О Т З Ы В

официального оппонента

доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Автоматизированные системы управления» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

Мезенцева Юрия Анатольевича

на диссертацию Кротова Кирилла Викторовича на тему

«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ МНОГОУРОВНЕВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПИСАНИЙ МНОГОСТАДИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ С АДАПТАЦИЕЙ», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18– «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений и содержит 294 страницы основного текста, 3 таблицы, 59 рисунков, список литературы из 294 наименований, а также 4 приложения на 122 страницах.

1. Актуальность темы исследований

Рассматриваемый автором класс задач теории расписаний в принятой международной терминологии носит название flow shop, (задачи оптимизации расписаний многостадийных производственных систем с одинаковыми маршрутами обслуживания). Иногда к такому описанию добавляются дополнительные характеристики, такие как обслуживание без прерываний, отсутствие параллельных приборов, отсутствие или наличие задержек поступления заданий на обслуживание, наличие ряда других характеристик (приоритетов заданий, ограничений на время выпуска заданий, длительностей обслуживания разных заданий на разных приборах и т.д.). Подобные системы также носят название конвейерных систем (КС). Вместе с другими задачами оптимизации расписаний многостадийных систем job shop (различные маршруты), open shop (нефиксированные маршруты) задача flow shop и большинство ее модификаций являются NP-полными при числе приборов больше двух, что автоматически актуализирует любые продвижения в разработках средств их решения.

Реализация многостадийных процессов выполнения заданий в конвейерных системах подвержена влиянию возмущающих воздействий разных видов. При реализации многостадийных процессов выполнения заданий на них могут оказывать влияние ряд возмущающих воздействий: 1) внешние воздействия – поступление в систему новых заданий, приоритеты которых

ИПТС
Вх. № 430
«18» 08. 2022 г. Подпись

равны или превышают приоритеты выполняемых в соответствии с исходным расписанием заданий; 2) внутренние воздействия – отказы и восстановление функционирования приборов.

С целью адаптации многостадийных процессов выполнения заданий к возмущающим воздействиям разных видов для снижения их влияния и оптимального регулирования требуется перестроение сформированных порядков реализации действий с заданиями на приборах (требуется модификация сформированных первоначальных расписаний, которые автор именует статическими) путем построения скорректированных расписаний (именуемых автором динамическими), учитывающих возмущающие воздействия. Адаптация многостадийных процессов выполнения заданий к возмущающим воздействиям разных видов, реализуемая путем построения регулирующих расписаний, обеспечивает уменьшение простоев приборов конвейерных систем и увеличение их производительности. В настоящее время проработаны методы построения регулирующих расписаний, учитывающие только отдельные виды возмущающих воздействий (поступление в систему новых заданий в моменты времени, превышающие начало интерпретации первоначальных расписаний, с приоритетами, равными приоритетам выполняющихся заданий). Поэтому актуальной является разработка новых методов математического моделирования влияния возмущающих воздействий на ход многостадийных процессов выполнения заданий и методов построения регулирующих расписаний, обеспечивающих их адаптацию к возмущающим воздействиям разных видов.

В большинстве реальных конвейерных систем реализация действий с заданиями разных типов, входящими в их наборы, осуществляется в составе пакетов. Необходимость выполнения заданий в составе пакетов вызвана неоднородностями длительностей выполнения заданий из различных их наборов на разных приборах конвейерных систем, неоднородностями длительностей переналадок приборов на выполнение заданий различных типов, а также требованием снижения простоев приборов (повышения эффективности использования ресурсов приборов). Тогда выполнение заданий в конвейерных системах в составе пакетов обеспечивает повышение эффективности использования ресурсов приборов и производительности систем в целом. В связи с этим требуется решение двух взаимосвязанных подзадач, входящих в общую задачу построения расписаний выполнения пакетов заданий: 1) оптимизации составов пакетов; 2) оптимизации расписаний выполнения пакетов сформированных составов на приборах КС. По этой причине актуальным является решение задачи математического моделирования многостадийных процессов выполнения пакетов заданий на приборах КС (как основы для решения задач построения расписаний многостадийных процессов выполнения заданий), а также решение задачи построения эффективных расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, предусматривающее оптимизацию составов пакетов и расписаний их выполнения.

