

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.287.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета 24.2.287.01 от «21» декабря 2022 г. № 21

О присуждении Карманову Андрею Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

**Диссертация** «Оптимальное управление процессом получения бутилрегенерата на основе методов нечеткой оптимизации» в виде рукописи по специальности 2.3.3. «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» принята к защите 12.10.2022 г., протокол №17, диссертационным советом 24.2.287.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 394036, Воронеж, проспект Революции, д. 19, приказ о создании диссертационного совета №168/нк от 13.02.2018 г.

Соискатель **Карманов Андрей Викторович**, 1993 года рождения.

В 2015 году окончил Воронежский государственный архитектурно-строительный университет с присвоением квалификации бакалавр по направлению «Строительство». С 2015 по 2017 год проходил обучение в магистратуре по направлению «Строительство» в Воронежском государственном техническом университете, по окончании которого соискателю была присвоена квалификация магистр. В 2021 году освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Воронежского государственного технического университета по направлению 09.06.01 – «Информатика и вычислительная техника». С 2022 г. работает в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» на должности ассистента кафедры высшей математики и информационных технологий.

Диссертация выполнена на кафедре автоматизированных и вычислительных систем ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет».

**Научный руководитель** - доктор технических наук, профессор кафедры информационных и управляющих систем ФГБОУ ВО «Воронежский

государственный университет инженерных технологий» Тихомиров Сергей Германович.

**Официальные оппоненты:**

1. Карпушкин Сергей Викторович, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»;

2. Семенов Анатолий Дмитриевич, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Информационно-измерительная техника и метрология» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет».

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет», (г. Воронеж) в своем положительном заключении, подписанном Кургалиным С.Д., доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой цифровых технологий, и утвержденном Козадеровым О.А., доктором химических наук, проректором по науке, инновациям и цифровизации, указала, что диссертационная работа Карманова А.В.:

- соответствует паспорту специальности «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» и представляет собой завершённое исследование, содержащее новые научно-обоснованные технические решения, направленные на создание системы принятия решений, обеспечивающей расчет оптимальных управляющих параметров и позволяющей выдавать рекомендации по управлению процессом для получения бутилрегенерата с заданными свойствами;

- полученные в диссертации результаты, основные выводы и рекомендации подтверждаются полученными оценками точности разработанных моделей, базирующихся на экспериментальных данных и согласуются с теоретическими положениями, опубликованными в литературе, а также имеют строгие математические обоснования;

- диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты;

- значимость полученных автором диссертации результатов для развития технических наук заключается в теоретико-информационном анализе процесса получения бутилрегенерата, отличающегося определением факторов, оказывающих доминирующее влияние на производительность сложной химико-технологической системы, выявлением структуры информационных потоков и взаимосвязи их элементов; в проведении моделирования двухстадийного процесса радиационной и термомеханической деструкции, впервые позволившее выявить структуру системных связей между условиями проведения процесса, моментами молекулярно-массового распределения и

показателями качества бутилрегенерата; в формулировке частных критериев поиска оптимальных параметров рассматриваемого процесса и установлении структуры связей между ними, агрегировании обобщенного критерия с использованием нечеткого интеграла Шоке и нечеткой меры Сугено; в разработке оригинального алгоритма управления процессом получения бутилрегенерата, позволяющего обеспечить требуемое качество регенерата.

Соискатель имеет 35 опубликованных работ, из них 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК, 5 статей в журналах, индексируемых библиографической и реферативной базой данных Scopus.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке задач, анализе литературных данных, проведении экспериментальных исследований, обработке и анализе экспериментальных данных, систематизации и интерпретации результатов, формулировке научных положений и выводов, написании статей и докладов по теме исследования.

Недостовверные сведения об опубликованных соискателем работах в диссертации отсутствуют.

#### **Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. Подвальный С.Л., Хвостов А.А., Карманов А.В., Тихомиров Г.С., Попов А.П. Математическое моделирование процесса термомеханической деструкции облученных резин // Вестник Воронежского государственного технического университета, 2020. – Т. 16, № 2. – С. 11-17.

2. Подвальный С.Л., Попов А.П., Карманов А.В., Тихомиров Г.С., Образцов Н.К // Синтез системы управления процессом деструкции сшитых полимеров при комбинированных внешних воздействиях // Вестник Воронежского государственного технического университета, 2020. – Т. 16, № 6. – С. 41-48.

