

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.323.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЛИПЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 10.04.2024 г. № 35

О присуждении Супрунову Игорю Ивановичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Математические модели и алгоритмы последовательной обработки движущихся протяженных объектов на основе окрестностных систем» по специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 22.01.2024 г. (протокол заседания № 31) диссертационным советом 24.2.323.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30, приказ о создании диссертационного совета № 546/нк от 01 июня 2019 года.

Соискатель Супрунов Игорь Иванович, 30 марта 1993 года рождения, в 2022 году окончил аспирантуру ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», работает в должности старшего преподавателя кафедры высшей математики ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре высшей математики ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Шмырин Анатолий Михайлович, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», кафедра высшей математики, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Громов Юрий Юрьевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (г. Тамбов), институт автоматики и информационных технологий, директор;

Провоторов Вячеслав Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» (г. Воронеж), кафедра уравнений в частных производных и теории вероятностей, профессор;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет» (г. Воронеж) в своем положительном отзыве, подписанном Барабановым Владимиром Федоровичем, доктором технических наук, профессором, и.о. заведующего кафедрой автоматизированных и вычислительных систем, и утвержденным Дроздовым Игорем Геннадьевичем, доктором технических наук, профессором, первым проректором, указала, что диссертационная работа Супрунова Игоря Ивановича «Математические модели и алгоритмы последовательной обработки движущихся протяженных объектов на основе окрестностных систем» соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», а именно: содержит решение научных задач, имеющих значение для развития теории математического моделирования, характеризуется научной новизной, теоретической и практической значимостью; диссертация обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты и положения, что свидетельствует о личном вкладе автора в науку; основные научные результаты достаточно полно отражены в 15 публикациях, в том числе в 4 по Перечню изданий ВАК.

Соискатель имеет 18 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 15 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ (4 – ВАК РФ, 2 – Scopus и Web of Science), 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. Шмырин, А.М. Окрестностное моделирование конвейерной обработки стохастического потока данных / А.М. Шмырин, Н.М. Мишачёв, И.И. Супрунов // Системы управления и информационные технологии. – 2021. – № 2 (84). – С. 19-22.
2. Мишачёв, Н.М. Прямая и обратная задачи для пассивных зон конвейерной обработки протяженного объекта / Н.М. Мишачёв, А.М. Шмырин, И.И. Супрунов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2022. – Т. 18. – № 5. – С. 78-84.
3. Супрунов, И.И. Математическая модель и алгоритмы последовательной обработки движущегося протяженного объекта / И.И. Супрунов, А.М. Шмырин, Н.М. Мишачёв // Системы управления и информационные технологии. – 2023. – № 1 (91). – С. 16-22.
4. Супрунов, И.И. Применение модели конвейерной обработки в задачах логистики / И.И. Супрунов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2023. – Т. 19. – № 4. – С. 32-36.
5. Mishachev, N.M. Simulation of sequential processing of a moving extended object / N.M. Mishachev, A.M. Shmyrin, I.I. Suprunov // International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies. – 2020. – №2. – Vol.11(7). – p. 182-187.

6. Mishachev, N.M. Generating schedule in linear additive neighborhood model / N.M. Mishachev, A.M. Shmyrin, I.I. Suprunov // 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2021. – 2021. – p. 15-18.

В работах, написанных в соавторстве и приведенных в автореферате, лично соискателем получены следующие результаты: [1,5,10] – разработка окрестностных структур движущегося протяженного объекта в переменных

Лагранжа и Эйлера; [2,3,6] – динамическая окрестностная модель последовательной обработки протяженного объекта в координатах Эйлера, динамическая окрестностная модель для пассивных зон обработки, решение прямой и обратной задач для пассивных зон обработки в случае линейных систем, основной алгоритм работы управляющих узлов на активном этапе, модифицированные версии основного алгоритма; [7] – разработка программного обеспечения для расчета показателей профиля проката; [8,9] – разработка программного обеспечения для расчета периодов работы управляющих узлов; [12] – реализация разработанных модификаций алгоритмов с учетом ограничений на ресурсы и равномерным расходом ресурсов на сгенерированных данных; [14] – разработка и реализация алгоритма генерирования путевых кодов на основе модификации аддитивного алгоритма с ограничением на ресурсы и равномерным расходом ресурсов.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Глушенко А.И., д.т.н., доцента, ведущего научного сотрудника лаборатории №7 Адаптивных и робастных систем им. Я.З. Цыпкина ФГБУН «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук» (г. Москва). Замечания: 1. При первом упоминании понятия «емкость управляющего входа» следовало бы ввести его интуитивно понятное определение, что облегчило бы понимание дальнейшего материала. 2. Каким образом была измерена реальная температура горячекатаной полосы для проведения сравнительного эксперимента, результаты которого приведены на рис.3 и рис.4?

