

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
о диссертации БРОНЕР Валентины Игоревны
«МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
СИСТЕМ РЕЛЕЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Глубокое научное исследование того или иного природного, технологического или социального явления или процесса требует, помимо сбора и обработки данных и проведения экспериментов, построения адекватной математической модели. Важной также является возможность построения численных (компьютерных) алгоритмов, соответствующих выбранной модели, позволяющих получать важные количественные характеристики изучаемых явлений.

Особое развитие в настоящее время получают рандомизированные (вероятностные) модели, позволяющие учитывать стохастический характер изучаемого процесса, возможные ошибки в заданных параметрах и экспериментальных данных и т.п. Для компьютерной реализации таких моделей используются *алгоритмы численного статистического моделирования* (или *методы Монте-Карло* – см., например, [1] Михайлов Г. А., Войтишек А. В. *Статистическое моделирование. Методы Монте-Карло*. Москва: Издательство «Юрайт», 2018).

В данной работе реализованы разработка и изучение новых специальных релейных рандомизированных моделей систем управления ресурсами, подразумевающих практическое применение для стратегического планирования деятельности предприятий и объектов (например, водохранилищ).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Работа состоит из Введения, четырех глав, Заключения и списка литературы.

Во Введении представлен весьма основательный обзор работ по однопериодным и многопериодным моделям управления запасами. Среди многопериодных моделей особо выделены модели релейного управления с приложениями в страховом бизнесе. Ставится задача исследования математической модели управления ресурсами с релейными переключениями скоростей поступления и интенсивностью случайных потоков потребления. Далее представлены: цель и задачи исследования, научная новизна результатов, положения, выносимые на защиту, методология исследований, теоретическая и практическая значимости работы, основы достоверности и обоснованности результатов исследования, связь диссертации с крупными научными проектами, соображения о соответствии паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, апробация работы и публикаций.

В диссертации (и, в частности, в Главе 1) обсуждаются возможности аналитического решения интегро-дифференциального уравнения Колмогорова

$$v(s)P'(s) + \lambda(s)P(s) = \int_0^{+\infty} \lambda(s+x)P(s+x) dB(x), \quad (1),$$

отражающего стационарный режим модели стохастической системы управления запасами. В уравнении (1) функция $P(s)$ – это неизвестная (искомая) стационарная плотность распределения, $v(s)$ – кусочно-постоянная двузначная скорость поступления ресурсов, $\lambda(s)$ – кусочно-постоянная (и также двузначная) интенсивность пуассоновского потока запросов на потребление ресурсов, $B(x)$ – функция распределения объемов запросов. Функции $v(s)$ и $\lambda(s)$ меняют значения при одном и том же пороговом значении $s = S$.

В Главе 1 найдены частичные решения $P_1(s)$ (для частных случаев распределений объемов потребления – гиперэкспоненциального распределения и распределения Эрланга m -ых порядков, PH -распределения) и $P_2(s)$ при $s < S$ и $s \geq S$ соответственно. При нахождении специальных выражений для функции $P_1(s)$ разработана специальная модификация метода характеристических чисел для соответствующих многофазных распределений.

В Главе 2 рассматривается частный случай уравнения (1) для $v(s) \equiv 1$. Здесь изучаются различные способы замены функции $B(x)$ на близкие ей функции, дающие точные частичные решения $P_1(s)$. Так, для т.н. *метода аппроксимации* (параграфы 2.2, 2.3) используется приближение двухфазным гиперэкспоненциальным распределением

$$B(x) \approx R(x) = q(1 - e^{-\mu_1 x}) + (1 - q)(1 - e^{-\mu_2 x})$$

для специально подобранных параметров q, μ_1 и μ_2 (эти значения находятся методом моментов). В параграфе 2.4 рассматривается «явный» *метод моментов*. С помощью аккуратных объемных выкладок получены достаточно громоздкие рекуррентные соотношения (65) для моментов распределения $P_1(s)$ (Теорема 5); более подробно рассмотрены явные приближения третьего, четвертого и пятого порядка.

