

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертацию Токаревой Виктории Андреевны

**«Математические модели и алгоритмы для формирования расписания в распределённых системах обработки данных с агрегированным доступом к информационным ресурсам»»,**

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности

05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

**Актуальность темы диссертационной работы.** Задачи теории расписаний в общем случае рассматриваются как проблемы распределения ресурсов некоторой системы во времени для выполнения набора заданий, являющихся частями некоторых процессов, среди которых наиболее важными являются вычислительные и производственные. При этом каждое из заданий по отдельности конкурирует за ресурсы различной природы, такие как приборы, инструменты, исполнители и т.д. Важными ограничениями при этом являются также такие характеристики заданий, как моменты времени поступления в систему, директивные сроки выполнения, приоритеты заданий и отношения предшествования между ними, а также ряд характеристик системы, в которой происходит обработка заданий.

Диссертация Токаревой В.А. посвящена разработке моделей составления расписаний в многолинейных системах с ограничениями на дополнительные ресурсы. При этом автор рассматривает в качестве дополнительных ресурсов информационные ресурсы, т.е. распределённые удалённые источники данных, используемые для выполнения заданий. Задачи такого типа характерны для широкого класса систем, таких как системы электронной коммерции, системы анализа больших данных, системы управления данными крупных производств и научных экспериментов. Инновационность и активное их применение в последние годы обуславливает актуальность разработки математических моделей, описывающих процессы составления расписаний обработки задач в таких системах. Существенным при этом является то, что большое количество задач, возникающих в данной области, являются NP-трудными и не могут быть решены за полиномиальное от размерности задачи время для практических случаев задач при среднем и большом объёме данных. Таким образом, важность приобретает создание эффективных приближённых алгоритмов диспетчеризации и их высокоэффективная реализация в виде комплексов параллельных программ,

предназначенных для работы на современных многоядерных вычислительных устройствах и в распределённых вычислительных системах.

Работа Токаревой В.А. представляет собой оригинальное профессионально выполненное исследование, характерными чертами которого являются: (1) учёт данных, как ресурса системы, (2) акцент на моделирование и решение задач составления расписаний в многоприборных системах, (3) разработка алгоритмов и программных комплексов с ориентацией на асинхронное выполнение в многоядерных вычислительных системах. Данные особенности исследования представляют значительный интерес и определяют **актуальность тематики** диссертационной работы Токаревой В.А.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации,** достаточна для кандидатской диссертации, определена использованием математически обоснованных результатов и методов из таких областей науки как теория расписаний, теория алгоритмов, математический анализ, статистика.

Все сформулированные автором теоремы и вспомогательные утверждения имеют математические доказательства, проведённые численные эксперименты характеризуются четкостью постановки и достаточным количеством собранных статистических данных для подтверждения достоверности сделанных выводов и методологических рекомендаций.

**Научная новизна диссертационной работы.** Для исследования процессов формирования расписаний в многолинейных системах агрегации с дискретными и дискретно-непрерывными ограничениями на качественно доступные дополнительные ресурсы автором разработано семейство математических моделей, позволяющих оценивать оптимальность расписания по критерию совокупного времени агрегированной обработки заданий и учитывать такие характерные ресурсные ограничения систем агрегации как ограничения на количество одновременного потребления ресурса. Новизна работы состоит в разработке математических моделей, расширении понимания ресурсных ограничений системы до удалённых цифровых ресурсов и построении приоритето-порождающих функционалов для частных случаев систем агрегации. А также в разработке прикладных эвристических алгоритмов составления расписаний в рассматриваемых системах, основанных на приоритето-порождающих функционалах 1-го порядка и на принципе двухуровневой диспетчеризации как для выделенных приборов, количество которых равно числу распределяемых дополнительных ресурсов, так и для произвольного числа индивидуальных независимых приборов.

Результаты проведенных численных экспериментов вносят вклад в понимание исследуемых в работе процессов, определяют статистические свойства разработанных моделей и алгоритмов и позволяют сформулировать рекомендации по использованию разработанного аппарата для решения широкого круга прикладных задач.