В тоже время при разработке методов математического моделирования процессов выполнения заданий в конвейерных системах, а также методов построении расписаний многостадийных процессов выполнения пакетов заданий требуется учитывать необходимость формирования комплектов результатов реализации действий с заданиями, включенными в пакеты. В связи с этим при построении моделей многостадийных процессов необходимо учитывать это условие, а также решить не только задачи оптимизации составов пакетов и расписаний их выполнения, но и задачи распределения результатов выполнения заданий по комплектам и определения моментов времени окончания формирования комплектов результатов. Так как рассматриваемые задачи не являются решенными в полной мере, то актуальной является разработка математических моделей процессов выполнения пакетов заданий при формировании комплектов и методов построения расписаний выполнения пакетов в конвейерных системах при учете указанного условия.

Также при решении задач математического моделирования процессов выполнения пакетов заданий в КС и построения расписаний выполнения пакетов заданий требуется учет ограничений на ресурсы систем. В частности, ограничений на длительности временных интервалов функционирования систем. Для этого автором сформулированы математические модели процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах в рамках временных интервалов ограниченной длительности, и синтеза расписаний выполнения пакетов заданий конвейерными системами в этих временных интервалах. С учетом того, что ограниченным ресурсом являются время функционирования конвейерных систем, требуется минимизировать неэффективное использование этого ограниченного ресурса. Исходя из перечисленных требований построение расписаний выполнение пакетов заданий в предложенной постановке, предусматривающее оптимизацию их составов, составов групп пакетов, выполняемых во временных интервалах ограниченной длительности, а также расписаний выполнения пакетов на приборах системы, должно обеспечивать:

– максимальное количество заданий, выполняемых на приборах конвейерных систем в течение ограниченных интервалов времени их функционирования;

– максимально возможное использование ресурсов приборов в течение ограниченных временных интервалов (минимизацию простоев приборов в течение временных интервалов ограниченной длительности).

Рассмотренные задачи математического моделирования процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах при перечисленных ограничениях, а также синтеза расписаний этих процессов не решены в настоящее время. В связи с этим решение задач математического моделирования многостадийных процессов выполнения пакетов заданий, и задач синтеза опти-

мальных расписаний процессов выполнения пакетов в конвейерных системах в течение ограниченных интервалов времени является актуальным.

Рассмотренные в диссертации задачи математического моделирования и синтеза расписаний процессов выполнения пакетов заданий могут быть обобщены в виде задачи математического моделирования и синтеза расписаний процессов выполнения пакетов заданий в КС с формированием комплектов и при ограничениях на длительности интервалов времени функционирования систем. Решение указанной задачи к настоящему времени не реализовано.

Таким образом, выбор направления научного исследования, представленного диссертацией, в которой разрабатываются и развиваются методы математического моделирования: многостадийных процессов выполнения единичных заданий в конвейерных системах, влияния возмущающих воздействий разных видов на многостадийные процессы выполнения заданий, процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, а также методы синтеза и регулирования расписаний процессов выполнения единичных заданий с целью их адаптации к возмущающим воздействиям разных видов, методы построения расписаний процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах (в том числе, при учете особенностей этих процессов, связанных с формированием комплектов результатов и ограничениями на длительности интервалов времени функционирования систем) является обоснованным.

На основе вышеизложенного может быть сделан вывод о том, что тема диссертационного исследования Кротова К.В. является актуальной и имеющей важное значение для различных сфер деятельности.

