

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
о диссертации Осипова Олега Александровича
**«СЕТИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ
С ДЕЛЕНИЕМ И СЛИЯНИЕМ ТРЕБОВАНИЙ»**,

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. 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.

В данной работе рассмотрены и изучены стохастические модели теории массового обслуживания (точнее, модели с делением и слиянием требований), которые могут быть использованы, в частности, для описания параллельных и распределенных информационных систем.

Важным является то обстоятельство, что в диссертационной работе О.А.Осипова помимо теоретических исследований описаны реализации на ЭВМ имитационных численных моделей изучаемых сетей, при этом соответствующие серии численных экспериментов позволяют автору сделать ряд содержательных выводов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

Введение по весьма распространенной ныне (и не слишком правильной, по мнению автора отзыва) традиции представляет собой фрагмент автореферата, и, соответственно, содержит такие подразделы как «Актуальность и степень разработанности темы исследования», «Цели и задачи исследования», «Научная новизна результатов, представленных в диссертации», «Методы исследования», «Теоретическая и практическая значимость работы», «Связь работы с крупными научными проектами», «Достоверность полученных результатов», «Положения, выносимые на защиту», «Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации», «Соответствие паспорту специальности», «Публикации», «Степень достоверности и апробация результатов», «Структура и объем диссертации», «Краткое содержание диссертационной работы», «Благодарности».

По сути вводной является и Глава 1, в которой описаны полученные ранее результаты по тематике диссертации (т.е. по описанию сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований). В Разделе 1.1 достаточно обстоятельно и подробно рассматриваются «классические» сети такого рода, состоящие из M параллельных систем. Определяются подвиды «классических» сетей; при этом более подробно рассматриваются сети обслуживания с

распределенным делением и синхронизирующей очередью с введением всех необходимых обозначений (формулы (1.1)–(1.4)). Приведены известные точные результаты для случая $M = 2$ (в частности, формулы для производящих функций типа (1.9)) и отмечено, что для случаев $M > 2$ подобные результаты являются, как правило, приближенными. Далее приводится обзор методов нахождения математического ожидания T_M длительности пребывания требования в рассматриваемой сети массового обслуживания (формулы (1.10)–(1.12)). Описаны результаты по определению работоспособности систем, по приближению функции распределения $F(t)$ длительности пребывания требований в сети для стационарного режима, по определению стационарного распределения числа требований и др. Имеется также подробное описание возможных модификаций «классических» сетей.

Намного лаконичнее описаны сети с произвольной топологией в Разделе 1.2. Особое внимание в этом разделе уделено введению понятия *ациклической сети с делением и слиянием требований* (Определение 1). В Разделе 1.3 приведены примеры реальных применений таких сетей (связанные в основном с изучением эффективности облачных вычислений на ЭВМ). Наконец, в Разделе 1.4 приведен краткий обзор известных подходов к нахождению длительности пребывания требований в сетях массового обслуживания, в которых требования не делятся на фрагменты.

В разделе 2.1 Главы 2 вводится и подробно описывается основной объект диссертационного исследования – объединение систем обслуживания трех типов: *базовые системы, дивайдеры и интеграторы*, а также наглядно объяснены сопутствующие понятия: *сигнатура фрагмента* (Определение 2), *вектор перемещений* и его *ведущий элемент* (Определение 3), *набор матриц передач* Θ .

В Разделе 2.2 сначала вводятся *интенсивности входящего и выходящего потоков*, для которых выписан ряд аналитических соотношений (2.1)–(2.7), на основе которых строится экономичный алгоритм вычисления интенсивностей потоков (Алгоритм 1). Затем изучается длительность пребывания требований в сети обслуживания. Вводятся необходимые понятия: *подсеть, порожденная дивайдером* (Определение 4), *длительность реакции подсети* τ_k (Определение 5), *элементарная матрица передачи* (Определение 6; также формулируется Утверждение 2 о существовании элементарной матрицы в любом наборе матриц перехода), *элементарная подсеть* (Определение 7), *параметрической фазовое распределение времени до поглощения цепи Маркова* (Определение 8). Эти понятия и сопутствующие утверждения и формулы используются для доказательства Теоремы 1 о фазовом распределении величины τ_k в элементарной подсети \mathcal{H}_k . В доказательстве Теоремы 1 существенно используется то обстоятельство, что процесс обслуживания фрагмента в \mathcal{H}_k имеет марковскую структуру. Это позволяет автору диссертации сформулировать конструктивный марковский Алгоритм 2, описывающий редукцию сети обслуживания относительно \mathcal{H}_k . Для фазового распределения величины τ_k в произвольной цепи с делением и слиянием требований формулируется и доказывается теорема существования (Теорема 2).

В Разделе 2.3 проведен анализ конкретной сети обслуживания с делением и слиянием требований с шестью базовыми системами, двумя дивайдерами и двумя интеграторами (см. Рис. 2.3).

В Разделе 2.4 формулируется новый метод получения стационарного распределения т.н. *элементарной сети* (т.е. сети, содержащей только один дивайдер и один интегратор – см. Рис. 2.4); при этом конкретный вид стационарного распределения приведен в Теореме 3. Идея метода состоит в трактовке эволюции рассматриваемой сети как цепи Маркова, которой сопоставляется *сеть размещения* Джексона \mathcal{N}^L (Определение 10), для которой известно мультипликативные представления (2.32) для стационарных вероятностей. В этом же разделе сформулирован алгоритм построения сети \mathcal{N}^L (Алгоритм 3).

