

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

Кудряшова Владимира Сергеевича

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)»

#### **1. Актуальность темы диссертационной работы**

Комплексной автоматизации и механизации производств химической промышленности уделяется огромное внимание, поскольку режим протекания химико-технологических процессов полимеризации характеризуется сложностью, высокой скоростью и чувствительностью к отклонениям от заданных параметров. В общей массе, полимеризационные процессы являются экзотермическими реакциями с высоко нелинейными зависимостями, что приводит к возникновению различных проблем при создании системы автоматического управления.

Основными проблемами, при создании системы автоматического управления процессами полимеризации метилметакрилата (ММА), являются неполнота информации о протекании химических реакций во время синтеза в зависимости от гидродинамики и температурного режима аппарата, связанная с недостаточной изученностью кинетики процесса, ярко выраженная неустойчивость системы из-за присутствия сильного гель-эффекта.

Центральным аппаратом в технологической схеме получения полиметилметакрилата (ПММА) является реактор полимеризатор периодического действия обладающий вышеперечисленными свойствами.

В настоящее время для разработки новых и совершенствования действующих технологических процессов синтеза полимеров необходимо изучение их работы на моделях, т.е. на исследовательских объектах, отличающихся от промышленных масштабами, параметрами и свойствами технологических потоков и обеспечивающих при этом получение информации о процессе.

Характерной особенностью суспензионной полимеризации ММА является то, что достижение максимального выхода готового продукта с заданными показателями качества и уменьшение времени полимеризации возможно при проведении процесса при режимах максимально близких к неустойчивым, в связи с чем разработка системы автоматического управления реактором является актуальной задачей, значимой как для теории, так и для практики.

## **2. Краткий анализ содержания диссертации**

Диссертация Лопатина К.Г. состоящая из содержания, введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и трех приложений, выполнена на 173 страницах, включает 10 таблиц и 97 рисунков, библиографический список представлен 124 наименованиями. В приложениях присутствует детальное описание блоков, используемых при программном воплощении кинетики и математических моделей суспензионной полимеризации ММА и акт внедрения лабораторной установки в учебный процесс НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Экспериментальной части работы предшествует литературный обзор в котором подробно рассмотрен режим протекания процесса суспензионной полимеризации ММА и технология его получения в

промышленных условиях, области применения ПММА, влияние концентрации инициатора, стабилизатора, температуры на процесс полимеризации. Показано, что молекулярная структура полимера необыкновенно чувствительна к изменению температурного режима процесса. Рассмотрено явление гелевого эффекта, которое приводит к резкому пиковому выделению тепла. Нередко появление гелевого эффекта выводит реактор из устойчивого состояния и сильно меняет динамику процесса. Автором произведен анализ кинетических схем, описывающих процесс полимеризации ММА, наглядно представлено, различие математического аппарата описывающего кинетику у различных авторов. Также в литературном обзоре рассмотрены современные типовые схемы систем управления периодическим реактором полимеризатором, выделены их достоинства и недостатки.

На основе анализа литературных данных автором поставлена задача исследования процесса синтеза ММА с целью разработки адекватной математической модели. Среди большого разнообразия систем автоматического управления реактором не все модели учитывают нелинейное изменение параметров объекта управления, в связи с чем автор ставит перед собой задачу о разработке системы автоматического управления с учетом нелинейного изменения параметров объекта управления.

В экспериментальной части автором проведен значительный объем исследований процесса радикальной полимеризации ММА. С целью изучения процесса, автором совместно с сотрудниками кафедр «АПП» и «ППИМ» была создана физическая модель представляющая собой реактор идеального смешения, оборудованный мешалкой. В своем составе данная установка имеет два контура управления – по температуре и скорости вращения мешалки. В работе данной установки использованы современные средства автоматизация, управление производится с ПК. На данном лабораторном реакторе произведена серия экспериментов при

различных температурах процесса, на представленных графиках наглядно показано наличие гелевого эффекта. Для управления температурой процесса рассчитаны настройки ПИ регулятора и поставлена серия экспериментов на воспроизводимость опытов с целью проверки работоспособности разработанной системы автоматического управления. По результатам анализа экспериментальных данных опытов при различных температурах и соотношениях исходных реагентов, сделан вывод, что с увеличением температуры процесс протекает быстрее и увеличивается отрицательное влияние гелевого эффекта, также на скорость процесса и гелевый эффект оказывает влияние концентрация инициатора. В результате проведенных экспериментов перед автором встает задача разработать адекватную модель процесса суспензионной полимеризации ММА для синтеза системы управления температурным режимом с целью подавления влияния гелевого эффекта.

В третьей главе, на основании выбранной модели кинетики с учетом дополнений, изложены результаты разработки математической модели процесса полимеризации ММА. Произведена проверка адекватности полученной математической модели

Автором впервые выявлены закономерности изменения параметров объекта управления в течение процесса полимеризации метилметакрилата в зависимости от степени конверсии мономера и температуры процесса полимеризации.

Важным разделом диссертационной работы является разработка нечетких систем управления реактором полимеризатором ММА.

Автором предлагается использовать нечеткие методы управления реактором, либо корректировать на их основе настроечные параметры типового ПИ-регулятора, направленные на снижение влияния гелевого эффекта и тем самым повысить эффективность процесса полимеризации. Все основные выводы о характере протекающих процессов и способах

управления реактором автор делает на основе экспериментальных данных, полученных на лабораторном оборудовании.

По результатам обработки экспериментов составлена математическая модель, отражающая кинетические и тепловые особенности процесса. На их основе в дальнейшем синтезируется нечеткий алгоритм работы системы управления и нечеткие методы улучшения работы САР с ПИ-регулятором. По результатам моделирования делается вывод об улучшении работы реактора и повышении эффективности его работы. Кроме того, заслуживает особого внимания тот факт, что автором разработано программное обеспечение, позволяющее с помощью контроллера реализовать предложенные алгоритмы управления на натурном объекте.