2. Достоверность результатов диссертации

Достоверность результатов математического моделирования и построения расписаний многостадийных процессов выполнения единичных заданий в конвейерных системах подтверждается их сравнением с результатами аналитических методов решения задач при малой их размерности (сравнение с результатами применения алгоритма Джонсона для трехприборной задачи), а также с результатами, полученными с использованием нескольких алгоритмов локального поиска (генетических алгоритмов и метода отжига). Достоверность результатов математического моделирования и многоуровневой оптимизации расписаний многостадийных процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах подтверждается их сравнением с результатами, полученными методом ветвей и границ для задач малой размерности, а также с результатами решения рассматриваемой задачи, полученными полным перебором множества допустимых решений по составам пакетов заданий (в случае малой размерности задачи).

Основные научные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на различных международных и всероссийских конференциях.

3. Научная новизна результатов диссертации

Оценивая новизну представленных в работе результатов, можно выделить следующие положения:

1) предложена информационная модель системы построения расписаний выполнения заданий в конвейерных системах, на основе которой разработана классификация задач построения расписаний многостадийных процессов выполнения единичных и пакетных заданий в КС; отличием предложенной классификации от существующих является то, что задачи математического моделирования и построения расписаний рассматриваются как иерархически упорядоченные взаимодействующие подзадачи, для каждой из которых реализуется определение локально оптимальных решений на соответствующих им уровнях иерархии;

2) предложен метод математического моделирования влияния возмущающих воздействий разных видов на ход многостадийных процессов выполнения единичных заданий в КС, предусмотренный исходным расписанием; сформированные модели влияния возмущающих воздействий на ход процессов выполнения заданий в конвейерных системах положены в основу предложенного метода синтеза и регулирования расписания выполнения заданий в КС для адаптации процессов к влиянию возмущающих воздействий разных видов;

3) предложен метод математического моделирования процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, предусматривающий представление моделей процессов в виде совокупности иерархически взаимосвязанных компонент; для решения различных задач синтеза расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах предложены соответствующие им модели многостадийных процессов выполнения пакетов заданий, а также математические модели в терминах иерархических игр, предоставляющие способы идентификации решений на всех уровнях иерархии;

4) разработан численный метод оптимизации расписаний выполнения единичных заданий в конвейерных системах, а также метод регулирования расписаний, позволяющий осуществлять адаптацию многостадийных процессов к возмущающим воздействиям разных видов и уменьшить влияние возмущающих воздействий на ход процессов выполнения заданий;

5) разработан метод синтеза 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 соответствующих им уровнях иерархии;

6) разработан метод оптимизации составов пакетов заданий, позволяющий формировать локально оптимальные решения на верхнем уровне в иерархической игре построения расписаний процессов их выполнения в конвейерных системах, а также метод согласованной оптимизации расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах;

7) 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 конвейерных системах при формирования комплектов результатов;

8) разработан метод оптимизации составов групп пакетов заданий, выполняемых в течение ограниченных интервалов времени функционирования конвейерных систем (в том числе учитывающий формирование комплектов результатов), который позволяет реализовать построение расписаний выполнения пакетов при ограничении на ресурсы систем и предусматривает оптимизацию составов пакетов заданий, составов групп пакетов заданий, выполняемых в течение интервалов времени ограниченной длительности, расписаний выполнения пакетов заданий из групп в конвейерных системах;

9) развит предметно-ориентированный подход к проектированию программных систем, что позволило реализовать адаптивную процедуру управления решением задач, обеспечивающую его гибкость; с использованием комплекса программ получены результаты исследований зависимости эффективности применения математических моделей процессов выполнения заданий и пакетов заданий в конвейерных системах, математических моделей иерархических игр для оптимизации решений, методов оптимизации решений от значений параметров задач.

