

## ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук Пашенко Александра Федоровича 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)»

### Оценка актуальности диссертационного исследования

Производство синтетических полярных термопластичных полимеров относится к динамично развивающимся областям народного хозяйства. Среди всего многообразия полимеров, ввиду необычайно широкого распространения изделий и продуктов переработки особого внимания заслуживает полиметилметакрилат (ПММА), являющийся эфиром метакриловой кислоты. ПММА в промышленности получают при реакциях полимеризации в массе, эмульсии и суспензии. Все эти методы имеют свои достоинства и недостатки, но суспензионная полимеризация является наиболее предпочтительной. Это связано с тем, что контролируя соотношение мономер/вода можно контролировать выход продукта и температурный режим с высокой точностью, при полимеризации в водной суспензии облегчается процесс отвода избыточного тепла, сама по себе суспензионная полимеризация позволяет получить более однородный

продукт, а также она является более экологически чистым производством. Гибкое регулирование температуры процесса суспензионной полимеризации метилметакрилата (ММА) имеет решающее значение ввиду высокой чувствительности структуры образующегося полимера к изменению температурного режима и ключевой особенности процесса – наличие гелевого эффекта. Процесс получения ПММА состоит из нескольких стадий, основная из которых – полимеризация, проводится в автоклаве, выполненном из нержавеющей стали, либо в эмалированном реакторе, снабженных мешалкой и рубашкой. В современном мире оптимизация и минимизация времени технологических операций решается с использованием автоматизированных систем управления.

Создание и внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) – непростой, многоступенчатый процесс, сложность которого обусловлена следующими причинами.

- любая система автоматического управления (САУ) является уникальной, так как предназначается для управления конкретными объектами и процессами с учетом индивидуальных качеств;
- при внедрении системы автоматического управления необходимо изучение ее работы и апробирование на физических моделях, схожих с реальными процессами и аппаратами;
- в виду непрекращающейся модернизации и совершенствовании технологических процессов и технологий, система автоматического управления должна обладать адаптивностью.

Резюмируя вышесказанное, считаю, что диссертационная работа Лопатина К.Г., посвященная разработке и исследованию системы автоматического управления периодическим реактором радикальной полимеризации ММА с нечеткими регуляторами является актуальной.

## Основное содержание работы

Представленная к рассмотрению диссертация выполнена на 173 страницах, имеет общепринятую структуру и включает содержание, введение, четыре последовательно взаимосвязанные главы, заключение, список использованной литературы из 124 источников и три приложения.

Диссертация дополнена достаточным количеством рисунков и таблиц, текст написан понятным и легким для восприятия техническим языком.

Как и положено любой научной работе, диссертация Лопатина К.Г. начинается с введения, в котором автор раскрывает объект исследования, приводит и обосновывает актуальность поставленной цели и решаемых в последующей работе задач, формулирует основные положения научной новизны и практической значимости.

В первой главе, на основании проведенного обширного литературного обзора источников, рассматривающих область исследования диссертационной работы, автором сформулированы две задачи – разработка адекватной математической модели путем исследования процесса синтеза ММА и созданием системы автоматического управления реактором с учетом нелинейного изменения свойств объекта управления.

Основу диссертационной работы составляет большой по объему эксперимент, для чего автором, совместно с коллегами, создана физическая модель реактора полимеризатора с двумя контурами регулирования – по температуре процесса и частоте оборотов мешалки. Во второй главе приводится довольно полное описание лабораторной установки с системой управления, методики постановки опытов на ней, определены статические и динамические характеристики по каналам управления. С целью проверки работоспособности САУ на базе традиционного ПИ-регулятора поставлена серия опытов на воспроизводимость, показавшая хорошую сходимость полученных результатов. Несомненным достоинством является то, что автором в работе проведено экспериментальное исследование зависимости

скорости реакции полимеризации ММА от температуры смеси, концентрации инициатора и стабилизатора.

Третья глава посвящена созданию математической модели реактора суспензионной полимеризации ММА. При построении математической модели использовался блочный принцип моделирования. В общем виде, полученная модель включает блок кинетики и тепловой баланс реактора, который в отличие от промышленного надо не остужать, а нагревать. Следует отметить, что автором впервые было учтено изменение плотности реакционной смеси от температуры. При обсуждении зависимости изменения параметров объекта управления от степени конверсии мономера и температуры, автор опирается на опытные результаты, полученные на физической модели процесса полимеризации ММА.

В виду резкого роста температуры реакционной смеси в момент проявления гелевого эффекта, с компенсацией которой классическая система управления с ПИ-регулятором не справляется, автором предлагается использование системы управления на базе нечеткой логики. С целью улучшения качества регулирования температуры реакционной смеси, автором, в четвертой главе, разработано три вида систем управления на базе нечеткой логики. Результатом оценки качества работы полученных систем управления на основе интегрального квадратичного критерия качества автор делает вывод, что система управления с нечеткой коррекцией П части ПИ-регулятора с базой знаний из 7 правил, лингвистические термы которой описываются функцией Гаусса является наиболее удачной для управления реактором полимеризатором ММА. Путем имитационного моделирования показана работоспособность системы автоматического регулирования с нечеткой коррекцией П части ПИ-регулятора для уменьшения влияния гелевого эффекта на промышленном реакторе.

