

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.035.07,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РФ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело №_____

решение диссертационного совета от 25 декабря 2019 г. № 9

О присуждении Арапову Денису Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Проблемно-ориентированные системы управления базовыми производствами в пищевой и химической индустрии» в виде рукописи по специальности 05.13.06 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (пищевая и химическая промышленность) принята к защите 25.09.2019 г., (протокол №5), диссертационным советом Д 212.035.07, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 394036, г. Воронеж, пр. Революции, д. 19. Диссертационный совет открыт в соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации № 168/нк от 13.02.2018 г. Состав диссертационного совета утвержден в количестве 21 человека приказом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации № 168/нк от 13.02.2018 г. на срок действия номенклатуры специальностей научных работников.

Соискатель Арапов Денис Владимирович, 1977 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Моделирование и усовершенствование процесса массовой кристаллизации сахара охлаждением утфеля последнего продукта» защитил в 2005 году по специальностям 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств»; 05.18.05 «Технология сахара и сахаристых продуктов» в диссертационном совете Д 212.035.01, на базе ГОУ ВПО "Воронежская государственная технологическая академия", г. Воронеж. В настоящее время соискатель работает доцентом кафедры высшей математики и информационных технологий ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 394036, г. Воронеж, пр. Революции, д. 19, Министерство науки и высшего образования РФ.

Диссертация выполнена на кафедрах «Высшей математики и информационных технологий» и «Информационных и управляющих систем» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Министерство науки и высшего образования РФ.

Научный консультант - гражданин РФ, доктор технических наук, профессор Тихомиров Сергей Германович Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий», профессор кафедры информационных и управляющих систем.

Официальные оппоненты:

1. Погодаев Анатолий Кириянович - гражданин РФ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет», первый проректор, профессор кафедры прикладной математики;

2. Литовка Юрий Владимирович - гражданин РФ, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», профессор кафедры систем автоматизированной поддержки принятия решений;

3. Матвеев Михаил Григорьевич - гражданин РФ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет», кафедра информационных технологий управления, заведующий кафедрой, профессор кафедры информационных технологий управления

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», (г. Казань); в своем положительном отзыве, рассмотренном на заседании кафедры системотехники 27 ноября 2019 г., протокол заседания №8, подписанным доктором технических наук, профессором, кафедра системотехники, заведующим кафедрой Зиятдиновым Н.Н. и утвержденном проректором по научной работе, доктором технических наук, профессором Сабирзяновым А.Н., указала, что диссертационная работа Арапова Д.В.:

соответствует паспорту специальности 05.13.06 и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в рамках которой решена актуальная научная проблема управления базовыми химико-технологическими системами в пищевой и химической индустрии в условиях перехода на крупнотоннажные аппараты и отечественные аналоги, взамен импортных, требующая совершенствования математического описания и новых подходов при управлении.

значимость полученных автором диссертации результатов для развития технических наук заключается:

1) в разработке математических моделей: свойств сахарных растворов, технологических процессов кристаллизации сахара, пиролиза углеводородного сырья, компримирования пирогаза, охлаждения оборотной воды, синтеза отечественного катализатора и винилацетата на его основе, получения полимерной присадки и пластичной мыльной смазки;

2) в постановке и решении задачи идентификации параметров математических моделей базовых производств с использованием интерактивной системы оптимизации, экспериментальных значений, полученных с действующих объектов, отличающихся большим объемом выборки и позволяющих получить модели, с высокой точностью описывающие объекты в диапазоне изменения параметров в рамках производственной линии;

3) в разработке алгоритмов: определения оптимальных параметров нормальной мелассы, распределения нагрузки между змеевиками пиролизной печи, функционирования противопомпажной системы защиты компрессора динамического действия, выбора оптимального носителя катализатора для синтеза винилацетата, оптимизации процесса синтеза винилацетата;

