

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «Казанский национальный

исследовательский технологический

университет», д.т.н., профессор

Сабирзянов А.Н.

2019 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» на диссертационную работу Арапова Дениса Владимировича «Проблемно-ориентированные системы управления базовыми производствами в пищевой и химической индустрии», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (пищевая и химическая промышленность).

Общая характеристика работы. Диссертация выполнена в соответствии с направлением научных исследований кафедры высшей математики и информационных технологий и кафедры информационных и управляющих систем Воронежского государственного университета инженерных технологий (госбюджетные НИР № 01.2006.06298 по теме: «Математическое и компьютерное моделирование в задачах проектирования и оптимизации функционирования информационных и технологических систем» и НИР № 01.9.60 007315 по теме: «Разработка и совершенствование математических моделей, алгоритмов регулирования, средств и систем автоматического управления технологическими процессами»), а также в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно технического комплекса России на 2007-2012 гг.» по гос. контракту № 02.552.11.7053 от 25.09.09 г.

Актуальность темы. В отечественной пищевой и химической индустрии базовыми являются производства сахара-песка, низших алкенов (этилена, пропилена и др.), винилацетата, пластичных мыльных смазок. В производствах сахара и этилена в последние годы проводится активная модернизация, связанная с переходом на оборудование большой единичной мощности: вертикальные кристаллизаторы и пиролизные печи типа SRT-VI. Производство винилацетата путем каталитического ацетоксилирования этилена, полностью зависит от поставок импортного сложного катализатора, а немногие работающие в РФ производства мыльных смазок, не обеспечивают требуемого объема выпуска продукции, так как основные производственные мощности и научная база после распада СССР остались на Украине. В этой связи, при функционировании этих производственных систем часто возникают трудности, связанные с новизной и не освоенностью оборудования, санкционной политикой западных стран и Украины.

Анализ структуры и содержание диссертации и научная новизна

Представленная работа состоит из введения, шести глав, выводов после каждой из глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Материал изложен на 324 страницах основного текста, содержит 115 рисунков и 18 таблиц, список литературы состоит из 413 источников. Диссертация по формальным признакам соответствует требованиям ВАК РФ по оформлению докторских диссертаций.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, изложена научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

Первая глава посвящена системному исследованию сложных химико-технологических систем (СХТС) получения продукции как объекта автоматизированного управления. Определена главная задача автоматизированного управления СХТС, в том числе выбран критерий, классифицированы ограничения и сформулирована задача оптимального управления, выполнена ее декомпозиция на подзадачи оптимизации и управления блоками подготовки и переработки сырья, первичной обработки полуфабрикатов, изготовления товарной продукции и

уничтожения (хранения) отходов. Реализована классификация математических моделей, используемых для оптимизации и управления, отмечена важная роль химической кинетики как основы математического описания технологических процессов, выполнен анализ алгоритмов интегрирования дифференциальных уравнений, методов идентификации и оптимизации. Выполнена декомпозиция СХТС на отдельные подсистемы с определением точных взаимосвязей между ними. Проведена систематизация математических моделей ключевых процессов базовых СХТС, сформулированы задачи исследования.

Во второй главе описана интерактивная система оптимизации, используемая для решения задач идентификации математических моделей и оптимизации технологических процессов. Разработана моделирующая система АСУТП, включающая динамические модели объекта управления, входного и выходного коммутатора сети Ethernet, цифрового ПИД-регулятора, исполнительного механизма в виде клапана и датчиков.

В третьей главе в производстве сахара выделена ключевая стадия – политермическая кристаллизация конечного продукта. Сформирована DFD-диаграмма производства сахара-песка, выполнен анализ известных исследований эволюции сахарных растворов в процессе растворения и роста кристаллов, который позволяет сделать вывод о дискретном, вероятностном механизме этих явлений. Разработана стохастическая модель скорости растворимости и кристаллизации сахарозы. Для расчета физико-химических свойств сахарных растворов разработаны модели, включающие модифицированные уравнения Вавринца, Антуана, Гарлахера-Брауна, Эртла-Даллина. Создана полная математическая модель процесса массовой кристаллизации сахара-песка в вертикальном кристаллизаторе, отличающаяся учетом среднего размера, стесненности кристаллов и вероятностным характером их роста и растворения, позволяющая определить количество выкристаллизовавшегося сахара. Разработана и решена оптимизационная модель данного процесса. Создан пакет программ для моделирования и оптимизации процесса получения желтого сахара в вертикальном кристаллизаторе при охлаждении утфеля последнего продукта.