Работа является законченной и выполнена автором самостоятельно на достаточном научно-техническом уровне, отражает все этапы проведенных исследований, сопровождается цитированием лабораторных источников.

### **3. Научная новизна диссертационного исследования**

В диссертационной работе Лопатина К.Г. проведены экспериментальные и теоретические исследования, которые позволили получить несколько оригинальных результатов, представленных ниже:

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.

#### **4. Обоснованность и достоверность научных положений и выводов**

В диссертации Лопатина К.Г. представлено теоретическое и практическое изучение вопросов и проблем радикальной полимеризации ММА. Достоверность и обоснованность результатов обеспечена логичным выбором направлений работы в рамках поставленных перед автором целей.

Экспериментальные исследования выполнены автором на высоком техническом уровне с использованием современных средств автоматизации и программного обеспечения для хранения и получения данных о ходе процесса полимеризации с целью последующей обработки и обобщения. Обработка полученных в результате проведения опытов данных проводилась в соответствии с общепринятыми методиками.

Для получения теоретических результатов использовались известные математические законы, кинетические закономерности, методы математического и компьютерного моделирования, методы математической статистики, теория автоматического управления, законы термо- и гидродинамики процессов и аппаратов.

Полученные в диссертационной работе результаты не противоречат трудам отечественных и зарубежных исследователей и подтверждаются практическими опытами автора.

## **5. Практическая значимость результатов диссертационного исследования**

Основной практической ценностью диссертационной работы Лопатина К.Г. считаю подтверждение теоретических наработок практическими экспериментами, результатом которых является проявление закономерности изменения параметров объекта управления в течение процесса полимеризации ММА в зависимости от степени конверсии мономера и температуры процесса полимеризации. Исследование и анализ работы трех видов систем управления с нечетким регулятором, которые позволяют снижать отрицательное влияние гель - эффекта на процесс полимеризации метилметакрилата, позволили выработать рекомендации по использованию разработанных систем управления на промышленном реакторе. Разработанный автором программный комплекс исследования процесса радикальной полимеризации метилметакрилата в пакете прикладных программ Matlab позволяет наглядно проводить исследования и сокращает время, затраченное на анализ их результатов.

## **6. Вопросы и замечания**

Тем не менее, как и любая новая работа, диссертация не лишена некоторых недостатков:

- В работе не указано, на основании каких критериев был спроектирован лабораторный реактор?
- Из текста диссертация не ясно почему лабораторный реактор надо нагревать в отличие от промышленного который охлаждается.
- Не понятно, какие функции в системе управления выполняет ПЛК, а какие ПК?

- Функциональная схема на стр. 43 (рис. 2.3) не отражает технические средства, представленные на рис.2.1.
- На графиках динамических характеристик (рис. 2.6, 2,7) отсутствует чистое запаздывание, хотя в передаточных функциях оно присутствует.
- Не понятно как кинетическая модель учитывает влияние температуры.
- В тексте диссертации отсутствуют ссылки на то, по какому принципу проводились лабораторные испытания и выбирались значения концентраций, температуры и т.д.

Высказанные замечания не ставят под сомнение научную новизну и практическую ценность полученных результатов и не влияют на общую оценку рассматриваемой диссертации.

## **7. Общее заключение по диссертационной работе**

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Лопатина Кирилла Геннадиевича на тему «Разработка и исследование системы автоматического управления периодическим реактором радикальной полимеризации метилметакрилата с нечеткими регуляторами» представляет собой целенаправленное и завершенное исследование, посвященное актуальной проблеме, имеющее большое практическое значение.

Основные результаты и положения диссертации отражены в перечисленных работах соискателя и прошли апробацию на различных технических конференциях.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации, актуальность, научную новизну и практическую значимость.

Проведенные научные исследования можно характеризовать как научно обоснованные технические разработки, обеспечивающие решение



важных прикладных задач в области автоматизации химико-технологических процессов и производств.

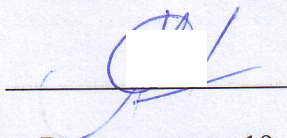
Главным результатом проделанной работы является создание нескольких видов систем автоматического управления с нечеткими регуляторами, применение которых в промышленных масштабах позволит более гибко управлять процессом полимеризации ММА, что в свою очередь наилучшим образом скажется на качестве и количестве готового продукта на выходе.

Теоретические выводы, новые практические решения и основные положения диссертации соответствуют паспорту специальности - 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами производствами (химическая технология; нефтехимия и нефтепереработка; биотехнология)»

Считаю, что диссертационная работа отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Лопатин Кирилл Геннадиевич заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами производствами (химическая технология; нефтехимия и нефтепереработка; биотехнология)».

Официальный оппонент,  
д.т.н. профессор кафедры «Информационных и управляющих систем»  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

д.т.н. профессор



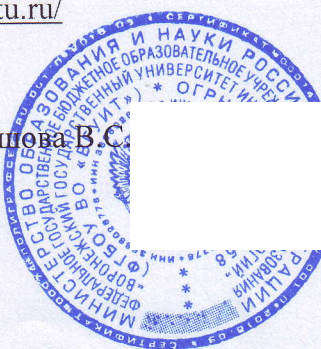
Кудряшов Владимир Сергеевич  
«19» мая 2016 г.

394036, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19  
(473) 255-38-75

kudryashovvs@mail.ru

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

Подпись д.т.н. профессора Кудряшова В.С.  
удостоверяю  
Ученый секретарь университета



Костина Евгения  
Васильевна