4) в постановке и решении задач оптимизации ключевых технологических процессов проблемных производств, отличающихся системным подходом к выбору критериев оптимизации и ограничений, накладываемых на них и позволяющих рассчитать оптимальные значения управляющих воздействий в широком диапазоне их изменения, в том числе, поставлены, решены и реализованы: оптимальное распределение горячей воды между градирнями водоблока в зависимости от их охладительных характеристик; двухэтапная оптимизация процесса политермической кристаллизации сахара в вертикальном кристаллизаторе; оптимизация выбора носителя катализатора синтеза винилацетата, его физических характеристик и химического состава отечественного катализатора; многокритериальная оптимизация процесса изготовления мыльных смазок типа «УНИОЛ», позволяющая максимизировать значения одних и минимизировать значения других определяющих свойств смазок, а также оперативно реализовать перевод производства с одной марки смазки на другую;

5) в создании специального математического обеспечения и пакетов прикладных программ, обеспечивающих функционирование подсистем АСУТП производственными процессами изготовления отечественного каталитического комплекса и синтеза на его основе винилацетата, отличающиеся расчетом управляющих воздействий в классе линейных функций и учетом возмущений,

меняющейся во времени активности катализатора и позволяющие оптимально управлять процессами синтеза отечественного катализатора и винилацетата;

диссертационная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, имеет четко прослеживающуюся связь между разделами, полученные результаты достаточно полно освещены в публикациях. Автореферат отражает основное содержание работы, ее актуальность и новизну;

теоретическая и практическая значимость полученных результатов заключается в разработке экспресс-метода определения параметров нормальной мелассы и оригинальных устройств для ускоренного насыщения мелассы, автоматического контроля ее вязкости, контроля и управления подготовкой утфеля к кристаллизации охлаждением, контроля чистоты насыщенной мелассы и определения её оптимальных параметров; исследовании кинетики химических процессов термического разложения углеводов, их свойств для получения информации о качественном и количественном составе пирогаза, и использовании этих значений для оценки влияния объемного состава газовой смеси на процесс компримирования; в развитии методов математического моделирования и получения моделей для описания процессов сжатия пирогаза и охлаждения оборотной воды; в создании новых методов и алгоритмов управления системой защиты компрессора от явлений помпажа и торможения, позволяющей регулировать с корректируемым запасом устойчивости к аварийным режимам степень сжатия газовой смеси, а также скоростью вращения вала вентилятора с учетом температуры охлажденной воды и основных параметров привода вентилятора; разработке моделей принятия решений и оптимизации процессов изготовления каталитического комплекса на отечественном носителе и синтеза винилацетата на катализаторе с отечественным носителем с использованием математических моделей, учитывающих нелинейность и динамику объектов управления;

результаты проведенных научных исследований могут быть использованы на предприятиях пищевой и химической промышленности для повышения эффективности технологических процессов. Рекомендуются продолжить работы по созданию интегрированной системы сбора, обработки данных и

оперативного управления стадиями получения: сахара-песка, пиролизного газа, его компримирования и охлаждения оборотной воды в производстве низших олефинов, синтеза катализатора и винилацетата на его основе, полимерной присадки путем термоокислительной деструкции полимеров и получения смазочных материалов в производстве смазок.

Соискатель имеет 88 научных работ, в том числе по теме диссертации 88 научных работ, из них 26 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования основных научных результатов диссертации (объем 13,1 п.л., авторский вклад 10,5 п.л.); 7 статей в публикациях, индексируемых библиографической и реферативной базой данных SCOPUS (объем 6 п.л., авторский вклад 4,8 п.л.); 2 коллективные монографии (объем 2,6 п.л., авторский вклад 2,1 п.л.), материалах 24 международных и всероссийских конференций (объем 7,2 п.л., авторский вклад 5,7 п.л.) 9 патентов РФ на изобретения; 3 программных продукта, зарегистрированных в государственном фонде алгоритмов и программ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Arapov, D.V. Mathematical modeling of the synthesis process of vinyl acetate / D.V. Arapov, S.G. Tikhomirov, S.L. Podvalny, V.V. Denisenko, I.A. Avcinov // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series - 1278 (2019) 012035.

2. Arapov, D.V. Mathematical model of large-tone pyrolysis installations in production of ethylene / D.V. Arapov, S.G. Tikhomirov, S.L. Podvalny, V.A. Kuritsyn // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series - 1202 (2019) 012024.

3. Arapov, D.V. Determination of parameters assigned to an anti-surge controller in a turbocompressor automation system / D.V. Arapov, S.G. Tikhomirov, E.D. Chertov, I.A. Khaustov, V.S. Kudryashov, D.S. Saiko // Chemical and Petroleum Engineering. 2018. Т. 53. № 9-10. pp. 653-657.

