

УТВЕРЖДАЮ
Ректор федерального
государственного
бюджетного
образовательного учреждения
высшего профессионального
образования «Тамбовский
государственный технический
университет»

Краснянский М.Н.

«18» 05 2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Тамбовского государственного технического университета на диссертационную работу Лопатина Кирилла Геннадиевича **«Разработка и исследование системы автоматического управления периодическим реактором радикальной полимеризации метилметакрилата с нечеткими регуляторами»**, представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (химическая технология; нефтехимия и нефтепереработка; биотехнология)»

Актуальность диссертационного исследования

Процессы радикальной полимеризации являются одной из типовых технологий получения полимеров различного назначения. Данные процессы характеризуются ярко выраженными нелинейными зависимостями, имеют сложную взаимосвязь химических и сопровождающих их физических явлений, что приводит к возникновению различных проблем при моделировании и управлении данными процессами.

Особый интерес заслуживает полимеризация метилметакрилата (ММА), протекающая по радикальному механизму инициирования. Характерной нелинейностью данного процесса является наличие жесткого гелевого эффекта, который проявляется при степени конверсии равной 30 %, что приводит к резкому пиковому выделению тепла, которое может вывести реактор из устойчивого состояния, а также ведет к изменению параметров объекта управления.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что направление исследования данной диссертационной работы выбрано

обоснованно, а сама диссертация посвящена разработке адекватных кинетических и математических моделей, а также адаптивных систем управления. Следует признать удачным и выбор технологического объекта управления, т.к. имеют место большие объемы промышленного производства ММА и широкое распространение продуктов его переработки.

Анализ структуры и содержания диссертации

Представленная диссертация Лопатина К.Г. изложена на 173 страницах печатного текста, включает 10 таблиц и 97 рисунков, списка литературы из 124 наименований и 3 приложений.

Материал, представленный в диссертационной работе изложен достаточно ясно и доступно, имеется необходимое количество иллюстраций.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертационного исследования, определены цели и задачи работы, сформулированы объект и предмет исследования, изложена научная новизна, практическая значимость, представлены данные об апробации работы.

В главе 1 (стр. 8-38) представляющей обзор литературы, рассмотрены режим организации процессов суспензионной полимеризации, основные физико-химические свойства мономера ММА и полимера ПММА, рассмотрена технология получения ПММА и области его применения, проанализированы особенности процесса полимеризации ММА и влияние рецептурных и технологических факторов, приведен аналитический обзор кинетических схем и современных способов автоматического управления процессом полимеризации ММА. В результате анализа литературных данных показано что у разных исследователей кинетические схемы описываются разными математическими моделями, дающими различные данные по протеканию процесса, следует отметить, что не все рассмотренные модели учитывают изменение параметров объекта управления по нелинейным зависимостям. В связи с этим необходимо разработать адекватную математическую модель процесса полимеризации ММА с учетом нелинейного изменения параметров объекта управления.

В главе 2 (стр. 39-63) проведены экспериментальные исследования процесса полимеризации ММА. Приведено обоснование использования физической модели, описана лабораторная установка и методика проведения экспериментов, получены статические и динамические характеристики по каналам управления температурой и частотой. Исследование влияния концентрации инициатора и температуры на процесс полимеризации показало, что их увеличение ведет к уменьшения времени процесса, исследование концентрации стабилизатора показало отсутствие заметного влияния на процесс. Показано отсутствие заметного влияния концентрации инициатора, стабилизатора и температуры процесса на липкую стадию, возникающую в момент гель-эффекта, это связано с тем, что в период гель-эффекта большая скорость реакции не позволяет заметно развиваться коалесценции полимерно-мономерных частиц.

В главе 3 (стр. 64-82) получена кинетическая модель суспензионной полимеризации ММА. Для достижения поставленной задачи автором проведено изучение процесса полимеризации ММА на лабораторном реакторе при различных рецептурах загрузки и температуре процесса. На основании проведенных опытов выбрана кинетическая модель и составлено математическое описание процесса полимеризации ММА. Впервые при моделировании учтено изменение плотности реакционной смеси не только от конверсии мономера, но и от температуры реакционной смеси. Проверка адекватности полученной математической модели наглядно показала согласованность экспериментальных данных с моделью. На основании полученной математической модели автором получены аналитические зависимости постоянной времени объекта управления и коэффициента усиления и проанализировано изменение данных параметров во времени процесса. В результате чего показано, что изменение параметров объекта управления определяется видом кривой степени конверсии мономера. В связи с этим перед автором встает задача – разработать адаптивную систему управления с коррекцией настроек регулятора в течении всего процесса.

