

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета  
на диссертацию Иванова Никиты Григорьевича на тему  
«Моделирование и анализ нестационарных стохастических процессов  
в системах управления производственным предприятием»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

**Актуальность темы исследования.** Задачи планирования производства и принятия «правильных» управленческих решений на производстве не теряют своей актуальности многие годы. В связи с модернизацией оборудования, появлением автоматизированных систем управления приходится формулировать новые задачи, учитывать новые факторы при управлении производством. В работе уделяется большое внимание математическому моделированию систем принятия решений с учетом составленных прогнозов. Причем акцент делается на прогнозирование нестационарных временных рядов, которые наиболее часто встречаются на практике, но математический аппарат для их описания не такой богатый, как для стационарных временных рядов. Несмотря на то, что автор исследования проводит моделирование на примере предприятия полного цикла по производству торфогрунтов и органо-минеральных удобрений, построенные модели и полученные для них результаты могут быть актуальны для применения в других производственных областях, хотя и могут потребовать дополнительной доработки.

**Содержание работы.** Диссертация состоит из введения, 2 глав, заключения и приложения, включает 136 страниц в русскоязычной версии. Список литературы содержит 73 наименования. **Первая глава** начинается с небольшого введения, в ней рассматриваются системы управления производственным предприятием полного цикла по изготовлению торфогрунтов и органо-минеральных удобрений, формулируются задачи управления в рамках общей задачи управления производством. Предлагается модель вычисления плана выпуска на месяц в зависимости от прогноза продаж, фактических и плановых остатков на нескольких складах в разных городах. Автором описан алгоритм распределения плана производства по конвейерным линиям. Решается задача распределения плана выпуска на месяц по номенклатурам изделий и конвейерам. В качестве критерия распределения автор использует разницу времени работы конвейеров, которую требуется минимизировать. Для решения задачи реализован квазиоптимальный метод спуска. Также в первой главе предложена математическая постановка задачи определения рецепта нового минерального удобрения с заданным показателем базового минерального комплекса «Азот : Фосфор : Калий» путём смешивания нескольких классических удобрений, на основе которой разработана рекомендательная система для менеджеров. В первой главе представлен ряд математических моделей, связанных с производственным циклом предприятия.

Вторая глава включает несколько моделей, связанных с анализом нестационарных стохастических процессов. Например, автор описывает модель аппроксимации тренда нестационарного процесса с помощью отрезка ряда Фурье, им учитывается неточность аппроксимации вычисления коэффициентов ряда Фурье, вводятся поправочные коэффициенты. При аппроксимации тренда используются системы ортогональных

полиномов Чебышёва, где коэффициенты определяются с помощью формул Бесселя. В этой же главе представлен алгоритм вычисления оптимального в некотором смысле горизонта прогнозирования временных рядов. Для увеличения точности прогнозирования и учёта неоднородности нестационарных временных рядов модифицирован алгоритм, который описывается в главе 2. Здесь же приводится представление модели временного ряда как кусочно-стационарного процесса. Для данной модели автором разработан и описан алгоритм определения области, в которой расположен тренд.

В приложении приведена программная реализация алгоритма распределения продукции по конвейерным линиям в пакете MATLAB.

**Научная новизна.** Диссертационная работа содержит несколько новых интересных моделей, которые предложены автором и служат основой для систематизации задач управления предприятием. Автором получен ряд результатов в области анализа временных рядов, а именно, им разработана модель аппроксимации тренда временного ряда с применением рядов Фурье, проанализировано применение полиномов Чебышёва для моделирования тренда. Н.Г. Иванов предложил алгоритм определения горизонта прогнозирования временных рядов любой природы. В качестве инструмента прогнозирования нестационарных процессов в работе представлен алгоритм выделения из нестационарного временного ряда кусочно-стационарного процесса с определением полосы, в которой с определённой вероятностью лежит любая из реализаций данного процесса. К новым результатам можно отнести алгоритм для определения весовых коэффициентов для взвешенного метода наименьших квадратов с использованием кусочно-стационарного моделирования для анализа временных рядов. Стоит отметить, что предложенные методы и алгоритмы были впервые апробированы на реальных данных, результаты апробации описаны в работе.