4. Tikhomirov, S.G. Mathematical modeling of thermal oxidative degradation of polybutadiene in solution / S. G. Tikhomirov, O. V. Karmanova, I. A. Khaustov, D.V. Arapov, A. P. Popov, A. V. Karmanov, T. N. Shekhavtsova, G. V. Shatalov // Chemical and Petroleum Engineering, Vol. 54, Nos. 7-8, November, 2018 (Russian Original Nos. 7-8, July- August, 2018).

5. Арапов, Д.В. Математическое моделирование промышленных процессов пиролиза бензина в трубчатых печах / Д.В. Арапов, С.Г. Тихомиров, С.Л. Подвальный, В.А. Курицын, О.В. Карманова // Теоретические основы химической технологии.-2018.-Т.52.-№6.-С.649-662.

6. Arapov, D.V. Software-algorithmic complex for the synthesis of catalyst of ethylene acetoxylation process/ Arapov D.V., Karmanova O.V., Tikhomirov S.G., Denisenko V.V. // В сборнике: International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing. - 2017. - С. 587-594.

7. Kuritsyn, V.A. Optimization of circulation water cooling process in forced-draft towers / V.A. Kuritsyn, D.V. Arapov, R.L. Gorilchenko // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2012. V. 48. № 2. pp. 97-108.

8. Kuritsyn, V.A. Modeling of pyrolysis of straight-run naphtha in a large-capacity type SRT-VI furnace / V.A. Kuritsyn, D.V. Arapov, A.M. Ekimova, A.A. Yakupov // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2008. V. 44. № 3. pp. 180-189.

9. Арапов, Д.В. Оптимизация температурного режима вертикального кристаллизатора /Д.В. Арапов, В.А. Курицын // Мехатроника, автоматизация, управление.-2008.-№12.-С.31-36.

На диссертацию и автореферат поступило 13 отзывов, все отзывы положительные:

1. Тужилкин В.И. - член-корреспондент РАН, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Почётный работник высшего профессионального образования РФ, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Кондитерские, сахаристые, субтропические и пищевкусые технологии» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»;

2. Прокопчук Н.Р. - член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, Заслуженный деятель науки Республики Беларусь, д.х.н., профессор, профессор кафедры «Полимерные композиционные материалы УО «Белорусский государственный технологический университет»;

3. Фомичев В.В. - д.ф.-м.н., профессор кафедры «Нелинейных динамических систем и процессов управления», факультет вычислительной математики и кибернетики ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»;

4. Мещеряков Р.В. - д.т.н., профессор, г.н.с. лаборатории 8 киберфизических систем, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук»;

5. Жабко А.П. - д.ф.-м.н., Заслуженный работник Высшей школы Российской Федерации, профессор, профессор, с возложенными обязанностями заведующего кафедрой теории управления, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»;

6. Анисимов Д.Н. - д.т.н., доцент, доцент кафедры «Управления и информатики» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»;

7. Гданский Н.И. - д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Систем автоматизированного управления» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый Казачий университет)»;

8. Лабутин А.Н. - д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технической кибернетики и автоматике» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»;

9. Красников С.А. - д.т.н., доцент, зав. кафедрой «Информационные системы и технологии» ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый Казачий университет)»;

10. Аверченков А.В. - д.т.н., доцент, зав. кафедрой «Компьютерные технологии и системы» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»;

11. Буховец А.Г. - д.т.н., профессор, профессор кафедры «Экономического анализа, статистики и прикладной математики» ФГБОУ ВО

«Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»;

12. Матвеев Ю.Н. - д.т.н., профессор, профессор кафедры «Электронных вычислительных машин» ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет»;

13. Богданович Н.И. - д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Целлюлозно-бумажных и лесохимических производств» ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова».