В Главе 3 на основании метода преобразования Фурье получен общий вид решения уравнения (1) при произвольном распределении объемов потребления (Теорема 6). Это решение представляет собой интеграл, зависящий от параметра. Получение точных аналитических формул здесь затруднено. Приведены примеры приближения решения для случаев, когда распределение $B(x)$ является гиперэкспоненциальным распределением m -го порядка, гамма-распределением, логнормальным распределением.

Отметим, что практически во всех разделах Глав 1–3 соответствующие выводы иллюстрируются с помощью численных (компьютерных) расчетов. Описание соответствующих программ и примеров их работы (в табличном представлении) приводится в Главе 4. Здесь для оппонента, как для специалиста по методам Монте-Карло, особый интерес представляет параграф 4.4, в котором представлен алгоритм численного статистического моделирования (названный «имитационной моделью») для компьютерной реализации исследуемой в диссертации стохастической модели. Этот алгоритм использован главным образом для изучения зависимости одномерного распределения марковского процесса $s(t)$, описывающего объем накопленного ресурса, от соотношения двух значений интенсивности пуассоновского потока запросов на потребление ресурсов $\lambda(s)$. Кроме того, в Главе 2 этот монте-карловский алгоритм («имитационная модель») использован для оценки точности решения уравнения (1) при использовании различных аппроксимаций распределения $B(x)$.

Удобным для оценки диссертации является то обстоятельство, что после каждой главы автор представляет формулировки наиболее значимых результатов, а также приводит ссылки на собственные работы, в которых эти результаты опубликованы. Соответственно, в Заключение представлены формулировки результатов всей работы (7 пунктов), а также коротко сообщается о возможных практических применениях этих результатов.

Список литературы является достаточно полным и содержит 110 названий.

НОВИЗНА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные в диссертации утверждения, формулы и иллюстрации, касающиеся решений уравнений вида (1), являются новыми в связи с наличием релейных переключений системы (эта ситуация ранее подробно не рассматривалась).

СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация написана хорошим русским языком, четко структурирована, и поэтому достаточно несложно оценить правильность и сложность математических выкладок (здесь все – на высоком уровне), наглядность иллюстративных численных примеров и обоснованность выводов диссертации.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Теоретические и практические аспекты исследования той или иной численной математической модели часто находятся в определенном противоречии по следующим причинам. Получить хорошие математические результаты (теоремы, формулы и т.п.) удастся, как правило, только для простейших (упрощенных) вариантов модели, не соответствующих содержательным практическим приложениям. В свою очередь, адекватные прикладные модели по причине своей сложности допускают только численные исследования.

Главные достоинства рецензируемой диссертационной работы связаны с полученными содержательными математическими результатами (т.е. с теоретическими аспектами). При этом не совсем ясно, насколько важно нахождение стационарного распределения $P(x)$ исследуемой стохастической модели для актуальных практических приложений, насколько «практичны» рассматриваемые типы распределения $B(x)$ (гиперэкспоненциальные, гамма-, PH -распределения) и т.д. Гораздо большую близость к практике может дать использование алгоритмов численного статистического моделирования, подобных «имитационной модели» из параграфа 4.4 данной диссертации. Для разработки таких алгоритмов следует использовать достаточно широкий арсенал, представленный в теории методов Монте-Карло (см., например, упомянутую выше книгу [1]).

Тем не менее, следует заметить, что содержательные математические результаты для «упрощенной» версии той или иной модели (в том числе для стохастической модели из рецензируемой диссертации) могут служить основой для обоснования и тестирования практически значимых «усложненных» численных алгоритмов и моделей.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО РАБОТЕ

1. Уровень полученных в диссертации математических результатов позволяет весьма высоко оценивать научную квалификацию В. И. Бронер. Что касается

численных результатов, то они получены достаточно аккуратно, но носят, скорее, иллюстративный, а не исследовательский характер (см. рассуждения из предыдущего раздела «Теоретическое и практическое значение работы»). В качестве пожелания выразим надежду на то, что соискательница продолжит разработку алгоритма численного статистического моделирования из параграфа 4.4 для получения содержательных и практически важных характеристик усложненных версий марковского случайного процесса, изучаемого в данной работе.

