

## ОТЗЫВ

на диссертацию Белоусовой Марии Владимировны  
«Оптимизация производственных процессов на основе методов анализа надежности  
технических систем»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

**Актуальность темы исследования.** Диссертационная работа Белоусовой Марии Владимировны посвящена важной для промышленных приложений теме – разработке и совершенствованию методов анализа надежности. Надежность является одной из ключевых характеристик различных типов систем и конструкций и включает в себя комплекс взаимосвязанных параметров. Их совокупный учет необходим для обеспечения безопасности и долговечности технических систем, а также обеспечения их эксплуатации.

В диссертационной работе разработаны подходы, а также адаптированы и разработаны модели для различных задач, возникающих в области анализа и обеспечения надежности. **В первой главе** изложена терминология теории надежности, описана концептуальная схема связи глав исследования в общем контексте проектирования и разработки технической системы. Также в этой главе отмечено, какие методы могут быть использованы для разных стадий организации работ по обеспечению надежности изготавливаемого изделия и описаны основные теоретические предпосылки для каждой из последующих глав в их преемственной взаимосвязи.

33-06-1672 от 22.12.2023

**Во второй главе** предложен подход формирования показателей надежности на этапе нормирования безотказности. Автором рассмотрены структурные схемы надежности на основе марковских процессов и сделан расчет для выбранной схемы. Данный подход является важным для производственных компаний, особенно, с точки зрения экономического эффекта: достаточно провести лабораторные испытания на компоненты, а показатели надежности на системы более высокого организационного уровня сформировать расчетным путем. Это позволит сократить расходы и время на дорогостоящие испытания.

**В третьей главе** дан анализ используемых в области производственной аналитики статистических критериев и предложены редкие для данной области тесты. Использование статистических критериев имеет широкую область приложений. Так, при разработке методов расчета износостойкости и трения важно определять ключевые факторы, которые влияют на протекание процесса: шероховатость поверхности, состояние смазочного слоя, кинематика и динамика контакта и др. Для разработки разных типов испытаний, необходимо учитывать эти особенности, как с физико-химической точки зрения, так и на основе применения статистических критериев.

**Четвертая глава** посвящена краткосрочному прогнозированию надежности на основе модели временных рядов. Обычно в области оценки надежности распространены данные с испытательных образцов, а расчет производится на основе известных теоретических законов как для прочностных расчетов, так и для расчета безотказности. Однако, такой подход не совсем удобен, когда готовое изделие поступает на начальный период эксплуатации: нужны более адаптивные методы прогнозирования. С учетом распространения процесса обновления спектра комплектующих и появления новых материалов, из которых производятся технические системы, разработка таких методов прогноза, необходима для обеспечения заданного уровня готовности технических систем.

**В пятой главе** разработаны оптимизационные модели для проведения технических мероприятий по обслуживанию изделий. Данные модели учитывают затраты на профилактические работы, а также последствия от отказов. При этом в данной задаче учитывается человеческий фактор, что является неотъемлемой частью оценки надежности многих систем и процессов на производстве. После определения оптимального периода профилактического обслуживания предложен метод расчета замен составных частей на основе применения основных выводов из предыдущих этапов исследования. Таким образом, периодичность замен компонентов учитывает время восстановления на основе применения методов из главы 3, прогноза безотказности из главы 4 и оптимального срока превентивного обслуживания из главы 5. Эти результаты демонстрируют целостность всего диссертационного исследования.

**Теоретическая значимость и научная новизна** диссертации следует из предложенных моделей оценки надежности, приведенных обоснований выводов и алгоритмов, а также тщательного анализа существующих разработок в данном направлении.

**К основным научным результатам следует отнести:**

- 1) обоснование выбора и применение ряда статистических критериев для задач надежности;
- 2) модель краткосрочного прогнозирования с применением элементов теории выживаемости;
- 3) оптимальная стратегия профилактических мероприятий и замен элементов конструкции на основе минимизации затрат с учетом влияния человеческого фактора.

**Практическая значимость** заключается в успешном применении предложенных методов для реальных задач машиностроительного производства. Каждый из разработанных подходов используется в реальном производственном процессе и может тиражироваться в других отраслях промышленности.

**Достоверность** результатов диссертации определяется использованием общепринятого для проведения исследований программного обеспечения, подтверждается согласованностью результатов численных экспериментов с аналитическими оценками, успешной апробацией основных положений диссертации на реальных статистических данных.

Диссертация написана аккуратно, с небольшим количеством опечаток. Отмечу следующие **замечания**:

- автор упоминает применение статистических критериев на этапе проведения испытаний, однако, в примерах фигурирует только эксплуатационный тип испытаний. Было бы интересно провести исследование на стендовых испытаниях и сравнить результаты для рассматриваемых в главе 3 критериев;
- в главе 5 разработана модель затрат с учетом влияния человека-оператора. Поскольку исследования проводятся в рамках конкретного производственного направления (производство компонентов подвижного состава), следовало бы с технической точки зрения описать варианты возможных ошибок человека на разных этапах эксплуатации технических систем данной отрасли.

Указанные замечания не снижают значимости диссертационного исследования и общего положительного впечатления. Результаты, приведенные в данной диссертации, были **апробированы** на нескольких конференциях, было опубликовано десять статей, пять из которых в изданиях, включенных в перечень ВАК РФ, а одна – в Scopus.

**Заключение.** Диссертация Белоусовой Марии Владимировны на тему: «Оптимизация производственных процессов на основе методов анализа надежности технических систем», соответствует основным требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, установленным пунктом 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 и требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете». Соискатель Белоусова Мария Владимировна заслуживает присуждения

ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.



Попов Валентин Леонидович

Член диссертационного совета

Доктор физико-математических наук

Заведующий кафедрой системной динамики и физики трения  
Института механики Берлинского технического университета

Technische Universität Berlin  
Fakultät V - Institut für Mechanik  
Prof. Dr. Valentin POPOV  
Sekt. C 8-4, Gebäude M  
10623 Berlin · Straße des 17. Juni 135