Содержание критических замечаний, содержащихся в отзывах, сводится к следующему:

соискателю следовало бы больше уделить внимание времени охлаждения utfеля, которое, по нашему мнению, должно быть параметром, подлежащим поиску в процессе оптимизации и попытаться решить эту задачу; в автореферате не указаны допущения при которых справедлива математическая модель массовой кристаллизации сахара; из автореферата не понятно - возможна ли корректировка кинетической схемы пиролиза при изменении состава исходного сырья?; было бы неплохо привести алгоритм оптимизации процесса охлаждения оборотной воды в градирне с принудительной тягой; недостаточно внимания уделено описанию примененных методов параметрической идентификации; хорошо бы привести блок-схему использованного генетического алгоритма; из автореферата непонятно, каким образом реализуется экспресс-анализ параметров насыщенной мелассы в сахарном производстве; недостаточно подробно описан практический эффект, полученный при реализации системы управления; в разделе «Научная новизна» (п.1 на стр. 5 и п.4 на стр. 6) изложены одним предложением, состоящим из 87 и 94 слов соответственно, поэтому очень трудно понять какие прилагательные к каким существительным относятся. Аналогичные вопросы согласования прилагательное-существительное относятся к разделу «Объекты диссертационного исследования» (стр. 5), п.2 раздела «Научная новизна» (стр. 6) и «- способа автоматического контроля ...» (стр. 8) в разделе «Практическая значимость». Положение 6 (стр. 9), выносимое на защиту, сформулировано, как

«Алгоритмы и двухуровневые системы оптимального управления...». Однако, в «Основных результатах работы», стр. 34 п.12, написано «Создано алгоритмическое и программное обеспечение ...». Имеется ли новизна в «Двухуровневой системе управления»? Или имеется в виду простое объединение математических обеспечений первого и второго уровней? Из описания в автореферате математической модели пиролиза углеводородного сырья непонятно, каким образом учитывается отложение кокса в пирозмеевике, который оказывает негативное влияние на ход процесса; в автореферате не приведены DFD-диаграммы исследованных химико-технологических систем, в этой связи, из проведенного структурного анализа непонятно, какие факторы оказывают доминирующее влияние на эффективность и безопасность базовых производств?; в автореферате приведены не все разработанные алгоритмы, например, не представлены алгоритмы управления процессами изготовления каталитического комплекса и ацетоксилирования этилена; в автореферате отсутствуют результаты оптимизации процесса массовой кристаллизации сахара в вертикальном кристаллизаторе; разработанная автором система управления процессом охлаждения оборотной воды предполагает наличие математической модели динамики системы, необходимой для синтеза законов управления, но в тексте автореферата не раскрыто, каким образом был осуществлен переход от уравнений материального баланса к модели динамики системы; практически все математические модели, представленные в работе, имеют нелинейную структуру, возникает вопрос, как оценивалась их адекватность?; ограничения на выработку целевых и побочных продуктов пиролиза, накладываемые последующими узлами этиленовой установки, следовало бы расписать более подробно; желательно было бы дать анализ причин столь сложной зависимости выхода сахара от сухих веществ и чистоты; вызывает практический интерес алгоритм подготовки утфеля к кристаллизации охлаждением, который, однако, не приведен автореферате; в главе 2 разработана интерактивная система оптимизации, необходимо пояснить целесообразность её разработки на фоне существующих программных пакетов, например Mathcad и подобных; в главе 4 недостаточно четко прописана связь

между пиролизом углеводородного сырья, сжатием пирогаза и охлаждением оборотной воды; математическую модель, представленную в общем виде формулой (22) на стр. 21 необходимо конкретизировать; каким образом для решения системы дифференциальных уравнений в частных производных используется метод прямоугольников второго порядка аппроксимации; требует пояснения выбор 6-го порядка точности метода Рунге-Кутты при решении системы уравнения (20) стр. 18; в критерии оптимизации башенного охладителя (30) стр. 26 отсутствует температура оборотной воды; непонятно, как система управления обеспечивает требуемый температурный режим охлаждения?; каким образом решаются уравнения состояния реальных газов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известностью и компетентностью в соответствующей сфере исследования, наличием публикаций в данной области науки, способностью оценить научную новизну, теоретическую ценность и практическую значимость диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны теоретические и практические основы синтеза проблемно-ориентированных АСУТП базовых производств пищевой и химической промышленности на примере процессов: политермической кристаллизации сахара, пиролиза бензина с учетом функционирования последующих стадий этиленового производства, компримирования пирогаза, охлаждения циркуляционной воды, получения отечественного катализатора и синтеза винилацетата на его основе, получения присадок для смазочных материалов и термомеханического диспергирования мыльно-масляного концентрата, обеспечивающие повышение эффективности и безопасности технологических систем в целом; комплекс оригинальных математических моделей, позволяющих повысить точность описания исследуемых технологических процессов с расширением границ применимости полученных результатов;

