммуникационных систем (авторы: Билятдинов К.З., Кошевский Л.С.)		ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133
7	Экспертная оценка систем усовершенствованным методом парных сравнений (авторы: Билятдинов К.З., Червонецкий)		ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133
8	Структурно-функциональное моделирование оператора связи (авторы: Билятдинов К.З., Николаев В.И.)		ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133
9	Оценка качества систем с помощью структурно-функционального моделирования и вычитания матриц значений показателей качества (автор: Билятдинов К.З.)		ПЭВМ № 3 с/н 16224053500133

Установка программных средств выполнена в соответствии с технической документацией. В ходе проверки установлено, что программы готовы к эксплуатации.

Главный технолог Е.С. Москалев

«05» ноября 2021 г.

The first act of installing computer programs

УТВЕРЖДАЮ

Технический директор

А.В. Иванов

«29» декабря 2020 г.

АКТ установки

программных средств на объекте вычислительной техники «Комплексный стенд проведения тестирования программных изделий ресурсного обеспечения».

«29» декабря 2020 года была произведена установка и настройка следующих программных средств:

№ п/п	Наименование программных средств	Свидетельство о государственной регистрации программных средств	Место установки
1	Расчет и анализ вероятностных характеристик системы	№ 2020610203	ПЭВМ №3 с/н 16224053500133
2	Анализ и оценка эффективности систем	№ 2020610389	ПЭВМ №3 с/н 16224053500133

Установка программных средств выполнена в соответствии с технической документацией. В ходе проверки установлено, что программы готовы к эксплуатации.

Зам. начальника отдела ПДИТР и ТЗИ А.М. Царьков

Главный специалист А.К. Моисеенко

The second act of installing computer programs