3. Тихомиров С.Г., Подвальный С.Л., Ряжских В.И., Хвостов А.А., Карманов А.В. Выбор температурно-частотных параметров ультразвукового контроля показателей качества эластомеров // Известия Российской академии наук. Серия физическая, 2020. – Т. 84, № 11. – С. 1662-1666.

4. Tikhomirov S.G., Polevoy P. C., Semenov M. E., Karmanov A.V. Modeling of the destruction process of butyl rubber // Radiation Physics and Chemistry, v. 158, 2019, p. 205-208.

5. Pogodaev A.K., Tikhomirov S.G., Karmanova O.V., Podvalny S.L., Khvostov A.A., Karmanov A.V. Mathematical modeling of the thermomechanical destruction process of elastomers treated with ionizing radiation // Journal of Chemical Technology and Metallurgy, v. 54, N 5, 2019, p. 902-908.

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов, все отзывы положительные. В отзывах указывается, что представляемая работа отличается высоким теоретическим уровнем, имеет большое научное и практическое значение и по своей новизне и актуальности соответствует требованиям Высшей

аттестационной комиссии.

В отзыве Дзюбы Сергея Михайловича, д.ф.-м.н., профессора, профессора кафедры информационных систем ФГБОУ ВО «Тверского государственного технического университета» отмечены следующие замечания:

1) в автореферате отсутствует пояснение, каким образом решается задача выбора оптимальных технологических параметров с использованием генетического алгоритма;

2) из автореферата следует, что автором используется зависимость средневязкостной молекулярной массы как функции внешних воздействий. В то же время согласно п. 2 «Научной новизны» автором утверждается, что им получена структура связей между моментами ММР и условиями проведения процесса.

В отзыве Карповича Дмитрия Семеновича, к.т.н., доцента, заведующего кафедрой автоматизации производственных процессов и электротехники УО «Белорусский государственный технологический университет» отмечено следующее замечание: на стр. 16 представлена блок-схема алгоритм управления процессом, при этом непонятно как обеспечивается необходимый механический режим работы резиносамесителя (блок 8).

В отзыве Лабутина Александра Николаевича, д.т.н., профессора, профессора кафедры технической кибернетики и автоматики ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» отмечены следующие замечания:

1) на рис. 1. - Структурная схема получения бутилрегенерата (с. 8) в качестве выходных параметров второй стадии указаны остаточное удлинение и прочность при разрыве, однако при дальнейшем изложении эти параметры не использованы при разработке системы автоматизированного управления;

2) требуется обоснование - почему в качестве частных критериев выбраны критерии (17)-(19). Кроме того, критерий (18) очевидно должен иметь вид:  $Z_2 \rightarrow \max$ .

В отзыве Лившица Александра Валерьевича, д.т.н., профессора, заведующего кафедрой автоматизации производственных процессов ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения» отмечено следующее замечание: в формуле (1) стр. 10 автореферата величины, в качестве которых выступают  $M_h$ ,  $e$ ,  $F_p$ , не являются технологическими параметрами, а описывают свойства композиций.

В отзыве Прокопчука Николая Романовича, д.х.н., профессора, члена-корреспондента Национальной академии наук Беларуси, заслуженного деятеля науки Республики Беларусь, профессора кафедры полимерных композиционных материалов УО «Белорусский государственный технологический университет» и Шашок Жанны Станиславовны, д.т.н., доцента, профессора кафедры полимерных композиционных материалов УО «Белорусский государственный

технологический университет» в качестве замечаний отмечен вопрос, который не нашел свое отражение в автореферате диссертации: какие факторы производства бутилрегенарата оказывают доминирующее влияние на безопасность сложной химико-технологической системы.

В отзыве Мешалкина Валерия Павловича, академика РАН, директора Международного Института Ресурсосбережения и Технологической Инноватики (НОЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева отмечены следующие замечания:

1) в автореферате не указано, какие основные процессы регенерации, кроме рассматриваемых автором стадий (стр. 5) были исследованы в результате системного анализа;

2) в автореферате отсутствует рис.5 и требуется пояснение, что понимается под параметрами термомеханической обработки на рис. 6.

В отзыве Лукьяницы Андрея Александровича, д.т.н., старшего научного сотрудника кафедры автоматизации научных исследований факультета ВМК ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» указаны следующие замечания:

1) в автореферате (стр. 4) указано, что сдвиговые напряжения оказывают существенное влияние на качество получаемого регенерата, однако в дальнейших исследованиях этот фактор автором нигде не учитывался;

2) на стр. 12 указано, что в среде Mathcad осуществлена оценка параметров модели, но не указаны методы идентификации этих параметров.