В главе 4 (стр. 83-128) автором получены основные научные результаты диссертационной работы. Из-за резкого возрастания температуры в момент времени проявления гель-эффекта, классическая система автоматического управления на основе ПИ регулятора не обеспечивает компенсацию по температуре в результате чего происходит перегрев реакционной смеси и ухудшение качества готового продукта. В этих условиях высокую эффективность показывают fuzzy системы управления, которые подходят для управления нелинейными промышленными объектами. С целью улучшения качества регулирования температуры автором были разработаны три вида нечетких систем управления. Показано, что применение системы управления с fuzzy ПИ регулятором не дает значительного улучшения качества работы системы управления. Далее автор рассматривает гибридный ПИ регулятор представляющий собой fuzzy П регулятор и классический И регулятор. В сравнении с линейным регулятором fuzzy П регулятор имеет преимущество так как обеспечивает переменное усилие на разных этапах переходного процесса. Значительное улучшение качества переходного процесса происходит при использовании ПИ регулятора с fuzzy коррекцией П части.

Для проверки работоспособности данной системы автоматического управления она была реализована в SCADA системе CoDeSyS и опробована на лабораторном реакторе. Результаты работы данной системы представлены на графиках из которых видно, что данная система управления является работоспособной.

Следует отметить, что автором произведено имитационное моделирование работы ПИ регулятора с fuzzy коррекцией П части на промышленном реакторе.

В заключении (стр. 129-131) диссертации автором сформулированы выводы, в которых в полной мере отражена научная новизна, основная теоретическая и прикладная ценность проделанной работы.

В списке использованной литературе (стр. 132-146) 124 источника трудов отечественных и зарубежных авторов по исследуемой тематике.

В приложениях А, Б, В (стр. 147-174) представлены полученные в процессе выполнения диссертационной работы программная реализация кинетической и математической моделей суспензионной полимеризации ММА и акт внедрения лабораторной установки в учебный процесс НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Научная новизна

В диссертационной работе получены следующие основные результаты, имеющие степень новизны:

1. Экспериментально исследована динамика протекания процесса синтеза ММА на физической модели, исследовано влияния концентрации инициатора, стабилизатора и температуры на режимы протекания процесса.

2. Разработана адекватная кинетическая математическая модель процесса радикальной полимеризации ММА с учетом гель - эффекта.

3. Разработана адекватная математическая модель лабораторного реактора, с учетом изменения физических свойств реакционной среды от степени конверсии мономера и от температуры процесса полимеризации.

4. Выявлены закономерности изменения параметров объекта управления в течение процесса полимеризации ММА в зависимости от степени конверсии мономера и температуры процесса полимеризации.

5. Исследованы три вида систем управления с fuzzy регулятором, которые позволяют снижать отрицательное влияние гель - эффекта на процесс полимеризации ММА, проанализирована их работа, даны рекомендации по использованию.

6. Исследованы различные алгоритмы работы системы управления с fuzzy регуляторами температуры процесса полимеризации ММА.

Значимость полученных результатов для теории и практики

С точки зрения теории разработанные автором структуры систем управления с fuzzy регуляторами, кинетические и математические модели процесса полимеризации, методики исследования и проведения химического эксперимента, результаты исследования влияния рецептурных и технологических факторов, описание физической установки для изучения процесса полимеризации являются теоретической основой для проведения дальнейших исследований в области создания систем автоматического управления периодическим реактором радикальной полимеризации ММА.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Проведены и обоснованы эксперименты при соотношении Мономер:Вода больше чем в промышленности.
2. Показано, что по кривым изменения выходного сигнала регулятора по температуре процесса можно однозначно определить начало и окончания гель - эффекта.
3. Экспериментально на лабораторном реакторе подтверждена работоспособность системы с fuzzy коррекцией П части ПИ регулятора.
4. Даны рекомендации по использованию разработанных систем управления на промышленном реакторе.
5. Разработан программный комплекс исследования процесса радикальной полимеризации ММА в пакете прикладных программ Matlab.

Рекомендации по использованию результатов и выводов

Результаты проведенных исследований имеют перспективы практического использования на предприятиях химической промышленности при создании новых или совершенствовании существующих производств. Полученные результаты будут полезны при модернизации устаревших производств по получению ПММА с увеличением выхода готового продукта в следствии изменении температуры процесса и соотношения мономер/вода в отличии от расчетных значений.

Теоретические и практические материалы диссертационного исследования могут быть использованы в учебном процессе высших учебных заведениях при обучении студентов и аспирантов различным аспектам сложных систем управления в промышленности, проектировании, создании и использовании интеллектуальных систем автоматического управления в химической технологии.

Степень достоверности и обоснованности результатов

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе Лопатина К.Г. строится на использовании современных методов исследования, корректным использованием методов математического моделирования химико-технологических процессов, теории автоматического управления, теории кинетики процессов полимеризации, практики и чистоты проведения химического эксперимента. При математическом моделировании использовались современные пакеты прикладных программ MS Excel, MathCAD, Matlab, а для реализации разработанных алгоритмов систем управления применялась SCADA система CoDeSyS.

При выполнении диссертационной работы широко использовались теоретические и практические материалы представленные в учебных пособиях, ГОСТах, нормативных материалах, монографиях, статьях из периодических изданий согласно исследуемой тематики, сборников трудов

написанных как на русском, так и на английском языках. Результаты практических экспериментов показывают хорошую согласованность с теоретическими положениями.