В четвертой главе производство этилена рассмотрено как единый процесс, связывающий узлы пиролиза, компримирования пирогаза и его разделения, охлаждения оборотной воды, отобранные по критериям экономичности и безопасности производства в целом. Сформирована DFD-диаграмма производства этилена, создана имитационная модель пиролиза бензинового сырья, учитывающая его групповой химический состав, основанная на молекулярно-кинетическом механизме. Получена математическая модель пиролиза бензина, отличающаяся учетом его физико-химических характеристик, рассчитываемых по плотности бензина и его разгонке по Энглеру и позволяющая рассчитывать состав продуктов пиролиза в зависимости от значений управляющих воздействий. На основе модели поставлена и решена задача оптимизации крупнотоннажной этиленовой установки, в которой учитываются ограничения, накладываемые на пиролиз последующими узлами производства. Разработана методология синтеза противопомпажной системы управления компрессором динамического действия с различным типом регулирования подачи. Для компрессора с регулирующей заслонкой поставлена и решена оптимизационная задача. Разработана полная математическая модель охлаждения циркуляционной воды в градирне с принудительной тягой, включающая модифицированные уравнения Меркеля и позволяющая описать совместный теплообмен в пленочных и распылительных градирнях. Путем установления соответствия охлаждающей характеристики агрегата и расхода в него горячей воды и определения числа оборотов вентилятора разработана и решена оптимизационная модель охлаждения горячей возвратной воды. Создана типовая система автоматической защиты градирни с противоточной подачей воздуха вентилятором.

В пятой главе при получении винилацетата выделено два основных взаимосвязанных процесса: синтез отечественного катализатора и винилацетата на его основе, сформированы их DFD-диаграммы, разработаны полная и упрощенная математические модели процесса ацетоксилирования этилена на отечественном катализаторе, а также процесса синтеза отечественного катализатора.

Поставлена и решена задача оптимизации процесса гидротермической обработки носителя отечественного катализатора, решена динамическая оптимизационная модель синтеза винилацетата. Получены оптимальные траектории изменения управляющих воздействий синтеза винилацетата на отечественном катализаторе. Создана математическая модель статической оптимизации процесса синтеза винилацетата, разработаны алгоритмы адаптивной идентификации статической модели и решения задачи оптимизации процесса синтеза ВА для промышленного производства.

В шестой главе выделено в производстве мыльных смазок два определяющих этапа: получение полимерных присадок и термомеханическое диспергирование полупродукта, сформирована DFD-диаграмма производства смазки. Разработаны математические модели процессов получения: полимерной присадки для смазочного материала и пластичной мыльной смазки в виде многопараметрической зависимости основных качественных характеристик от технологических параметров процесса, а также зависимость характеристик от величины ключевого свойства – пенетрации. Сформулирована и решена задача оптимизации процесса изготовления мыльных смазок, позволившая определить оптимальные параметры технологического процесса производства смазок типа «Униол 1» и «Униол 2».

В заключении - сформулированы основные выводы диссертационного исследования, в которых в полной мере отражены научная и практическая ценность полученных результатов.

Таким образом, ведущая организация отмечает, что научная новизна диссертационной работы 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, отличающиеся большим объёмом 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: 1) оптимальное распределение горячей воды между градирнями водоблока в зависимости от их охладительных характеристик; 2) двухэтапная оптимизация процесса политермической кристаллизации сахара в вертикальном кристаллизаторе; 3) оптимизация выбора носителя катализатора синтеза винилацетата, его физических характеристик и химического состава отечественного катализатора; 4) 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 расчётом управляющих воздействий в классе линейных функций и учетом возмущений, меняющейся во времени активности катализатора и позволяющие оптимально управлять процессами синтеза отечественного катализатора и винилацетата.

Теоретическая и практическая значимость работы

Заключается в формализации системного подхода к проектированию проблемно-ориентированных систем управления базовыми производствами в пищевой и химической индустрии – сахара, этилена, винилацетата и пластичных смазок. Экспресс-методе определения параметров нормальной мелассы, технологического регламента кристаллизации сахара охлаждением утфеля в вертикальных кристаллизаторах 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. Исследования 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 так же 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 из этилена, кислорода и уксусной кислоты на катализаторе с отечественным носителем с использованием математических моделей, учитывающих нелинейность и динамику объектов управления.

