УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по научной и исследовательской деятельности ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», доктор химических наук

_____ А.В. Метелица

«30» августа 2022 г.

Отзыв ведущей организации
Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»
о диссертационной работе Кротова Кирилла Викторовича на тему «Математические модели и методы многоуровневой оптимизации расписаний многостадийных процессов с адаптацией», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (технические науки)

1. **Актуальность темы диссертационного исследования** определяется возрастающими требованиями к эффективности использования ресурсов многостадийных обрабатывающих систем (в частности, конвейерных систем), а также требованиями к повышению производительности функционирования этих систем, связанными с проводимой политикой импортозамещения и цифровизации экономики. Математическое моделирование влияния возмущающих воздействий на ход многостадийных процессов выполнения заданий в конвейерных системах позволяет определить задания, порядок выполнения которых на приборах конвейерных систем не может быть изменёён, и задания, порядок выполнения которых оптимизируется при построении динамических расписаний с учетом вида воздействия. Идентификация указанных заданий осуществляется с использованием соответствующих условий, которые представляют собой математические модели влияния возмущающих воздействий разных видов на ход многостадийных процессов выполнения заданий. Эти модели создают основу для построения метода оптимизации динамических расписаний процессов выполнения заданий в конвейерных системах, которые обеспечивают значительное снижение простоев приборов к возмущающим воздействиям разных видов, повышение эффективности использования ресурсов приборов систем и адаптацию этих процессов к возмущающим воздействиям с целью снижения их влияния.

Таким образом, рассматриваемая работа посвящена решению актуальных задач разработки: методов математического моделирования многостадийных процессов выполнения заданий в конвейерных системах и математического моделирования влияния возмущающих воздействий разных видов на ход многостадийных процессов выполнения заданий в этих системах, метода математического моделирования многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, численных методов построения (оптимизации) статических и динамических расписаний выполнения заданий в конвейерных системах, численных методов построения (оптимизации) расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, комплекса программ математического моделирования многостадийных процессов выполнения единичных заданий и пакетов заданий в конвейерных системах (в том числе математического моделирования влияния возмущающих воздействий разных видов на ход многостадийных процессов выполнения заданий в этих системах). Также не менее актуальной является разработка способов применения полученных методов математического моделирования и построения расписаний многостадийных процессов выполнения единичных заданий и пакетов заданий в конвейерных системах в различных сферах практической деятельности (в том числе для обработки данных в мелкосерийном механообрабатывающем производстве).

С отзывом ознакомлен
31.08.22 /Кротов К.В./

ИПТС
Вх. № 450
30.08.2022

2. Структура и объём диссертации. Структура диссертации логична, дает возможность последовательно и полно исследовать предложенные автором новые научные результаты. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 294 наименований. Основная часть (без приложений) содержит 294 страницы машинописного текста, 3 таблицы, 59 рисунков. Также основной материал работы дополнен четырьмя приложениями объёмом 122 страницы.

3. Основные научные результаты и их значимость. В ходе решения научной задачи лично автором получены следующие **новые научные результаты, выносимые на защиту:**

1. Впервые предложена информационная модель системы построения расписаний выполнения заданий в конвейерных системах; с ее использованием разработана классификация задач построения расписаний многостадийных процессов выполнения единичных заданий и пакетов заданий в конвейерных системах.

2. Впервые предложен метод математического моделирования влияния возмущающих воздействий разных видов на ход многостадийных процессов выполнения единичных заданий в конвейерных системах, предусмотренный статическим расписанием.

3. Впервые предложен метод математического моделирования многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, предусматривающий представление моделей процессов в виде совокупности иерархически взаимосвязанных компонент; с целью оптимизации решений по составам пакетов заданий, составам групп пакетов, выполняемых в течение ограниченных интервалов времени функционирования систем, расписаний их выполнения в конвейерных системах, предложены математические модели иерархических игр, предоставляющие способы оптимизации решений на уровнях иерархии.