2. Жуковского Е.С., д.ф.-м.н., профессора, начальника научно-исследовательского института математики, физики и информатики, профессора кафедры функционального анализа ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина» (г. Тамбов). Замечание: В автореферате на странице 9 вектор-функция, задающая поступательно движение объекта,

обозначена сначала  $S^t$ , затем  $S(t)$  и далее снова  $S^t$ . Следовало использовать одно обозначение.

3. Кабуловой Е.Г., д.т.н., доцента, заведующего кафедрой высшей математики и информатики Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (г. Старый Оскол). Замечание: при постановке задачи обработки протяженного объекта (страницы 10-12) обсуждается только модель в координатах Эйлера и ничего не сказано о модели в координатах Лагранжа, хотя в общем случае (на странице 9) модели в координатах Лагранжа обсуждаются.

4. Дидриха В.Е., д.т.н., профессора, директора по инновационному развитию АО «Тамбовский завод «Октябрь» (г. Тамбов). Замечание: на странице 10 при постановке задачи последовательной обработки протяженного объекта описываются три зоны обработки – две пассивных и одна активная. Если строго следовать описанной ранее общей схеме, то зоной обработки можно назвать только активную зону. Возможно, следовало бы пояснить более четко, что в пассивных зонах термин «обработка» используется не в буквальном смысле и означает изменение свойств без управляющих воздействий.

5. Гордона В.А., д.т.н., профессора, профессора кафедры технической физики и математики ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (г. Орёл). Замечание: при описании трех этапов алгоритма (страница 12 автореферата), возможно, следовало бы уточнить, что расчеты первого этапа связаны с первой (пассивной) зоной, а расчеты второго этапа связаны с третьей (тоже пассивной) зоной. Это, конечно, следует из дальнейшего изложения, но было бы лучше, если это было объяснено уже в пунктах 1-3.

6. Киселевой Т.В., д.т.н., профессора, почетного работника высшего профессионального образования РФ, действительного члена Российской академии естественных наук, члена-корреспондента Сибирской академии наук высшей школы, почетного профессора Кузбасса, профессора кафедры прикладных информационных технологий и программирования ФГБОУ ВО «Сибирский

государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк). Замечания:

1. На странице 11 автореферата в двух абзацах после рисунка 2 идет пояснение расположения дуг окрестностной структуры. Для лучшего понимания и наглядности изложения следовало бы поместить данные абзацы до рисунка 2.
2. На странице 17 автореферата автору следовало бы указать, что при адаптации модели и основного алгоритма к задачам логистики используется модификация алгоритма с равномерным расходом ресурсов.

7. Песчанского А.И., д.т.н., профессора, профессора кафедры «Высшая математика» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» (г. Севастополь). Замечание: на странице 14 фраза «Для расчетов в задаче получения режима работы душирующих установок на основе разработанных алгоритмов составлена модель...» неоднозначна – ее можно понять так, что модель составлена на основе алгоритма. Видимо, лучше было бы убрать фрагмент «на основе разработанных алгоритмов».

8. Петрова А.В., д.т.н., профессора, профессора института информационных технологий и анализа данных ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (г. Иркутск). Замечание: на странице 17 следовало бы подробнее пояснить переход от вектора максимальных емкостей к вектору номинальных емкостей.

Все отзывы положительные. На замечания даны подробные ответы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается широкой известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации, а также их согласием.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

введены классы динамических окрестностных моделей на основе использования переменных Лагранжа и Эйлера, что позволяет применять дискретные системы для описания процесса последовательной обработки движущихся протяженных объектов;

разработаны алгоритмы и численные методы, отличающиеся использованием окрестностной модели Эйлера и позволяющие решать прямую и обратную задачи расчета изменения параметров протяженного объекта на пассивных этапах процесса обработки;

разработан алгоритм расчета режимов работы последовательности однотипных управляющих устройств на активном этапе обработки, отличающийся возможностью учёта изменяющихся параметров объекта и позволяющий достигать заданных параметров выхода;

предложены две модифицированные версии алгоритма последовательной обработки на активном этапе, отличающиеся возможностью учета ограничений на ресурсы управляющих устройств и позволяющие решать задачу равномерного расхода ресурсов;

разработан проблемно-ориентированный комплекс программ, отличающийся наличием трех вычислительных модулей, соответствующих трем этапам обработки, и позволяющий находить режимы работы устройств активной зоны, реализующие заданные целевые параметры выхода.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана возможность использования построенных динамических окрестностных моделей поступательного движения в переменных Лагранжа и Эйлера для процессов обработки пространственных объектов;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы методы теории математического моделирования, теории систем, теории графов, вычислительной математики;

изложены результаты, позволяющие использовать построенные динамические окрестностные модели и разработанные для них алгоритмы для описания процесса последовательной обработки движущихся протяженных объектов;

изложены научные результаты, которые обеспечивают теоретическую основу для математического моделирования сложных производственных процессов с

использованием динамических окрестностных моделей и алгоритмов последовательной обработки движущихся протяженных объектов с заданными целевыми параметрами выхода.