Построены программные комплексы для моделирования и проведения прикладных расчетов при построении среднесрочных расписаний в многолинейных системах агрегации, отличающиеся новизной и позволяющие осуществлять предсказательное моделирование процессов составления расписаний и принимать решения в задачах синтеза структуры производственно-информационных систем.

**Практическая ценность результатов исследования.** Полученные в диссертации результаты обладают научной ценностью, поскольку они вносят вклад в развитие математического аппарата теории расписаний и классификацию ограничений на дополнительные ресурсы в задачах теории расписаний. Особенный интерес представляет развитие дискретно-непрерывных моделей, описывающих зависимость скорости обработки заданий от объема выделенного дополнительного ресурса для случая нескольких приборов.

Полученные модели способствуют более глубокому пониманию процессов среднесрочного планирования выполнения заданий в производственно-информационных системах и могут служить для дальнейшего развития исследований в этом направлении. Разработанные алгоритмы диспетчеризации и их практическая реализация в виде комплексов высокопроизводительных параллельных программ, предназначенных как для численного моделирования, так и для прикладных расчетов могут быть адаптированы для оптимизации работы широкого круга систем, таких как системы электронной экономики, компьютерного моделирования и др.

Результаты диссертационной работы были применены в учебном процессе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» и при разработке модуля составления расписаний прикладной системы управления данными экспериментальной астрофизики частиц, что подтверждается актами о внедрении, приведёнными в приложении работы.

**Структура диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 175 страницах и содержит 44 иллюстрации и 22 таблицы. Библиографический список включает 159 источников. **Введение** содержит обоснование актуальности темы диссертационной работы и характеристику степени её разработанности, определение объекта, предмета, цели и задач

исследования, перечень материалов и методов исследования, описание научной новизны, обоснование практической и научной значимости работы, описание результатов исследования, сведения о достоверности полученных результатов, соответствии работы паспорту научной специальности, апробации и публикациях по теме работы. В **первой главе** приводится обзор актуального состояния теории расписаний и приводятся сведения, необходимые для дальнейшего понимания хода работы. Автором проведён сравнительный анализ моделей составления расписаний в системах с дискретными и дискретно-непрерывными ограничениями на дополнительные ресурсы. Предложено расширение классификации ресурсных ограничений. Введен в рассмотрение крупный класс промышленно-информационных систем «Системы агрегации». Показана необходимость разработки новых математических моделей и алгоритмов, а также реализации комплексов программ для составления расписаний с учётом потребностей рассматриваемых систем. Во **второй главе** диссертации разработано семейство математических моделей для многолинейных систем с дискретными и дискретно-непрерывными ограничениями на качественно доступные дополнительные ресурсы системы, ставятся задачи поиска допустимых и оптимальных расписаний. Автором доказаны четыре теоремы и следствие об области определения и свойствах оптимальных решений, а также два вспомогательных утверждения для дискретно-непрерывных моделей в виде лемм. В **третьей главе** диссертационного исследования автором разрабатываются алгоритмы, основанные на приоритетопорождающих функционалах 1-го порядка и введенных автором принципе двухуровневой диспетчеризации для случаев выделенных приборов, количественно равных числу распределяемых дополнительных ресурсов, и произвольного числа индивидуальных независимых приборов. Доказывается ряд утверждений об асимптотическом времени выполнения разработанных алгоритмов. **Четвертая глава** посвящена проведению численного эксперимента для изучения статистических свойств разработанных алгоритмов и их сравнительного исследования, а также описанию разработанных комплексов прикладных программ. В **заключении** изложены выводы и результаты диссертационной работы. Основным результатом диссертационной работы заключается в разработке дискретных и дискретно-непрерывных математических моделей и эвристических алгоритмов составления расписаний в системах агрегации, а также в разработке комплексов программ проведения численных экспериментов и прикладных расчетов в системе управления научными данными GRADLCI.

**Замечания по диссертации.** Приведём следующие замечания по диссертационной работе:

1. В диссертации использование терминов «требование», «задача», «задание», «работа», «операция» выглядит несколько спутанным. Термин «задача» используется в тексте для обозначения операций, выполняемых на приборе. Такое обозначение может запутать читателя, поскольку термин «задача», в частности в данной диссертации, используется также для обозначения понятия «задача Теории расписаний». Например, подпись к рисунку 1.2 «Основные свойства задачи  $T_{ji}$ » отсылает к свойствам задачи минимизации запаздывания, а не к параметрам выполняемой на приборе задачи — это не вполне очевидно из текста.