4. Разработан численный метод оптимизации статических расписаний выполнения единичных заданий в конвейерных системах, позволяющий получить результаты, лучшие, чем результаты известных метаэвристических алгоритмов; разработан метод построения динамических расписаний, позволяющий осуществлять адаптацию многостадийных процессов к возмущающим воздействиям разных видов и уменьшить влияние возмущающих воздействий на ход процессов выполнения единичных заданий в конвейерных системах.

5. Разработан метод построения расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, предусматривающий представление обобщенной задачи в виде совокупности иерархически взаимосвязанных подзадач, для каждой из которой определяются локально оптимальные решения на каждом из уровней иерархии.

6. Впервые разработан метод оптимизации составов пакетов заданий, позволяющий формировать локально оптимальные решения на верхнем уровне в иерархической игре построения расписаний процессов их выполнения конвейерных системах, а также разработан метод оптимизации расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах; разработанные методы позволяют реализовать совместную оптимизацию составов пакетов заданий и расписаний их выполнения в конвейерных системах для задач большой размерности и без ограничений на значения входных параметров.

7. Впервые разработан метод распределения результатов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах по комплектам и метод вычисления моментов времени окончания формирования комплектов, обеспечивающие оптимизацию составов пакетов и расписаний их выполнения в этих системах при условии формирования комплектов результатов.

8. Впервые предложен метод оптимизации составов групп пакетов заданий, выполняемых в течение ограниченных интервалов времени функционирования конвейерных систем (в том числе, учитывающий формирование комплектов результатов); указанный метод позволяет реализовать построение расписаний выполнения пакетов заданий при ограничении и формировании комплектов, что предусматривает оптимизацию составов пакетов, составов групп пакетов, расписаний выполнения пакетов из групп в конвейерных системах.

9. С целью разработки комплекса программ построения расписаний выполнения единичных заданий и пакетов заданий в конвейерных системах развит предметно-ориентированный подход к проектированию программных систем, что позволило реализовать адаптивную про-

цедуру управления решением задач, обеспечивающую его гибкость; с использованием комплекса программ получены результаты исследований зависимости эффективности применения математических моделей процессов выполнения единичных заданий и пакетов заданий в конвейерных системах, математических моделей иерархических игр оптимизации решений, методов локальной оптимизации решений от значений параметров задач.

4. **Практическая значимость** полученных результатов для науки и практики подтверждена свидетельствами на государственную регистрацию программы для ЭВМ, актами внедрения результатов работы в промышленность и использованием результатов диссертационного исследования, важнейшими из которых являются следующие.

1. Математические модели многостадийных процессов выполнения единичных заданий в конвейерных системах и влияния возмущающих воздействий на ход многостадийных процессов выполнения единичных заданий в конвейерных системах, методы построения статических и динамических расписаний многостадийных процессов выполнения заданий в конвейерных системах, а также их программная реализация (свидетельство на государственную регистрацию программы для ЭВМ №2021619098, дата регистрации 04.06.21) обеспечивают оптимизацию статических и динамических расписаний выполнения заданий в конвейерных системах с целью адаптации многостадийных процессов реализации действий с ними на приборах к возмущающим воздействиям разных видов для снижения их влияния. Применение указанных математических моделей и методов позволяет значительно сократить простои приборов конвейерных систем при реализации динамических расписаний в сравнении со статическими, в которых при фиксации возмущающих воздействий порядки выполнения заданий на приборах не меняются.

2. Математическая модель многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах и метод многоуровневой оптимизации расписаний многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, а также их программная реализация (свидетельство на государственную регистрацию программы для ЭВМ №2021667167, дата регистрации 26.10.21) позволяют формировать локально оптимальные решения по составам пакетов и расписаниям реализации действий с ними на приборах систем в двухуровневой задаче построения расписаний. Использование модели и метода позволяет формировать решения по составам пакетов заданий и расписаниям реализации действий с ними на приборах систем, которые обеспечивают значительное сокращение их простоев при реализации действий с пакетами заданий по сравнению с фиксированными пакетами, а также обеспечивает повышение производительности систем при выполнении заданий.