2. Второй повод разработать и применить специальные численные методы (конкретнее, алгоритмы численного интегрирования) связан с приближением интеграла, зависящего от параметра, представляющего общее решение $P(x)$ уравнения (1) (Теорема 6 из Главы 3). Учитывая, что интегрирование происходит по вероятностной мере $V(x)$, здесь возможно применение *функциональных оценщиков метода Монте-Карло* (см. Главу 5 упомянутой выше книги [1]), допускающих эффективное распараллеливание. Причина отказа от полномасштабного приближения интеграла из Теоремы 6, сформулированная как «ограниченность мощности персонального компьютера», видится не вполне убедительной и не соответствующей широко пропагандируемому применению современных многопроцессорных вычислительных систем. Впрочем, численное приближение интегралов (по-видимому, с помощью применения математических пакетов) в Главе 3 все же присутствует – см., например, стр. 89. К сожалению, подробное описание соответствующих программ в Главе 4 отсутствует (хотя на стр. 91 заявлено, что такие программы разработаны).

3. В разделах «Апробация работы» во Введении диссертации и в автореферате почему-то не приводятся выступления на научных семинарах. А ведь хорошо известно, что выступление на конференции редко находит отклик у ведущих специалистов по тематике этого выступления (чаще всего по причине отсутствия этих специалистов на конференции), а наиболее глубокие обсуждения происходят на солидных научных семинарах. В частности, В. И. Бронер могла бы упомянуть свое вполне успешное выступление 27 февраля 2018 года на семинаре «Методы Монте-Карло в вычислительной математике и математической физике» (Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН; руководитель – чл.-корр. РАН Г. А. Михайлов – см. <https://icmmg.nsc.ru/ru/content/workshops/zasedanie-seminara-metody-monte-karlo-v-vychislitelnoy-matematike-i-46>).

4. Имеется ряд мелких редакционных замечаний.

4а. В Разделе «Публикации» Введения следовало привести ссылки на опубликованные работы автора диссертации из раздела «Список литературы».

4б. Учитывая довольно большой объем диссертации, следовало использовать двойную нумерацию формул, утверждений и др. вида «номер главы – номер формулы (утверждения)».

4в. В формулах (16) и (17) вместо параметра m ошибочно используется параметр n (достаточно сравнить, например, формулы (16) и (18)). Такого же сорта неточность имеется в начале раздела 1.4.3. Опечатка есть и на предпоследней строке страницы 79: неверно указан номер параграфа (2.5 вместо 2.4).

4г. На странице 122 несколько «иностранной» смотрится ссылка номер 16 (фамилия автора публикации не соответствует алфавитному порядку представления списка литературы).

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научный уровень диссертации В. И. Бронер «Методы исследования стохастических моделей систем релейного управления ресурсами» является весьма высоким, соответствующим требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. Результаты, полученные в работе, опубликованы и представлены на научных семинарах и конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Автор диссертации Валентина Игоревна Бронер заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент
ведущий научный сотрудник
лаборатории стохастических задач
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института вычислительной
математики и математической геофизики
Сибирского отделения Российской Академии наук,
доктор физико-математических наук
(01.01.07 – Вычислительная математика), профессор



Войтишек Антон Вацлавович

14 мая 2018 г.

Подпись А. В. Войтишека удостоверяю.

Заместитель директора ИВМиМГ СО РАН
по научной работе, доктор технических наук




В. В. Ковалевский

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук;

Адрес: 630090, Новосибирск, проспект Академика М. А. Лаврентьева, 6;

телефон: +7 (383) 330 83 53; адрес электронной почты: contacts@sscc.ru; сайт:

<https://icmmg.nsc.ru>