**Теоретическая и практическая значимость.** Работа имеет выраженную практическую значимость, предложены новые математические постановки для области управления производственными системами, методы прогнозирования для последующего использования результатов в системах принятия управленческих решений. Предложенные автором и адаптированные известные методы и алгоритмы могут быть использованы для прогнозирования экономических и производственных показателей, метеорологических данных, для решения задач управления на производстве и финансовых рынках. Иванов Н.Г. провел апробацию предложенных методов и алгоритмов на реальных данных различной природы, им был реализован программный код, который может быть использован заинтересованными исследователями. Несмотря на ярко выраженный прикладной характер работы, диссертационное исследование содержит несколько теоретически значимых результатов, относящихся к моделированию и анализу нестационарных временных рядов. Автором предложен ряд достаточно общих процедур, которые позволяют строить адекватные математические модели таких временных рядов. Это направление исследования можно было бы усилить в будущем новыми теоретическими результатами.

**Степень обоснованности научных положений.** Достоверность полученных научных результатов обусловлена строгим доказательством всех сформулированных математических утверждений. Результаты работы Иванова Н.Г. были доложены на нескольких всероссийских и международных конференциях. Научное исследование было поддержано грантом РФФИ. Основные результаты диссертации опубликованы в

одиннадцати работах, включая две статьи в журналах из списка ВАК. Также у автора имеются публикации в трудах конференций, изданные в известной серии трудов, которая на постоянной основе индексируется в базах WoS и Scopus.

**Замечания к диссертационной работе.** Работа произвела на меня положительное впечатление, первая глава имеет в большей степени выраженный практический характер. При её прочтении понятно, что постановки задач брались из практики. Вторая глава содержит более весомые теоретические результаты. Повествование последовательное, все имеющиеся в работе утверждения четко сформулированы и доказаны. К работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. В разделе 1.2 на стр. 21 написано: «В результате определили план продаж  $S$  в разрезе  $W$  и  $E$ , перемещение  $T$  для каждого филиала, и план производства  $P$ ». Всегда ли предложенный алгоритм дает решение? Можно ли указать условия существования решения?
2. В системе (4), приведенной на стр. 23, задача минимизации  $d(S) = [\max(S) - \min(S)] \rightarrow \min$  записана не совсем понятно. По каким аргументам проводится максимизация и минимизация в квадратных скобках? Минимизация  $d(S)$  проводится по  $S$ ?
3. В разделе 1.3 рассматриваются квазиоптимальные решения. В чем сложность нахождения оптимальных решений и условий их существования? Какие методы нахождения оптимальных решений для данной задачи существуют и почему они не использовались в работе?
4. На стр. 31 используется понятие рентабельности и она определяется отношением прибыли к реализации. Это понятие общепринятое в литературе по организации производством? Можно ли по-другому определять рентабельность?
5. На стр. 84 написано: «Целью моделирования является построение аппроксимирующей функции, стремящейся к тренду, а не к выборке». Каким образом формулируется математическая задача, реализующая эту цель?
6. Во второй главе строятся прогнозы согласно предложенным моделям временных рядов. Проводились ли численные эксперименты по оценке точности прогнозирования в случае, когда наступали «редкие» события или выбросы, сильно меняющие тренд? Будут ли построенные модели устойчивы к таким выбросам?

Указанные замечания не сказываются на общем положительном впечатлении от данной диссертационной работы. Работа содержит интересные постановки в области анализа и оптимизации производственных процессов, прогнозирования временных рядов. Диссертация носит выраженный прикладной характер и может быть использована при решении задач оптимизации и построения систем принятия решений в различных производственных сферах. Автор диссертационного исследования предлагает обоснованные с теоретической и практической точки зрения методы решения поставленных задач, включая задачи прогнозирования нестационарных временных рядов. Иванов Н.Г. имеет достаточное число публикаций по теме исследования в российских научных изданиях, включенных в перечень ВАК, а также проиндексированные в наукометрической базе Scopus. Результаты работы были доложены на научных

конференциях. Содержание диссертации соответствует специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

**Заключение.** Диссертация Иванова Никиты Григорьевича на тему: «Моделирование и анализ нестационарных стохастических процессов в системах управления производственным предприятием» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 №11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Иванов Никита Григорьевич 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 установлены.

Член диссертационного совета,  
доктор физико-математических наук, доцент,  
профессор Кафедры математической теории игр  
и статистических решений,  
Санкт-Петербургский государственный университет



Е.М. Парилина  
03.09.2024