3. Математическая модель многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах при ограничении на длительности интервалов времени их функционирования и условии формирования комплектов, метод многоуровневой оптимизации расписаний многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах с учетом введенных условий, а также их программная реализация (свидетельство на государственную регистрацию программы для ЭВМ №2021619004, дата регистрации 03.06.21) позволяют формировать локально оптимальные решения по составам пакетов, составам групп пакетов, действия с которыми реализуются на приборах систем в течение ограниченных интервалов времени их функционирования, расписаниям реализации действий с пакетами, включенными в группы на приборах систем в трехуровневой задаче построения расписаний. Использование модели и метода позволяет формировать решения по составам пакетов заданий, составам групп пакетов заданий, расписаниям реализации действий с пакетами на приборах систем, которые обеспечивают значительное увеличение количества комплектов, сформированных из результатов выполнения пакетов заданий в группах, сокращение количества заданий, включенных в пакеты, входящие в группы, результаты выполнения которых не будут использованы при формировании комплектов, а также обеспечивает повышение производительности систем при выполнении заданий.

Публикации автора в количестве 38 статей, научных сообщений и тезисов докладов в материалах международных конференций, а также свидетельств на государственную регистрацию программ для ЭВМ в достаточной мере отражают основное содержание диссертации, научную новизну и практическую значимость полученных результатов.

Все положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, являются вполне обоснованными с научной точки зрения. Содержание автореферата полностью отражает основные положения диссертации.

5. Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.

Основные результаты работы были внедрены в четырёх производственных предприятиях г. Севастополя:

– АО «КБ Радиосвязи» (г. Севастополь) для решения задач планирования установления радиосвязи, в том числе с учетом отказов средств радиосвязи;

– ООО «Севастопольэнерго» (г.Севастополь) для решения задач планирования ремонта оборудования;

– ФГУП «13-й судоремонтный завод Черноморского флота» МО РФ для решения задач планирования процессов механообработки в мелкосерийном производстве;

– ООО «Центр разработки программного обеспечения 1С: Парус» (г.Севастополь) для оптимизации выполнения складских операций.

Разработанные методы математического моделирования многостадийных процессов выполнения единичных заданий и пакетов заданий в конвейерных системах, методы многоуровневой оптимизации расписаний выполнения заданий и пакетов заданий в этих системах могут быть использованы при управлении процессами реализации действий с заданиями, которые представляются в виде последовательности этапов (стадий) на предприятиях аналогичного профиля.

6. Замечания по работе.

1. Подробный анализ существующих методов построения статических расписаний выполнения единичных заданий в конвейерных системах, представленный в разделе 1.2, может быть сокращён без ущерба для обоснования актуальности их совершенствования.

2. Представленная на стр. 73 теорема 3.1 по своей формулировке больше соответствует утверждению, а не теореме.

3. В разделе 4.5 выполняется сравнение степени приближения решений, полученных с использованием рассмотренного численного метода многоуровневой оптимизации расписаний многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, к точному решению, полученному путем полного перебора множества решений для задач малой размерности. В этом же разделе сравнивается степень приближения решений, полученных с использованием рассмотренного численного метода со степенью приближения решений, полученных с использованием метода ветвей и границ, к точному решению, полученному путем полного перебора (для задач малой размерности). Делается ссылка на опубликованную автором статью по адаптации метода ветвей и границ к решению задачи оптимизации состава пакетов заданий. При этом сам алгоритм метода ветвей и границ применительно к указанной задаче в диссертации не рассматривается. Это усложняет понимание особенностей этого алгоритма.