4. Научная и практическая ценность результатов работы

Результатами диссертационной работы, обладающими научной и практической ценностью, являются: 1) разработанный метод математического моделирования влияния возмущающих воздействий разных видов на процессы выполнения заданий в конвейерных системах; 2) разработанный метод математического моделирования процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, позволяющий представить их модели в виде совокупности иерархически упорядоченных компонент; 3) метод регулирования расписаний многостадийных процессов выполнения единичных заданий в конвейерных системах, позволяющий осуществлять их адаптацию к возмущающим воздействиям разных видов с целью снижения их влияния; 4) метод построения расписаний выполнения пакетов заданий в конвейерных системах, предусматривающий представление обобщенной задачи в виде совокупности иерархически упорядоченных подзадач, для каждой из которых определяются оптимальные решения на соответствующих им уровням иерархии; 5) методы оптимизации решений по составам пакетов заданий, составам

групп пакетов заданий, выполняемых в течение временных интервалов функционирования систем ограниченной длительности, расписаниям выполнения пакетов заданий на приборах конвейерных систем.

Полученные в работе методы математического моделирования влияния возмущающих воздействий на ход процессов выполнения заданий в конвейерных системах и регулирования расписаний выполнения заданий в конвейерных системах позволяют выполнить адаптацию этих процессов к воздействиям разных видов, уменьшив при этом простои приборов и увеличив производительность систем при реализации действий с заданиями. Полученные в работе методы математического моделирования процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах и построения расписаний процессов выполнения пакетов заданий в конвейерных системах позволяют сформировать модели в терминах иерархических игр для оптимизации решений по составам пакетов, групп пакетов и расписаниям выполнения пакетов на приборах систем. Полученные в работе методы оптимизации составов пакетов заданий, составов групп пакетов заданий и расписаний выполнения пакетов заданий на приборах конвейерных систем позволяют формировать решения, гарантирующие эффективное использование ресурсов, повышение производительности функционирования систем, увеличение количества выполненных заданий в течение ограниченных интервалов времени.

Результаты исследований (методы математического моделирования процессов выполнения заданий в конвейерных системах и методы синтеза расписаний выполнения заданий в конвейерных системах) использованы автором при разработке программного обеспечения, входящего в комплекс программ, осуществляющий планирование реализации этих процессов в конвейерных системах. Наряду с планированием выполнения заданий (пакетов заданий) в конвейерных системах полученные методы математического моделирования и построения расписаний могут быть использованы для оценки производительности систем при выборе обрабатывающего оборудования, а также при определении необходимого оборудования конвейерных систем, обеспечивающих требуемую производительность обработки. В тоже время полученные результаты исследований позволили решить задачу построения расписаний выполнения заданий на обработку данных дистанционного зондирования Земли (с целью идентификации негативных природных явлений и техногенных воздействий, их характеристик и условий распространения), задачи построения расписаний обработки партий деталей в мелкосерийном производстве (оптимизации составов партий и расписаний их обработки при восстановлении цилиндрических деталей узлов и агрегатов транспортного и технологического оборудования). Результаты работы применяются в различных областях практической деятельности, связанных с выполнением заданий в конвейерных системах. Они нашли применение в АО «КБ Радиосвязи» (г. Севастополь) при решении задач построения расписаний установления радиосвязи; в ООО «Севастопольэнерго»

(г. Севастополь) при решении задач планирования ремонта оборудования; в ФГУП «13-й судоремонтный завод Черноморского флота» МО РФ при решении задач планирования процессов в мелкосерийном производстве; в ООО «Центр разработки программного обеспечения 1С:Рарус» (г. Севастополь) при решении задач оптимизации выполнения складских операций.

5. Соответствие диссертации и автореферата требованиям ВАК

Ознакомившись с диссертацией, авторефератом и публикациями автора, считаю, что тема диссертационной работы Кротова К.В. и ее содержание соответствуют специальности 05.13.18– «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». По своей тематической направленности представленная работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»:

Пункту 1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений;

Пункту 3. Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий.

Пункту 4. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента

Пункту 5. Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента

По результатам исследования опубликовано 38 работ, в том числе 18 статей, из них 10 из перечня ВАК ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, 6 статей в изданиях, включенных в перечень Scopus, 2 статьи в региональных изданиях из перечня РИНЦ, 17 докладов в различных сборниках трудов международных и всероссийских конференций, 3 свидетельства на государственную регистрацию программ для ЭВМ.