В отзыве Зиятдинова Надира Низамовича, д.т.н., профессора, профессора кафедры системотехники ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» отмечены следующие замечания:

1) не указано, какой метод экспертных оценок использовался при построении вектора значений нечеткой меры Сугено;

2) в формуле (7) не обоснована связь  $S(\theta, t, T)$  и  $S(\theta, 0, 293)$ .

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** определен соответствием тематики работы соискателя, областям их научных интересов и направлениям деятельности, что подтверждается большим числом научных публикаций. Высокая квалификация в области автоматизации и управления технологическими процессами и производствами позволяет им оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**Разработан** новый подход к управлению двухстадийным технологическим процессом получения бутилрегенарата, основанный на использовании методов нечеткой оптимизации, обеспечивающий получение продукции заданного качества и к построению оптимальных значений вектора

управляющих воздействий, осуществленное на основе моделей отдельных стадий процесса и математического аппарата интеграла Шоке.

**Предложен** оригинальный подход формирования интегрального критерия оптимизации, основанного на использовании нечеткого интеграла Шоке с учетом различного влияния частных критериев на всех стадиях производства.

**Доказана** применимость и перспективность использования правила логарифмической аддитивности для описания технических свойств получаемого материала.

Новые понятия **не вводились**.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**Доказана** полнота и непротиворечивость представлений об организации и оптимальном управлении двухстадийным процессом получения бутилрегенерата и обоснованность выбора оптимальных радиационных и термомеханических режимов деструкции полимерных композиций, что позволило в производственных условиях организовать эффективные режимы на всех стадиях получения регенерата.

**Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс** базовых методов исследования, в том числе методы функционального моделирования, математического моделирования и вычислительной математики при решении задач идентификации параметров математических моделей, оптимизации, формализации химической кинетики, проведении натурного эксперимента и системного анализа.

**Изложены** факторы, оказывающие доминирующее влияние на процессы деструкции при радиационном и термомеханическом воздействиях на обрабатываемый материал; положения и условия, используемые при разработке математических моделей для описания процессов деструкции как основных полимерных цепей, так и поперечных связей полимерной матрицы под воздействием внешних сил различной природы (радиолиз, термомеханические воздействия); метод агрегирования частных критериев качества в интегральный с использованием нечеткого интеграла Шоке; методики синтеза экспертной и диалоговой системы поддержки принятия решений (СППР), как подсистемы АСУТП получения бутилового регенерата заданного качества.

**Раскрыты** существующие проблемы при управлении отдельными стадиями процесса, заключающиеся в необходимости оптимизации трех взаимодействующих и конкурирующих целевых функций, являющихся показателями качества конечного продукта (концентрации поперечных связей, средняя молекулярная масса полимера, вязкость по Муни композиции).

**Изучены** технологические процессы радиационной и термомеханической обработки бутиловых резин как объекты управления; закономерности их функционирования; информационные связи между подсистемами экспертной и

диалоговой СППР, как подсистемы АСУТП и синтезированным алгоритмом управления на основе современных представлений о двухстадийном процессе производства.

**Проведена модернизация** метода оценки значений весовых коэффициентов частных показателей обобщенного критерия оптимизации с использованием метода парных сравнений с последующим усреднением и ранжированием оценок экспертов.

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

**Разработана и внедрена** экспертная и диалоговая СППР, позволяющая рассчитывать оптимальные управляющие параметры и выдавать рекомендации по управлению процессами радиолiza и термомеханической обработки бутиловых резин различных составов. Использование экспертной и диалоговой СППР в контуре АСУТП позволяет на производственном этапе организовывать эффективные и экономически выгодные режимы радиационной и термомеханической обработки. Результаты работы используются на предприятиях ЗАО «Интех» и ООО «Совтех». Прогнозируемый экономический эффект от внедрения результатов диссертационного исследования составит 24 млн. руб. в год. Полученный в результате опытной эксплуатации СППР регенерат апробирован на ООО «РПИ КурскПром».

**Определены** перспективы практического применения разработанных моделей и алгоритмов при управлении отдельными стадиями радиационной и термомеханической обработки в двухстадийном технологическом процессе получения бутилрегенерата в лабораториях НИИ и предприятиях резинотехнической промышленности.

**Создана** система практических рекомендаций по использованию экспертной и диалоговой СППР для расчёта управляющих параметров процесса (поглощенная доза, температура и продолжительность механообработки), позволяющая выдавать рекомендации по управлению процессом и обеспечивающая получение продукции заданного качества.