предложены: оригинальный подход использования паспортной газодинамической характеристики компрессора динамического действия и уравнений состояния реальных газов для его противоаварийной защиты;

оригинальная научная гипотеза о вероятностном характере роста и растворения одиночного кристалла сахара;

оригинальный подход к моделированию комплекса свойств отечественного каталитического комплекса, включая выбор носителя катализатора, позволяющий осуществить переход к синтезу винилацетата на его основе;

доказаны: перспективность использования новых математических зависимостей при управлении процессом политермической кристаллизации сахара, пиролизом углеводородного сырья с учетом функционирования последующих узлов этиленового производства, синтезом отечественного каталитического комплекса и винилацетата на его основе, термоокислительной деструкцией некондиционного полибутадиена для получения присадок к мыльным смазкам и процессом получения пластичных мыльных смазок;

наличие преимуществ, по сравнению с существующими, разработанных методов управления: 1) в виде возможности использования для применяемых в промышленности компрессоров корректируемого запаса технологической безопасности к аварийным режимам с учетом объемного состава пирогаза; 2) за счет снижения аварийности и учета параметров работы приводов вентиляторных градирен для охладительного водоблока;

введены понятия: распад комплекса сахар-несахар; заданный запас устойчивости компрессора динамического действия к помпажу и торможению;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны научные положения:

относящиеся к управлению наиболее значимыми технологическими стадиями производств сахара, низших алкенов и аренов, винилацетата, мыльных смазок в совокупности расширяющие границы применимости полученных результатов и обеспечивающих повышение эффективности и безопасности технологического процесса в целом;

о снижении аварийности процесса компримирования за счет внедрения противопомпажной системы защиты, основанной на оригинальных математических моделях и алгоритмах функционирования, позволяющей

регулировать степень сжатия газовой смеси с заданным запасом устойчивости к негативным режимам;

о влиянии параметров работы электроприводов охладительных градирен с принудительной тягой на эффективность процесса охлаждения оборотной воды;

о дискретном, вероятностном механизме эволюции сахарного раствора в процессе растворения и роста кристалла;

о целесообразности использования модифицированных уравнений Вавринца, Антуана, Гарлахера-Брауна, Эртла-Даллина, отличающихся учетом взаимодействий молекул растворителя (воды и комплекса несхаров) и растворенного вещества (сахара) в растворе и позволяющих с высокой точностью (0,1-0,5 % отн.) рассчитывать свойства сахарных растворов.

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы:

подход к моделированию связанного управления стадиями изготовления основной пищевой и химической продукции с применением системного анализа и теории автоматического управления на примере базовых производств – сахара, низших алкенов и аренов, винилацетата, пластичных мыльных смазок; методы вычислительной математики, численного анализа, имитационного моделирования и объектно-ориентированного программирования при разработке имитационной модели АСУ и интерактивной системы оптимизации; совокупность методов и алгоритмов обработки информации, использование которых позволяет сократить время и объем выполняемых работ по анализу альтернативных вариантов при расчете управляющих воздействий политермической кристаллизации сахара, пиролиза бензинового сырья, сжатия пирогаза, охлаждения циркуляционной воды, синтеза отечественного катализатора и винилацетата на его основе, получения полимерных присадок и пластичных смазок на основе кальциевых мыл;

изложены качественно новые закономерности свойств сахарных растворов; факторы, принятые при построении кинетических схем термического разложения углеводородного сырья, синтеза винилацетата, термо-

окислительной деструкции некондиционного полибутадиена, математических и имитационных моделей процессов политермической кристаллизации сахара, пиролиза, компримирования пирогаза и охлаждения оборотной воды, синтеза отечественного катализатора и винилацетата на его основе, деструкции полибутадиена и термомеханического диспергирования мыльно-масляного концентрата;

положения, принятые при разработке методов и алгоритмов, послужившие основой разработанной системы управления при производстве сахара-песка, низших олефинов и аренов;