Диссертация и автореферат соответствуют требованиям ВАК РФ. Автореферат и опубликованные автором работы полностью отражают основное содержание диссертации, характеризуют результаты проведенных исследований.

6. Замечания по диссертационной работе

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. Замечания относительно использованной терминологии.

1.1. Автором используются общепринятые понятия иногда в собственной трактовке. Так в тексте повсеместно используется понятие динамического расписания. Однако в действительности всюду речь ведется о корректировке (регулировании) текущего расписания при возмущаю-

щих воздействиях. Динамическое расписание по смыслу это расписание на все случаи жизни, действенное при любых вариациях внешней среды. Если же динамика касается только расписания поступления заданий на вход системы, то такая система и обозначается как система с расписанием (задержками) на входе, чтобы отличать от стохастического варианта поступления заявок.

1.2 Выражения (3.4) и все последующие, используемые в качестве целевых функций именуется критериями оптимальности. Корректнее целевые функции именовать критериями качества или эффективности расписания, поскольку понятие критерия оптимальности относится к методу, а не к задаче оптимизации. Критерием оптимальности обычно именуют условия, которым должно удовлетворять оптимальное решение (например, условия Куна-Таккера, теорем двойственности и т.п.).

1.3. На странице 69 введено понятие метрики, далее используемое во всех алгоритмах оптимизации, содержательный смысл которой – сумма несовпадений значений любых двух решения (значений булевых переменных) на разных шагах алгоритмов. Далее всюду этот термин автором используется не всегда корректно (например, «новая метрика», «максимальная метрика окрестности», «окрестности с большей метрикой», стр. 84 и т.п.). В действительности алгоритмах изменяется не сама метрика, а расстояния (и окрестности) в этой метрике.

2. Замечания по формальным описаниям задач оптимизации.

2.1. Вводимые целевые функции (содержательный смысл которых в основном быстродействие системы) должны в явном виде быть ориентированы либо на минимум, либо на максимум, что автором в тексте опускается (3.4), (4.15), (4.16), например.

2.2. Введено понятие дискретного градиента от целевой функции (стр. 70), при этом не показан формальный вид градиента и не поясняется, по каким переменным берутся производные. Если по линеаризованным булевым переменным, то зависимости от переменных в целевых функция квадратичные с рекурсиями, и численное значение аналога градиента определяется только для конкретных точек. Из описания непонятно, как и в каких точках вычисляются значения градиентов целевой функции. Из приводимых описаний алгоритмов, где градиенты целевых функций пошагово определяются, также неясен способ их вычисления.

2.3. Во всех формулируемых задачах дискретной оптимизации автор не определяет, какие из параметров являются исходными данными, какие искомыми переменными и какие зависимыми переменными, что затрудняет чтение и анализ текста.

3. Замечание по постановочной части.

На мой взгляд, с точки зрения математики, постановки задач на базе (3.3) не совсем удачны, поскольку опосредуют: 1) рекурсивные зависимости времени начала операций друг от друга посредством (3.2) и от булевых переменных p(l,i,j), а затем 2) еще и квадратичные зависимости

целевых функций f ((3.4), (4.14), (4.16), например) от переменных p(l,i,j). Далее это проецируется на все постановки задач оптимизации расписаний (4.16)-(4.21), (5.4) (5.6). Подобный подход порождает задачи нерешаемые, в том числе приближенно (с оцениваемой ошибкой) известными точными методами даже для реализаций малых размерностей, что приводит автора к необходимости разработки эвристических алгоритмов, и не позволяет определить близость получаемых расписаний к оптимальным по принятым критериям качества. А в качестве пожелания считаю целесообразным применение известных постановок Flow shop на базе смешанных сетей, непосредственно редуцируемых в milp (задач линейного смешанного программирования), что позволяет применять стандартные средства оптимизации (IBM CPLEX optimization studio, например) хотя бы для апостериорной оценки эффективности собственного (разработанного автором) инструментария. Подход с применением смешанных сетей известен довольно давно, описан, в частности, в работах Танаева с соавторами.