В Главе 3 для рассматриваемого класса сетей вводится дополнительное (и, по-видимому, вполне естественное) требование о том, что интенсивность обслуживания фрагментов каждым прибором имеет экспоненциальное распределение. В Разделе 3.1 на примере сетей \mathcal{N}_1 и \mathcal{N}_2 , показанных на Рис. 3.1 и 3.2, с помощью использования полученных ранее аналитических формул, с одной стороны, и имитационного моделирования рассматриваемых сетей, с другой стороны, показана эквивалентность сетей \mathcal{N} рассматриваемого типа и упрощенной сети \mathcal{N}^f , в которой все базовые системы являются одноприборными. В Разделе 3.2 рассматривается задача оптимизации квазиэлементарной сети. Конкретнее, ищется набор весов $\{w_k^*(l)\}$ из формулы (3.2) для взвешенной суммарной интенсивности, который минимизирует математическое ожидание длительности пребывания требований в сети обслуживания. Рассуждения приводят автора диссертации к «эвристическому» алгоритму нелинейной оптимизации (Алгоритм 4) для приближения оптимальных весов $\{w_k^*(l)\}$. Разработанная процедура оптимизации применена для анализа частной сети, показанной на Рис. 3.5. В Разделе 3.3 обсуждается целесообразность применения сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований для описания сети передачи данных с многопутевой маршрутизацией; приведен конкретный пример такого описания (см., в частности, Рис. 3.8, 3.9); по сути именно этот раздел обосновывает и иллюстрирует практическую значимость полученных в работе теоретических результатов.

В Разделе 4.1 описывается созданный автором диссертации комплекс программ для численной реализации и анализа сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований. Описаны основные классы разработанного комплекса, схема запуска имитационной модели и порядок обработки результатов вычислений. В коротком Разделе 4.2 описаны основные подпрограммы созданного программного комплекса. В Разделе 4.3 обсуждаются вопросы уменьшения трудоемкости матричных вычислений при вычислении вектора параметров длительности пребывания требований в сети обслуживания. В Разделах 4.4, 4.5 рассматриваются возможности замены сложных вероятностных распределений, используемых и приближаемых в имитационной модели, на более простые (в том числе, с использованием сетей \mathcal{N}_1 и \mathcal{N}_2 из Раздела 3.1).

Короткое (одна страница) Заключение содержит перечисление полученных новых результатов. Список литературы является достаточно полным и содержит 123 названия.

НОВИЗНА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные в диссертации новые теоретические утверждения (в частности, Теоремы 1–3), соотношения и методы (в частности, Алгоритмы 1–4) определяют ощутимый вклад в современную теорию сетей массового обслуживания. Созданный автором диссертации комплекс программ позволяет проводить углубленный анализ изучаемых сетей и их приложений.

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), содержание результатов численных экспериментов и обоснованность выводов диссертации. Важными видятся рекомендации автора диссертации по использованию сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований для описания и оптимизации современных многопроцессорных информационных систем.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Полученные в работе аналитические и численные результаты, а также разработанный комплекс программ позволяют изучать, конструировать и оптимизировать (с точки зрения минимизации затрат) сети массового обслуживания с делением и слиянием требований и их современные приложения (связанные, в первую очередь, с функционированием многопроцессорных вычислительных систем).

ЗАМЕЧАНИЯ ПО РАБОТЕ

Еще раз отметим, что диссертация написана грамотным, ясным языком, с очевидной заботой о читателе. Это обстоятельство (в совокупности с хорошими научными результатами) не позволило оппоненту сформулировать сколько-нибудь принципиальные претензии к диссертационной работе О.А.Осипова.

Имеется лишь несколько незначительных редакционных замечаний.

1. Содержанию подраздела Введения «Степень достоверности и апробация результатов» больше соответствует название «Представление полученных результатов на научных конференциях».

2. Осознание описаний многочисленных известных (из цитируемых статей) результатов в Разделе 1.1 несколько затруднено в связи с использованием одних и тех же латинских букв для обозначения разных характеристик рассматриваемых систем. Например, буквой F обозначаются и система с одним обслуживающим прибором, и функция распределения длительности пребывания требований в сети в стационарном случае; буквой R (иногда с индексами) обозначаются и время пребывания в сети n -го требования, и накопленная прибыль.

3. С позиций научных интересов оппонента, в Главе 4 (в частности, в Разделе 4.4) хотелось бы видеть более подробные описания «монте-карловских» аспектов разработанного автором диссертации комплекса программ: обсуждение

используемых датчиков стандартных случайных чисел, описание формул и алгоритмов для моделируемых выборочных значений случайных величин и т.п.

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научный уровень диссертации О. А. Осипова «Сети массового обслуживания произвольной топологии с делением и слиянием требований» 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 Олег Александрович Осипов безусловно заслуживает присуждения ему 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

29 апреля 2019 года

Подпись А. В. Войтишека удостоверяю.

Зам. директора по науке ИВМиМГ СО РАН, д.т.н.



 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>