Основные результаты исследования не противоречат известным зависимостям в области химии, физики, теории автоматического управления.

Достоверность результатов обеспечивается: большой выборкой экспериментальных исследований процесса радикальной полимеризации ММА; выбором подходов к физическому моделированию; проверкой адекватности разработанных моделей и алгоритмов управления с использованием проведенных экспериментов.

Работа прошла апробацию на XIV научно-технич. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов. Новомосковск 2012., XV научно-технич. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов. Новомосковск, 2013., XXIX научная конференция профессорско-преподавательского состава и сотрудников НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева. Новомосковск, 2013, XXX научная конференция профессорско-преподавательского состава и сотрудников НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева. Новомосковск, 2015.

По основным результатам диссертационной работы опубликовано 13 работ, в том числе 2 статьи в журналах из перечня ВАК, 3 статьи в рецензируемых российских научных журналах, тезисы 8 докладов. Публикации и представленные в них выводы соответствуют основной цели и предмету исследования.

Замечания по работе

В целом работа выполнена на высоком техническом уровне, но не лишена замечаний.

1. Не указан масштаб соответствия лабораторной установки промышленному реактору (например, 1:100 или 1:10).
2. При составлении математической модели не описаны (или не рассмотрены) модели датчика температуры (термопары) и исполнительного устройства (нагревателя) и их сравнения с инерционностью лабораторного реактора, что, возможно, позволило бы повысить совпадения экспериментальных данных и модели
3. Не указано количество проведенных экспериментов и методы статистического анализа, использованные для их анализа.
4. Не понятно как нечеткий регулятор учитывает возникновение гелевого эффекта? Как это отражается на алгоритме его работы?
5. Не ясно как алгоритм работы регулятора учитывает проявление нелинейных свойств процесса полимеризации.
6. В четвертой главе в подразделах 4.2, 4.3 и 4.4 «Нечеткая систем управления с ПИ регулятором» следует писать «Нечеткая система управления с ... ПИ регулятором»

Перечисленные выше замечания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на теоретические и практические результаты диссертации.

Общая характеристика работы и соответствие паспорту специальности

Диссертация Лопатина К.Г. является логически связанным завершённым исследованием, обладающим научной новизной и практической ценностью.

Результатом диссертационной работы является разработка алгоритмов системы управления температурой процесса радикальной полимеризации ММА с нечеткими регуляторами, показана работоспособность САР с fuzzy коррекцией П части ПИ регулятора в зависимости от изменения ошибки регулирования для промышленного реактора при соотношении М:В=1:2. Полученные структуры, расчетные соотношения могут быть рекомендованы к использованию в научно-исследовательских и проектных организациях занимающихся автоматизацией процессов радикальной полимеризации ММА.

Тематика исследования, формулировка целей и задач, объект и предмет, научная новизна и общая направленность работы подтверждают ее соответствие паспорту специальности:

- 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами производствами (химическая технология; нефтехимия и нефтепереработка; биотехнология)»

Пункту 3 «*Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и т.д.*» в диссертационном исследовании соответствуют постановка и решение основных задач синтеза и анализа систем управления температурой в реакторе полимеризаторе.

Пункту 6 «*Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления*» в диссертации соответствуют математические и имитационные модели химико-технологического процесса полимеризации ММА как объекта построения системы регулирования с использованием fuzzy регулятора.

Пункту 10 «*Методы синтеза специального математического обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистему АСУТП, АСУП, АСТПП и др.*» в проведенном исследовании соответствует разработанное автором математическое, алгоритмическое и программное обеспечение системы автоматического управления температурой в реакторе с целью уменьшения степени влияния гель-эффекта на процесс полимеризации.

Пункту 17 «*Использование методов автоматизированного проектирования для повышения эффективности разработки и модернизации*

АСУ» в диссертации соответствует разработанный автором с применением возможностей пакета программ Matlab комплекс для исследования процесса радикальной полимеризации ММА.

Заключение

На основании вышеизложенного, ведущая организация считает, что диссертация на тему «Разработка и исследование системы автоматического управления периодическим реактором радикальной полимеризации метилметакрилата с нечеткими регуляторами» является законченной научно-квалификационной работой и в полной мере удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842), а ее автор Лопатин Кирилл Геннадиевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 06 «Автоматизация и управление технологическими процессами производствами (химическая технология; нефтехимия и нефтепереработка; биотехнология)»

Диссертационная работа обсуждена, отзыв заслушан и одобрен на заседании кафедры «Информационные процессы и управление» ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

Протокол № 13 от «13» мая 2016 года.

Заведующий кафедрой

«Информационные процессы и управление»

Д.т.н., профессор

 В.Г. Матвейкин

Секретарь кафедры

 Н.В. Мамонтова

Адрес: 392000, Тамбовская область, г. Тамбов,

ул. Советская, д. 106.

Тел.: +7 (4752) 63-10-19

Факс: +7 (4752) 63-06-43

E-mail: tstu@admin.tstu.ru

Официальный сайт: <http://www.tstu.ru/>