2. При описании результатов численного эксперимента, возможно, стоило бы сказать об исходных данных: по какому закону были сгенерированы исходные данные для проведения экспериментов? Детали внедрения результатов исследования в учебный процесс факультета прикладной математики, информатики и механики Воронежского государственного университета, подтверждённое соответствующими актами, не описано в работе. Внедрение результатов работы в «Многопроцессорное клиент-серверное приложение с механизмом адаптивного составления расписаний для обработки информационных запросов в распределенных хранилищах данных» описано в разделе 4.3. Следует заметить, что все описанные в работе эксперименты проведены на сгенерированных данных, а не на реальных практических задачах. Более подробное описание результатов экспериментов на реальных данных могло бы сделать дополнительный акцент на практической значимости и применимости полученных результатов.

3. В работе следовало бы привести сравнение производительности полученных приближенных алгоритмов с результатами и скоростью работы, полученных точными алгоритмами, такими как метод ветвей и границ или генетические алгоритмы, по крайней мере для примеров малой размерности.

4. Присутствует ошибка форматирования на рисунке 2.3 (стр. 60), из-за чего сложно уловить содержание иллюстрации.

5. В 4-й главе встречается терминология из теории массового обслуживания, не принятая в рамках теории расписаний.

6. Не дано достаточного пояснения к таблицам 16 и 17, содержащим термины и значения, по видимости, характерные для астрофизики частиц.

7. В диссертации присутствуют небольшие недостатки в оформлении. Вместо некоторых тире стоят дефисы, присутствуют незакрытые скобки, опечатки, в том числе в формулах.

8. В конце работы имеется глоссарий, но в нём нет расшифровки использованных в тексте аббревиатур. Поиск читателем расшифровок «при первом упоминании» в тексте такого объёма затруднителен. В частности, аббревиатуры СА и ТР вообще не расшифрованы в тексте диссертации.

Упомянутые замечания не являются критическими и не ставят под сомнение общую положительную оценку диссертации Токаревой В.А.

#### **Заключение оппонента о соответствии требованиям ВАК.**

Диссертация Токаревой В.А. представляет собой комплексную, законченную, внутренне непротиворечивую научно-квалификационную работу, результаты которой имеют достаточную актуальность. В ходе диссертационного исследования автором был получен ряд новых результатов, имеющих теоретическую и научно-практическую значимость. Результаты, полученные в диссертационной работе Токаревой В.А. вносят несомненный вклад в развитие теории расписаний. Основные результаты диссертационного исследования отражены в полной мере в автореферате и публикациях автора. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, среди которых 11 индексируются в базе SCOPUS, получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты, полученные в рамках диссертационного исследования, многократно апробированы на научных конференциях и семинарах.

Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности ВАК 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Результаты диссертационной работы соответствуют следующим областям исследований специальности 05.13.18: п. 4 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента», п. 5 «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента», п. 8 «Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования».

Автором проделана серьёзная самостоятельная работа, выполненная на высоком профессиональном квалификационном уровне. Отмеченные актуальность, научная новизна, методологический уровень исследования и научно-практическая значимость работы, позволяют сделать следующее заключение: рассмотренная диссертационная работа полностью соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 N 842 (ред. от 11.09.2021)) для присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор Токарева В.А. заслуживает присуждения

учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник,  
и.о. заведующего лабораторией №68  
«Теории расписаний и дискретной оптимизации»,  
доктор физико-математических наук,  
профессор

Лазарев Александр Алексеевич

25.05.2022

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН» (ИПУ РАН)  
117997, ГСП-7, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65  
Тел.: 8 (495) 334-89-10  
Официальный сайт учреждения: <https://www.ipu.ru/>  
E-mail: [jobmath@mail.ru](mailto:jobmath@mail.ru)

Подпись: *Лазарев Александр Алексеевич*  
Заложнева Л.Л.  
И.Д. ЗАЛОЖНЕВА Л.Л.  