4. Замечания относительно алгоритмического обеспечения.

Приводимые в главах 3-5 алгоритмы поиска расписаний КС основаны на принципе жадного поиска. Автор утверждает, что система КС является матроидом, приводится теорема с доказательством этого утверждения. Последнее обстоятельство, по мнению автора, обосновывает возможность достижения глобального оптимума при применении жадного алгоритма. В действительности это не так даже для локальных оптимумов. Относительно данного утверждения отмечу следующие обстоятельства.

4.1. Жадный алгоритм в любой модификации имеет полиномиальную сходимость.

4.2. Доказано, что задачи оптимизации расписаний КС при числе машин более двух NP-трудны в сильном смысле даже для классической flow shop (см., например, работы С.В. Севастьянова). Налицо явное противоречие.

4.3. Доказательство теоремы о матроиде приведено для частного случая двух машин в конвейере, чего явно недостаточно даже без проверки корректности доказательства.

4.4. В общем случае применение в матроидной оптимизации жадных алгоритмов не может гарантировать получения оптимальных решений задач данного класса (КС в том числе). В противном случае класс NP совпадает с классом P (что не доказано и не может быть доказано посредством применения идей жадного поиска в частности).

4.5. На мой взгляд, разработанный жадный алгоритм и его модификации, описанные в главах 3, 4 и 5 являются эвристическими и оцениваются посредством апостериорного сравнительного анализа результатов применения с результатами других алгоритмов, что автором частично реализовано.

4.6. Оптимизация составов групп пакетов заданий, выполняемых в течение задаваемых интервалов времени функционирования конвейерных систем, осуществляется с использованием

алгоритмов, рассмотренных в главе 6. Определение локально оптимальных решений по составам групп пакетов заданий для каждой из рассмотренных в главе 6 задач предполагает исключение из групп пакетов заданий, выполнение которых в этих группах приводит к неэффективному использованию ресурсов конвейерных систем. Разумным представляется обобщить рассмотренный подход к оптимизации решений по составам групп пакетов заданий и сформулировать выводы, касающиеся особенностей построения метода оптимизации решений по составам групп.

5. Замечания по результатам исследований.

5.1. В выводах по главам 3, 4, 6 утверждается, что разработанный автором инструментарий позволяет улучшить все основные характеристики расписаний КС на 15-50% в сравнениями с результатами существующих метаэвристических алгоритмов. Считаю данное утверждение недоказанным, поскольку в отсутствии теоретических оценок сходимости к оптимумам, полученные экспериментальные результаты сравнивать нужно не с собственными реализациями разновидностей локального поиска, как это сделано в диссертации, а с результатами применения существующих реализаций методов решения задач оптимизации расписаний. Например, программированием в ограничениях (IBM CP), роевого интеллекта (GUROBI) и т.п.

5.2. Разнообразные применения результатов диссертации, приведенные в приложении 3, касаются в частности проблематики дистанционного зондирования земной поверхности (ДЗЗ) космическими аппаратами (п.п. 3.1-3.4). На мой взгляд, сведение запросов на обработку данных ДЗЗ посредством пяти выделяемых автором процедур и соответствующих блоков к обслуживанию заявок в конвейерной системе является упрощением. Любые из выделяемых процедур могут быть распараллелены и такую систему к flow shop (и КС в широком смысле) отнести невозможно. Наиболее же трудоемкой и важной процедурой, определяющей общую трудоемкость обработки данных ДЗЗ (из числа приведенных в приложении) является решение задачи кластеризации, которая, к сожалению, не описана ни содержательно, ни формально. Приведен только мнемокод алгоритма, по которому оценить качество кластеризации невозможно. Отмечу, что большинство постановок задач кластеризации, также как и рассматриваемые автором задачи оптимизации расписаний КС, NP-трудны и весьма актуальны для практических применений.