раскрыты достоинства и недостатки традиционных подходов, методов и алгоритмов к математическому моделированию и управлению процессами массовой политермической кристаллизации сахара, пиролиза бензинового сырья, сжатия пирогаза, охлаждения циркуляционной воды, синтеза отечественного катализатора и винилацетата получения полимерных присадок и мыльных смазок типа «УНИОЛ»; методы повышения эффективности методов и алгоритмов за счёт использования стохастического, молекулярно-кинетического подхода;

изучены технологические системы базовых производств в пищевой и химической индустрии (сахара, низших алкенов и аренов, винилацетата, мыльных смазок) как объекты научного исследования и управления; причинно-следственные связи и закономерности функционирования исследованных сложных химико-технологических систем в рамках отдельных производств; информационные связи между подсистемами рассмотренных базовых производств; эволюция сахарных растворов в процессе роста и растворения кристаллов, основанная на стохастическом механизме; кинетика протекания сложных химических реакций ключевых процессов базовых производств; процессы сжатия промышленных газов с использованием уравнений их состояния; тепло-массообменные процессы, протекающие в насадочных и распылительных градирнях с искусственной тягой; эффективные методы нелинейного программирования, включая радиально-базисные нейронные сети;

проведена модернизация существующих математических моделей позволяющих значительно повысить точность описания:

процесса кристаллизации сахара, основанного на вероятностном подходе (с 20 % отн. до 11,3% отн.);

пиролиза и компримирования пирогаза, позволившие учесть конструктивные особенности основного технологического оборудования, применяемого в производстве низших алкенов и аренов (с 4-7% до 2-5 % отн.);

процесса получения отечественного каталитического комплекса, учитывающая основные характеристики носителя и параметры его гидротермической обработки (с 10-12 % до 2-5 % отн.) и процесса ацетоксилирования этилена (с 8-10 % до 5-6 % отн.);

процесса получения смазочных материалов с учетом его нелинейности; моделей прогнозирования качественных характеристик пластичных мыльных смазок на основе измерения пенетрации (с 10-30 % до 3-6 % отн.); алгоритмов:

определения оптимальных параметров нормальной мелассы;

функционирования противопомпажной системы защиты компрессора динамического действия;

распределения горячей оборотной воды между градирнями с принудительной тягой;

управления и защиты градирни с принудительной тягой, позволивший повысить эффективность и безопасность функционирования агрегата за счет учета параметров его электропривода и конструктивных особенностей;

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

разработаны и внедрены:

программно-технические комплексы для интенсификации процесса массовой кристаллизации сахара охлаждением утфеля последнего продукта на предприятиях ОАО «Сахарный завод «Жердевский», р.п. Жердевка, ООО «РУСАГРО-БЕЛГОРОД», г. Валуйки, ООО «Краснояржский сахарный завод», п. Красная Яруга;

новые технические средства для контроля вязкости мелассы и её ускоренного насыщения на ЗАО НПП «Центравтоматика» и ОАО «Автоматика», г. Воронеж;

системы защиты и управления технологическими процессами компримирования пирогаза, охлаждения оборотной воды, синтеза винилацетата, гомофазной термоокислительной деструкции цис.-1,4 – полибутадиена в присутствии инициатора, используемые в составе программных средств АСУТП ПАО (ОАО) «Нижнекамскнефтехим», ВФ ФГУП НИИСК, г. Воронеж и при программном конфигурировании микропроцессорных контроллеров семейства ПАС на ЗАО НПП «Центравтоматика» и УЗС на ПАО «Автоматика»;

программные комплексы выбора оптимального носителя и состава каталитического комплекса и моделирования автоматизированных систем управления на основе Ethernet, реализующие предложенные в диссертации решения внедрены в учебные процессы ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» и ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет» (подтверждены актами внедрения);

программные комплексы зарегистрированы в Реестре программ для ЭВМ: ЭВМ RUS 2018616669, 12.04.2018 (Программа определения оптимального носителя катализатора и оптимизации его физических параметров), ЭВМ RUS 2018616668, 12.04.2018 (Программа многопараметрической оптимизации состава катализатора), ЭВМ RUS 2012612020, 2012 (Программа «Модель АСУ на основе Ethernet»);

Общий годовой прогнозируемый экономический эффект от внедрения составляет 9,5 млн. руб. в ценах 2018 г.