раскрыта особенность введенной автором новой версии динамических окрестностных моделей, отличающихся учетом движения объекта в пространстве;

изучены особенности построенных окрестностных моделей процесса обработки движущегося объекта в переменных Лагранжа и переменных Эйлера, в том числе для случая последовательной обработки протяженного объекта;

проведена модернизация класса динамических окрестностных моделей, что позволяет математически описывать процессы обработки движущихся объектов неподвижными устройствами с учетом движения объекта в пространстве.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и используются результаты диссертационного исследования в учебном процессе ФГБОУ ВО «ЛГТУ» в рамках реализации образовательной программы по направлению 01.03.03 «Механика и математическое моделирование», при выполнении индивидуальных заданий по дисциплинам «Математическое моделирование», «Применение компьютерных технологий в динамике систем тел», а также при подготовке выпускных квалификационных работ;

определенны сферы применения разработанных моделей и алгоритмов для внедрения результатов диссертационного исследования – предприятия, использующие принципы последовательной обработки в производственных задачах, а также компании, занимающиеся задачами логистики и перевозок;

созданы динамические окрестностные модели, разработаны алгоритмы, которые адаптированы для применения в производственных задачах обработки протяженных объектов, в частности, в задаче охлаждения горячекатаной полосы, а также в логистических задачах равномерного распределения поставок продукции;

представлены рекомендации по дальнейшему рассмотрению и использованию результатов работы предприятиями АО «Липецкцемент»,

СП «Хмелинецкий сахарный завод» АО «АПО «Аврора», ООО «ЛипецкНИЦстройпроект», ООО «Группа Компаний «ЛипецкПрофиль», ПАО «НЛМК». В ООО «ЛипецкНИЦстройпроект» подтверждено, что на основе разработанных моделей и алгоритмов можно улучшить некоторые стадии процесса перевозки дорожно-строительных материалов. В ООО «Группа Компаний «ЛипецкПрофиль» подтверждено, что разработанные алгоритмы и программные модули могут быть полезны при расчете управляющих воздействий на объекты с учетом заданных начальных значений параметров объекта и целевого выхода. В ПАО «НЛМК» подтверждено, что результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для дальнейшего рассмотрения и использования при анализе работы установки ускоренного охлаждения с целью получения технологически оптимального температурного профиля полосы на этапе смотки.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;

теория построена на известных, проверяемых данных и фактах с использованием теории окрестностных систем, с применением современных технологий математического моделирования и вычислительного эксперимента;

идея базируется на возможности построения дискретной модели в задаче моделирования процесса обработки движущегося объекта, которая может быть реализована в рамках теории окрестностных систем;

использовано сравнение результатов моделирования с описанными в открытых источниках данными реальных производственных процессов последовательной обработки, полученные согласно имитационному моделированию результаты распределения температуры на выходе обладают существенно меньшим отклонением, чем реальные данные по температуре в исходных примерах; анализ полученных результатов во всех случаях показал соответствие производственным данным;

установлено совпадение результатов автора с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике и с производственными данными, что говорит об адекватности построенных моделей;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации из открытых и независимых источников с применением современных компьютерных технологий.

Личный вклад соискателя состоит в:

полном и непосредственном участии во всех этапах процесса проведенного диссертационного исследования, включая получение исходных данных и проведение научных экспериментальных исследований, личное участие в аprobации результатов исследования; разработке нового класса динамических окрестностных моделей на основе использования переменных Лагранжа и Эйлера, разработке алгоритмов и численных методов с использованием окрестностной модели Эйлера; разработке алгоритма расчета режимов работы последовательности однотипных управляющих устройств на активном этапе обработки; разработке модифицированных версий алгоритма последовательной обработки на активном этапе с учетом ограничений на ресурсы управляющих устройств и равномерным расходом ресурсов; разработке проблемно-ориентированного комплекса программ; формировании основных результатов работы и выводов; подготовке публикаций по теме диссертации.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Супрунов И.И. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию значимости проведенных исследований в полученных результатах, а также отметил, что высказанные замечания и пожелания будут учтены в дальнейшей работе.

На заседании 10 апреля 2024 года диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные теоретические и практические разработки в области теории окрестностных систем, обобщающие класс динамических окрестностных моделей с учетом движения объекта в пространстве и позволяющие моделировать сложные производственные процессы с последовательной

обработкой движущихся протяженных объектов, присудить Супрунову И.И. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 6 докторов наук по научной специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», из 17 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали:

за – 13, против – 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационной

Ученый секретарь

диссертационной

«10» апреля 2024 г.

Погодаев Анатолий Кирианович

Седых Ирина Александровна