Следует отметить, что приведенные замечания не оспаривают научную и практическую ценность диссертационной работы, а отмеченные недостатки не оказывают существенного влияния на качество результатов исследований.

7. **Заключение**

Научные результаты, полученные диссертантом Кротовым К.В., позволяют обеспечить решение комплекса важных научно-практических задач. Уровень работы, значимость решенных задач и полученных результатов диссертационной работы Кротова К.В. полностью соответствуют требованиям пп. 9 - 14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней» утвержденного Правительством Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Автор диссертационной работы Кротов Кирилл Викторович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент
доктор технических наук,
доцент, профессор кафедры
«Автоматизированные
системы управления»
ФГБОУ ВО «Новосибирский
государственный технический
университет» Ю. А. Мезенцев

Подпись Мезенцева Ю. А. док. техн. наук,
профессора кафедры «Автоматизированные
системы управления» ФГБОУ ВО «Новосибирский
государственный технический университет» заверяю.
Начальник отдела кадров ФГБОУ ВО
«Новосибирский государственный
технический университет» О.К. Пустовалова
01.08.2022

Россия, 630073, г. Новосибирск, проспект К. Маркса, 20, корпус 7, НГТУ, к.806.
Телефон: (383) 346-11-00, e-mail: mezencev@corp.nstu.ru , mesyan@yandex.ru

С отзывом ознакомлен
18.08.22 /Кротов К.В./

Сведения об официальном оппоненте
по диссертационной работе 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 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Фамилия Имя Отчество оппонента	Мезенцев Юрий Анатольевич
Шифр и наименование специальностей, по которым защищена диссертация	05.13.01 –Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)
Ученая степень и отрасль науки	Доктор технических наук
Ученое звание	Доцент
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы оппонента	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», НГТУ
Ведомственная принадлежность организации	федеральная
Структурное подразделение	Кафедра «Автоматизированные системы управления»
Почтовый индекс, адрес	630073, г. Новосибирск, Проспект Карла Маркса, д. 20
Веб-сайт	https://www.nstu.ru
Телефон	+7 (383) 346-08-43
Адрес электронной почты	mezencev@corp.nstu.ru, mesyan@yandex.ru
Список основных публикаций в рецензируемых научных изданиях, монографии за последние 5 лет по теме диссертации (не более 15 публикаций)	1. Mezentsev Y.A., Chubko N.Y. On one bicriterion discrete optimization problem and a hybrid ant colony algorithm for its approximate solution. Lecture Notes in Computer Science. 2021. T. 12689 LNCS. P. 289-300. https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-78743-1_26 2. Мезенцев Ю.А., Короткова Ю. Л., Эстрайх И. В. Эффективный алгоритм решения прикладной задачи оптимизации расписаний параллельно-последовательной системы. Информационные технологии, Изд-во "Новые технологии" 2021. – Т.

27, № 12. – С. 642–650.
https://doi.org/10.17587/it.27.642-650

3. Мезенцев Ю.А., Короткова Ю.Л., Эстрайх И.В. Задача и инструменты оптимального регулирования расписаний флота авиакомпании // Информационные технологии, Изд-во "Новые технологии" 2020 - Т. 26, № 8. – С. 450-459, DOI: 10.17587/it.26.450-459. https://doi.org/10.17587/it.26.450-459

4. Мезенцев Ю.А., Эстрайх И.В. Эффективный параметрический алгоритм оптимизации расписаний параллельных систем с заданным расписанием начала обслуживания // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. Новосибирск, Изд-во НГТУ 2018. – № 3 (72) С.87-106.