Диссертация хорошо оформлена, результаты изложены систематизировано, и в большинстве случаев им дано убедительное

толкование, в работе прослеживается последовательность размышлений и экспериментов, направленных на достижение исследовательской цели.

### Научная новизна и практическая значимость работы

В работе Лопатина К.Г. проведены исследования, позволившие получить ряд оригинальных научных результатов к которым можно отнести:

1. Проведены практические исследования процесса полимеризации ММА на лабораторном реакторе, исследовано влияние концентрации инициатора, стабилизатора и температуры на процесс.

2. Создана адекватная кинетическая математическая модель процесса радикальной полимеризации ММА с учетом влияния гелевого эффекта.

3. Создана математическая модель лабораторного реактора, с учетом изменения физических свойств реакционной среды от степени конверсии мономера и от температуры процесса полимеризации. Произведена проверка адекватности полученной модели.

4. Показана закономерность изменения параметров объекта управления в течение процесса полимеризации метилметакрилата в зависимости от степени конверсии мономера и температуры процесса.

5. Изучены несколько алгоритмов систем управления с нечеткими регуляторами, позволяющие снижать отрицательное влияние гелевого эффекта на процесс полимеризации ММА, исследована их работа, выданы рекомендации по использованию.

6. Проанализированы различные алгоритмы работы системы управления с нечеткими регуляторами температуры процесса полимеризации ММА.

Диссертационная работа направлена на разработку системы автоматического управления реактором полимеризатором ММА, очевидной ценностью применения полученных результатов на практике можно считать увеличение выхода конечного продукта – полимера ММА, несомненно более гибкое регулирование температуры процесса наилучшим образом скажется на качестве полученного продукта. На современных промышленных

предприятиях особое внимание уделяется технике безопасности на производстве, результатом работы полученной системы автоматического управления, является снижение влияния гель-эффекта, проявление которого зачастую выводит реактор из устойчивого состояния и может привести к появлению серьезных дефектов и увеличению времени простоя оборудования для проведения технического обслуживания и ремонта.

### Достоверность и обоснованность полученных результатов

В отношении результатов работ отечественных и зарубежных ученых по тематике химизма и управления процесса полимеризации ММА выводы и предлагаемые решения рассматриваемой диссертационной работы не характеризуются противоречивостью. Об обоснованности полученных в работе положений и выводов свидетельствует корректное применение фундаментальных научных положений и методов исследования, методов системного анализа, физического и математического моделирования, теории интеллектуальных систем управления, применение методов программирования в ходе программной реализации процесса полимеризации. Достоверность полученных результатов и выводов, адекватность полученной математической модели и работоспособность разработанных алгоритмов управления подтверждается результатами поставленных экспериментов.

По теме диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 2 статьи в журналах из перечня ВАК, 3 статьи в рецензируемых российских научных журналах, тезисы 8 докладов.

### Замечания оппонента по диссертационной работе

В процессе анализа материалов диссертации Лопатина К.Г. возникли следующие замечания:

1. При проверке адекватности модели не указано, на сколько для всех температур расчетное значение критерия Фишера было меньше табличного.

2. Из текста диссертации не понятно как тип и скорость вращения мешалки влияют на гель-эффект.
3. В диссертации не приведена оценка точности математической модели.
4. В диссертации не освещены вопросы, касающиеся устойчивости разработанных систем управления.
5. В работе не приводится обоснование, чем обусловлен выбор 3 или 7 производственных правил для анализа работы гибридного ПИ регулятора.

Однако данные замечания не снижают общего положительного впечатления о рассматриваемой работе.

### Заключение

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, обладает несомненной актуальностью, а полученные результаты новизной и достоверностью. Сделанные в работе выводы и предложения адекватно отражают научную новизну полученных результатов. Таким образом диссертация Лопатина К.Г. на тему «Разработка и исследование системы автоматического управления периодическим реактором радикальной полимеризации метилметакрилата с нечеткими регуляторами» направленная на решение острой проблемы в области полимеризации метилметакрилата является законченным трудом, результатом которого является вклад в современную науку.

Считаю, что по своему объему, актуальности, научной новизне полученных результатов, их практической значимости и обоснованности, диссертационная работа Лопатина К.Г. отвечает требованиям, предъявляемым в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Лопатин К.Г. достоин присвоения ученой

степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами производствами (химическая технология; нефтехимия и нефтепереработка; биотехнология)».

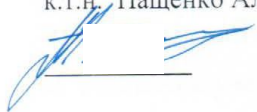
Официальный оппонент.

к.т.н. старший научный сотрудник лаборатории №43

«Управление в саморазвивающихся системах»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук.

к.т.н. Пашенко Александр Федорович



«16» мая 2016 г.

Подпись *Пашенко А. Ф.*

ВЕД. ИНЖЕНЕР  
ЖУРНАЛ П



Адрес: 117997, г. Москва, Профсоюзная ул., 65

Тел. +7 495 334-88-21

Эл. почта: paschenko\_alex@mail.ru

Официальный сайт: <http://www.ipu.ru>