определены перспективы практического применения моделей и алгоритмов в системах управления исследуемыми технологическими производствами, что позволяет использовать их в лабораториях НИИ и на предприятиях пищевой и химической промышленности для управления производственными процессами

получения сахара-песка, низших алкенов и аренов, винилацетата, пластичных мыльных смазок.

созданы методологические основы поддержки принятия решений при управлении базовыми технологическими производствами и методики их применения в системах управления технологическими процессами;

представлены направления совершенствования и рекомендации для практического применения разработанных методов управления и принятия решений в условиях нелинейности и стохастичности при управлении технологическими системами, моделей и алгоритмов обработки информации.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании в лабораториях ПАО (ОАО) «НКНХ», ООО «РУСАГРО-БЕЛГОРОД», ОАО «Сахарный завод «Жердевский», ПАО (ОАО) «Автоматика», ВФ ФГУП НИИСК г. Воронеж, калиброванном и поверенном перед проведением эксперимента (измерений); на предприятиях внедрения доказана воспроизводимость результатов исследования в производственных условиях;

теория построена на известных, проверенных данных, фактах из предметных областей теории автоматического управления, системного анализа, процессов и аппаратов, математического моделирования и принятия решений 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 системного анализа, моделирования, автоматизированного управления технологическими процессами в пищевой и химической промышленности;

использовано сравнение результатов моделирования, полученных с использованием авторских методов, моделей и алгоритмов, с результатами, полученными ранее в работах других авторов по рассматриваемой тематике и, в частности, на предприятиях внедрения;

установлено качественное и количественное совпадение результатов исследования соискателя с результатами, представленными в независимых

источниках по данной тематике, при этом полученные выводы не противоречат известным научным результатам, содержащимся в работах отечественных и зарубежных ученых;

использованы современные методики сбора, обработки исходной информации и технические средства проведения лабораторных исследований (рефрактометрия, газовая и гельпроникающая хроматография, химический анализ, использование показаний высокоточных приборов, применяемых для измерения параметров технологического процесса, информационные технологии моделирования для оценки параметров по косвенным измерениям). Достоверность результатов проведенных исследований базируется на строгих доказательствах и использовании апробированных математических методов. Разработанные автором теоретические положения непосредственно согласуются 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 отражает научная новизна работы и выносимые на защиту положения. Личный вклад автора заключается в анализе исследованных производств, постановке и решении задач проектирования АСУТП; разработке специальных алгоритмов обработки информации; создании методов и способов контроля и управления технологическими процессами; структурной и параметрической идентификации математических моделей, описывающих кинетику химических превращений, вероятностных, имитационных моделей; разработке специального программного обеспечения для АСУТП; разработке оптимизационных моделей; создании структурных схем, формул изобретений и в конструировании устройств, а также мероприятий по организации и планированию экспериментов, обработке и обобщении результатов исследования, участию в проведении производственных испытаний.

Диссертация Арапова Д.В. является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, обладающей внутренним единством и содержащей новые научные результаты и положения, в которой, на основании выполненных

автором исследований, разработаны теоретические положения, совокупность которых можно классифицировать как решение важной народно-хозяйственной проблемы, а внедрение полученных результатов вносит значительный вклад в развитие отраслей народного хозяйства.

При подготовке публикаций с соавторами соискателю принадлежит ведущая роль при постановке задач исследования, их решении и реализации.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием непротиворечивой методологической платформы, основной идейной линии, концептуальности и взаимосвязи выводов.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (пищевая и химическая промышленность):

п.4 - «Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация»,

п.6 - «Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления»,

п.8 - «Формализованные методы анализа, синтеза, исследования и оптимизация модульных структур систем сбора и обработки данных в АСУТП, АСУП, АСТПП и др.»,

п.10 - «Методы синтеза специального математического обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистемы АСУТП»,

п.15 - «Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения».

На заседании 25 декабря 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Арапову Денису Владимировичу ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 11 докторов наук по специальности 05.13.06, участвующих в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, проголосовали: за – 21, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель совета
по защите диссертаций
на соискание ученой степени
кандидата наук, на соискание
ученой степени доктора наук, Д 212.035.07,
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 Д 212.035.07,
к.т.н., доцент

Иванов

Андрей Валентинович

Дата оформления заключения 25 декабря 2019 года.