5. Mezentsev Y. A., Baranova N. V., Pavlov P. S. Computational approach to solving the problem of optimizing the supply of raw materials and components at the enterprise. Journal of Physics: Conference Series 2021 - Vol. 2094, 032057
https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2094/3/032057

6. Mezentsev Y. A., Korotkova Y. L. Application Problem and Effective Algorithm of the Parallel-Sequential System Schedule Optimization / DOI 10.1109/APEIE52976.2021.9647516 . // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2021) : proc. of the 15 intern. sci. and techn. conf., Novosibirsk, 19–21 Nov. 2021. – Novosibirsk : Publ. NSTU, 2021. – P. 648–653. – ISBN 978-1-6654-3408-9.

7. Baranova N. V., Mezentsev Y. A., Pavlov P. S. Solving One Problem of Optimal Production and Material Flow Management of a Garment Manufacturer / – DOI 10.1109/APEIE52976.2021.9647597. // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2021) : proc. of the 15 intern. sci. and techn. conf., Novosibirsk, 19–21 Nov. 2021. – Novosibirsk : Publ. NSTU, 2021. – P. 627–630. – ISBN 978-1-6654-3408-9.

8. Баранова Н.В., Мезенцев Ю.А., Павлов П.С. О задаче и алгоритмах согласованного оптимального управления производством и материальными потоками предприятия. Системы анализа и обработки данных. 2021. № 3 (83). С. 7-18. DOI: 10.17212/2782-2001-2021-3-7-18

	9. Мезенцев Ю.А., Разумникова О.М., Тарасова И.В., Трубникова О.А. О некоторых задачах кластеризации больших данных по минимаксным и аддитивным критериям, применение в медицине и нейрофизиологии // Информационные технологии, Изд-во "Новые технологии" 2019. – Т. 25, № 10. – С. 602–608. https://doi.org/10.17587/it.25.602-608 10. Авдеенко Т. В., Мезенцев Ю.А. Кластеризация документов на основе семантической матрицы связей для концептуального индексирования // Вычислительные технологии, 2020, том 25, № 3, с. 99–110. © ИВТ СО РАН, 2020 ISSN 1560-7534 (Computational Technologies, 2020, vol. 25, no. 3, pp. 99–110. © ICT SB RAS, 2020 eISSN 2313-691X), DOI:10.25743/ICT.2020.25.3.011 http://www.ict.nsc.ru/jct/t25n3 http://www.ict.nsc.ru/jct/author/2268 11. Короткова Ю.Л., Мезенцев Ю.А. Риск-ориентированный подход к решению задачи оперативного управления расписанием авиакомпании. Системы анализа и обработки данных. 2021 № 4 (84). С. 19-36. DOI: 10.17212/2782-2001-2021-4-19-36
Являетесь ли Вы работником ФБГНУ "Институт природно-технических систем" или ФГАОУ ВО "Севастопольский государственный университет" (в том числе по совместительству)?	Не являюсь
Являетесь ли Вы работником (в том числе по совместительству) организации, где работает соискатель ученой степени или его научный руководитель?	Не являюсь
Являетесь ли Вы работником (в том числе по совместительству) организаций, где ведутся научно-исследовательские работы, по которым соискатель ученой степени является руководителем или работником организации-заказчика или исполнителем (соисполнителем)?	Не являюсь
Являетесь ли Вы членом Высшей аттестационной комиссией при	Не являюсь

Министерстве образования науки Российской Федерации?	
Являетесь ли Вы членом экспертных советов Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования науки Российской Федерации?	Не являюсь
Являетесь ли Вы членом диссертационного совета, принявшего диссертацию к защите?	Не являюсь
Являетесь ли Вы соавтором соискателя степени по опубликованным работам по теме диссертационного исследования?	Не являюсь

Доктор технических наук,
доцент, профессор кафедры
«Автоматизированные системы
управления» ФГБОУ ВО
«Новосибирский государственный
технический университет» Ю.А. Мезенцев

верно

Подпись профессора Мезенцева Ю.А. заверяю
ученый секретарь НГТУ, д.т.н., профессор Г.М. Шумский

«12» 12 2022 г.

М.П.