**Представлены** рекомендации по дальнейшему совершенствованию практического применения моделей и алгоритмов управления качеством (концентрация поперечных связей, средняя молекулярная масса полимерной матрицы, вязкость по Муни полимерной композиции).

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**Для экспериментальных работ** результаты получены на сертифицированном оборудовании, калиброванном и поверенным перед проведением эксперимента (измерений); на предприятиях внедрения доказана воспроизводимость результатов исследования в производственных условиях.

**Теория** построена на известных, проверенных данных и фактах из предметных областей системного анализа, математического моделирования и

управления и согласуется с опубликованными экспериментальными данными других авторов по теме диссертации и смежным отраслям.

**Идея** базируется на анализе практики и обобщении передового опыта в области моделирования и построения автоматизированных системам управления технологическими процессами деструкции.

**Использовано** сравнение авторских результатов и информации, полученной ранее, по рассматриваемой тематике.

**Установлено** качественное и количественное соответствие авторских результатов известным результатам, представленным в независимых источниках по данной тематике.

**Использованы** современные методики обработки экспериментальных данных, позволяющие повысить воспроизводимость и объективность исходных данных, обработки исходной информации, технические средства проведения лабораторных исследований (химический, реометрический и физико-механический анализ, использование показаний высокоточных приборов, применяемых для измерения параметров технологического процесса, информационные технологии моделирования для оценки параметров). Достоверность результатов проведенных исследований базируется на строгих доказательствах и использовании апробированных математических методов. Ряд выявленных автором теоретических положений непосредственно согласуется с общепризнанными результатами в смежных областях исследования. Все научные положения, выводы и рекомендации, изложенные в диссертационной работе, обоснованы и подтверждены экспериментальными исследованиями и материалами.

**Личный вклад соискателя** состоит в непосредственном участии на всех этапах выполнения научно-исследовательской работы, анализе информационных источников по теме диссертации. Соискателем разработан алгоритм управления впервые предложенным двухстадийным технологическим процессом получения бутилрегенерата, позволяющий обеспечить требуемое качество получаемого материала, а также проведены мероприятия по организации и планированию экспериментов, обработке и обобщению результатов исследования, участию в проведении производственных испытаний.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. В формуле уравнения кинетики процесса разрушения величина  $S$  – функция трех переменных: поглощенной дозы, времени и температуры, однако в правой части формулы температура (как переменная) в явном виде не прослеживается. Необходимо объяснить этот факт.

2. Требуется пояснить, что понимается под моделями химической кинетики

1-ой стадии и на 2-ой стадии в структуре математического обеспечения системы поддержки принятия решения процесса получения бутилрегенерата.

3. Необходимо пояснить, как применяется разработанная система управления технологическим процессом получения бутилрегенерата на практике.

4. Структурная схема программного обеспечения включает 2 блока: блок управления температурой и блок моделирования процесса обработки материала. Требуется пояснить, какой из блоков схемы отвечает за управление технологическим процессом.

5. Исходя из данных таблицы конечных показателей качества бутилрегенерата величина поглощенной доза изменяется, а температура и время постоянные. Необходимо объяснить почему, учитывая, что данные параметры заявлены как переменные.

6. Требуется обосновать использование генетического алгоритма для решения задачи идентификации.

7. Необходимо пояснить, что понимается под частными критериями оптимизации ( $Z_1, Z_2, Z_3$ ).

Соискатель Карманов А.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.3.3 - «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»:

п.3. Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация.

п.15 Теоретические основы, методы и алгоритмы построения экспертных и диалоговых подсистем, включенных в АСУТП, АСУП, АСТПП и др.

п.18 Математическое моделирование, оптимизация и оптимальное управление техническими системами, технологическими процессами и производствами в промышленности.

На заседании 21 декабря 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Карманову Андрею Викторовичу ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи разработки диалоговой и экспертной системы оптимального управления технологическим процессом получения бутилрегенерата заданного качества, имеющей существенное значение для развития страны.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в

количестве 20 человек, из них 10 докторов наук по специальности 2.3.3. «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами», участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 20, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета  
по защите диссертаций  
на соискание ученой степени  
кандидата наук, на соискание  
ученой степени доктора наук 24.2.287.01,  
д.т.н., профессор



Битюков  
Виталий Ксенофонтович

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций  
на соискание ученой степени  
кандидата наук, на соискание  
ученой степени доктора наук 24.2.287.01,  
к.т.н., доцент

Иванов  
Андрей Валентинович

Дата оформления заключения «21» декабря 2022 года.