4. На стр. 156-160 рассматривается применение аппарата генетических алгоритмов с целью оптимизации решений по составам пакетов заданий. Подробно рассматривается способ кодирования решений и генетические операторы, позволяющие формировать новые решения по составам пакетов. При этом, если операторы кроссинговера и мутации рассмотрены достаточно подробно, то для оператора селекции только лишь упоминается способ выделения решений для дальнейшего скрещивания (стохастическая селекция на основе рулетки), Подробное описание реализации указанного способа селекции в работе отсутствуют, не определены

также параметры этого оператора. Также не указано, сколько поколений генерируемых популяций формируется в алгоритме.

5. На стр. 225-227 рассматривается применение аппарата генетических алгоритмов для оптимизации решений по составам групп пакетов заданий, выполняемых в течение интервалов времени функционирования конвейерных систем ограниченной длительности. Рассматриваются способ кодирования решений, а также способ реализации операторов кроссинговера и мутации. При этом внимание оператору селекции, то есть способу выделения решений для дальнейшего скрещивания, в работе не уделено.

6. Необходимо больше внимания уделить применению предметно-ориентированного подхода к разработке комплекса программ. В частности, показать пересечения «естественных языков» и «ограниченных контекстов» для соответствующих предметных подобластей, показав тем самым, какие их (предметных подобластей) объекты являются совместно используемыми при решении различных задач и как это влияет на архитектуру системы.

7. В тексте работы упоминается, что для проектирования комплекса программ математического моделирования и построения расписаний многостадийных процессов выполнения заданий в конвейерных системах использована многоуровневая модель организации программных систем. Имеет смысл в работе представить форму этой модели в наглядном виде, а также подробно описать, каким образом она использована при разработке комплекса программ.

Вышеизложенные замечания нисколько не умаляют ценности проделанной К.В. Кротовым работы. В целом диссертация выполнена на хорошем уровне, написана грамотным техническим языком, хорошо проиллюстрирована графическим и табличным материалом.

Заключение

Диссертация К.В. Кротова является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена важная научно-практическая проблема повышения производительности вычислительных и производственных систем конвейерного типа, эффективности использования ресурсов приборов конвейерных систем при выполнении заданий и пакетов заданий за счет разработки новых методов математического моделирования многостадийных процессов, методов адаптации многостадийных процессов к влиянию возмущающих воздействий разных видов, методов многоуровневой оптимизации расписаний многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах. При моделировании и построении расписаний многостадийных процессов выполнения единичных заданий в конвейерных системах с использованием разработанных методов реализуются возможности: 1) решения задач большей размерности, 2) учета различного вида возмущающих воздействий с целью адаптации процессов к их влиянию, 3) получения результатов, обеспечивающих более эффективное использование ресурсов систем (в сравнении с существующими методами). При моделировании и многоуровневой оптимизации расписаний многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах реализуются возможности: 1) решения задач большей размерности, 2) учета временных параметров рассматриваемых многостадийных процессов, 3) учёта особенностей многостадийных процессов выполнения пакетов заданий, связанных с ограничением на длительности интервалов времени функционирования конвейерных систем и формированием комплектов. Разработка указанных методов математического моделирования многостадийных процессов выполнения заданий в конвейерных системах, методов адаптации многостадийных процессов выполнения заданий к возмущающим воздействиям разных видов (путем построения динамических расписаний), методов многоуровневой оптимизации расписаний многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах вносит значительный вклад в развитие математического моделирования процессов в системах рассматриваемого типа, численных методов оптимизации расписаний процессов в этих системах, в изучение особенностей реализации многостадийных процессов выполнения заданий в

конвейерных системах, а в целом в развитие методов и подходов к управлению процессами в производственных и вычислительных системах. Диссертация соответствует специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» по техническим наукам, в частности, формуле специальности, а также пунктам 1, 3, 4, 5 перечня областей исследования. По актуальности, научной новизне и значимости полученных результатов диссертация отвечает критериям Положения о присуждении ученых степеней (утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), в том числе п. 9, а её автор, Кротов Кирилл Викторович, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (технические науки).

Отзыв подготовлен профессором кафедры прикладной математики и программирования, доктором технических наук (05.13.18) Усовым Анатолием Борисовичем, 344090, Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 8А, тел.раб. +7(863)2975411, эл. почта: abusov@sfedu.ru.