Обоснованность и достоверность полученных результатов

Обусловлена строгим математическим обоснованием используемых методов, результатами математического моделирования, а также сравнением с теоретическими данными, приведенными в литературе.

Публикации

Основное содержание диссертации изложено в 88 работах, 26 из которых – статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 7 работ в научных изданиях, индексируемых библиографической и реферативной базой SCOPUS, получено 9 патентов РФ на изобретения, зарегистрировано 3 программных продукта в государственном фонде алгоритмов и программ.

Основные положения, выводы и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: отчетных научных конференциях ВГУИТ (ВГТА) (Воронеж, 2002-2019 гг.) и международных научных конференциях «Математические методы в технике и технологиях» - «ММТТ-26», «ММТТ-27», «ММТТ-28», «ММТТ-29» (Саратов, 2013-2016); International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing 2017 (Болгария); III международной конференции «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2017) (Самара, 2017); международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики» (Воронеж, 2017); IX и X международной конференции «Современные методы прикладной математики, теории управления и компьютерных технологий» (ПМТУКТ-2016, 2019); международной конференции «Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса» (Воронеж, 2016); международной конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» (Воронеж, 2015); международной научно-практической конференции «Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов», Республика Беларусь (Минск, 2015); III, IV и V международных научно-практических интернет-конференциях «Моделирование энергоинформационных процессов» (Воронеж 2015, 2016, 2017 гг.), а также других конференциях.

Содержание автореферата соответствует положениям, представленным в диссертации.

Рекомендации по использованию результатов

Результаты проведенных научных исследований могут быть использованы на предприятиях пищевой и химической промышленности для повышения эффективности технологических процессов. Рекомендуется 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 в производстве винилацетата, полимерной присадки путем термоокислительной деструкции полимеров и получения смазочных материалов в производстве смазок. В качестве направления можно предложить расширить круг рассматриваемых технологических этапов производственных технологических линий.

Замечания к работе

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания.

1. Отсутствие в приложениях программной реализации разработанных математических моделей.
2. При расчете оптимального температурного режима охлаждения утфеля явно не выражено, как обеспечивается согласование роста кристаллов и скорости изменения температуры.
3. Не достаточно корректно выбран пример для описания работы противопомпажной системы защиты компрессора, так как он не отражает учет кривой торможения.
4. Не достаточно четко реализована взаимосвязь стадии охлаждения оборотной воды с другими рассматриваемыми этапами производства этилена.
5. В описанной в работе математической модели синтеза винилацетата автором не учитывается отложение загрязнений на внешних стенках труб реактора.
6. В математических моделях свойств смазки содержится большое количество регрессионных коэффициентов, что затрудняет использование этих уравнений на практике.

7. В тексте диссертации отмечены стилистические погрешности, хотя в целом стиль изложения производит благоприятное впечатление.

8. В тексте автореферата требуется более подробно изложить 2-ую и 3-ю главы.

Приведенные выше замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы Арапова Дениса Владимировича.

Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, имеет четко прослеживающуюся связь между разделами, полученные результаты достаточно полно освещены в публикациях. Текст диссертации оформлен в соответствии с ГОСТ. Автореферат отражает основное содержание работы, ее актуальность и новизну.

Автор продемонстрировал глубокое знание вычислительной техники, информационных технологий, методов обработки данных, теории генетических алгоритмов и теории автоматического управления, а также умение пользоваться ими. Достоинством данной работы является тесная связь с промышленностью.

По актуальности проблемы, решенной на современном теоретическом и экспериментальном уровне, научной новизне и практической значимости полученных результатов, диссертационная работа «Проблемно-ориентированные системы управления базовыми производствами в пищевой и химической промышленности» соответствует по формуле и области исследования паспорту научной специальности 05.13.06 (п. 4, 6, 8, 10, 15, 16), и отвечает требованиям п. п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842), предъявляемым к докторским диссертациям; а ее автор Арапов Денис Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (пищевая и химическая промышленность).

Отзыв на диссертационную работу Арапова Д. В. рассмотрен и одобрен на расширенном заседании кафедры системотехники ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет». Протокол № 8 от «27» 11 2019 г.

Зав. кафедрой системотехники ФГБОУ ВО
«Казанский национальный
исследовательский технологический
университет»,
д.т.н., профессор
«27» 11 2019г.

Н.Н. Зиятдинов

Подпись Зиятдинова НН

удостоверяется.

Начальник Ожид ФГБОУ ВО «КНИТУ»

«27» 11 2019