Отзыв обсуждён и утверждён на заседании кафедры прикладной математики и программирования Института математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича Южного федерального университета от 30 августа 2022 г., протокол №1. Присутствовало на заседании 7 чел.

Результаты голосования: «за» — 7 чел., «против» — нет, «воздержались» — нет.

Заведующий кафедрой прикладной математики и программирования
Института математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича
ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»
доктор физ.-мат. наук,
профессор Геннадий Анатольевич Угольницкий

Институт математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича
ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»
344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 8А,
тел. раб. +7(863)2975411
gaugolnickiy@sfedu.ru

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Личную подпись Угольницкого Г.А.
ЗАВЕРЯЮ:
Ведущий специалист по управлению персоналом Подшивалова М.Г.
«30» августа 2022 г.

СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертации Кротова Кирилла Викторовича

на тему: «Математические модели и методы многоуровневой оптимизации расписаний многостадийных процессов с адаптацией», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – «Математические модели численные методы и комплексы программ» (технические науки)

Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»
Сокращённое наименование организации в соответствии с уставом	Южный федеральный университет, ФГАОУ ВО «ЮФУ», ЮФУ
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Почтовый индекс, адрес организации	344006, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42
Телефон	+ 7 (863) 218-40-00
Веб-сайт	http://www.sfedu.ru
Адрес электронной почты	info@sfedu.ru, gaugolnickiy@sfedu.ru

Список монографий и основных публикаций сотрудников ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет

1. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Теоретико-игровая модель согласования интересов при инновационном развитии корпорации // Компьютерные исследования и моделирование, 2016, 8(4), 673-684.
2. Дьяченко В.К., Тарасенко Л.В., Угольницкий Г.А. Кооперативно-игровое моделирование социального партнерства в системе дополнительного профессионального образования: постановка задачи // Инженерный вестник Дона. 2016. №2. http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3587.
3. Белявский Г.И., Данилова Н.В., Угольницкий Г.А. Эволюционное моделирование в задачах управления устойчивым развитием активных систем // Математическая теория игр и ее приложения, 2016, 8(4), 14-29.
4. Tarasenko L.V., Ougolnitsky G.A., Usov A.B. et al. Concordance of Interests in Dynamic Models of Social Partnership in the System of Continuing Professional Education // International Journal of Environmental and Science Education, 2016, 11(18), 13055-13068.
5. Antonenko A.V., Gorbaneva O.I., Ougolnitsky G.A. Concordance of Private and Public Interests: Dynamic Graph Representation, Identification and Simulation Modeling // Advances in Systems Science and Applications, 2016, 16 (4), 43-52.
6. Нор-Аревян О.А., Тарасенко Л.В., Угольницкий Г.А. Математическое моделирование социального партнерства: методология междисциплинарного исследования (на примере системы дополнительного профессионального образования) // Социологические исследования, 2018, 4, 15-24.
7. Gorbaneva O.I., Ougolnitsky G.A. Static Models of Coordination of Social and Private Interests in Resource Allocation // Automation and Remote Control, 2018, 79(7), 1319-1341.
8. Угольницкий Г.А. Методология и прикладные задачи управления устойчивым развитием активных систем // Пробл. управления, 2019, 2, 19-29.
9. Мальсагов М.Х., Меркулова М.В., Угольницкий Г.А. Кооперативные дифференциально-игровые модели управления инновациями // Управление большими системами. Вып. 85. М.: ИПУ РАН, 2020. С.143-172.
10. Malsagov M.Kh., Ougolnitsky G.A., Usov A.B. A Differential Stackelberg Game Theoretic Model of the Promotion of Innovations in Universities // Advances in Systems Science and Applications, 2020, 20(3), 166-177.

Зав. кафедрой прикладной математики и программирования ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» Г.А. Угольницкий

Главный ученый секретарь ЮФУ О.С. Мирошниченко