

## **ОТЗЫВ**

Официального оппонента, доктора технических наук, профессора Подвального Семена Леонидовича на диссертацию Попова Алексея Петровича «Системный анализ, моделирование и управление периодическим процессом термоокислительной деструкции полимеров в растворе», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям: 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (в пищевой и химической промышленности)» и 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Диссертационная работа посвящена решению актуальных задач, стоящих перед промышленностью и научно-исследовательскими организациями, которые связаны с созданием алгоритмов управления, моделированием и идентификацией параметров процесса термоокислительной деструкции полимеров в растворе, а также разработкой методов оценки показателей качества готовой продукции.

## **АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ**

Актуальность выполненного научного исследования обуславливается следующими факторами:

- термоокислительная деструкция является одним из перспективных процессов для получения низкомолекулярных полимеров с активными функциональными группами и разрушения сверхвысокомолекулярных соединений, которые откладываются на технологических аппаратах в результате проведения процессов полимеризации.
- получаемые в результате проведения деструкции полимеры с активными функциональными группами пользуются большим спросом, как в России, так и за рубежом, ввиду их широкого применения в народном хозяйстве для изготовления адгезионных и полимерно-битумных композиций, антикоррозионных покрытий, строительных герметиков и др.

Таким образом, перед химической отраслью стоит задача развития технологии получения таких полимеров в условиях промышленного производства. В связи с этим соискателем поставлены и решены следующие задачи: создание программного обеспечения, реализующего

моделирование процессов термоокислительной деструкции полимеров в растворе, и разработка алгоритма управления ими.

### НАУЧНАЯ НОВИЗНА

Предложенная в диссертационной работе методика обработки данных гель-проникающей хроматографии полимера отличается проведением экстраполяции хвостов экспериментальной функции молекулярно-массового распределения, которая выполняется для получения информации о долях полимерных молекул, молекулярные веса которых находятся в зоне нечувствительности хроматографа, т.е. области низких и высоких молекулярных масс. Это обеспечивает получение полной информации о молекулярно-массовом распределении полимерных молекул и делает возможным проведение дискретизации функции распределения.

На основе проведенного автором системного анализа процесса деструкции как объекта управления разработаны:

- математические модели, описывающие кинетику фракционного состава полимера и динамику изменения концентраций компонентов реакционной смеси;
- метод оценки показателей качества продуктов деструкции полимеров, позволяющий рассчитывать эти значения во время протекания процесса деструкции, не прибегая к лабораторному анализу;
- алгоритм управления процессом, основанный на непрерывной подаче в реактор инициирующего агента реакции, обеспечивающей линейную кинетику деструкции и достижение заданного качества полимера за прогнозируемое время.

Для нахождения констант скоростей химических реакций автором модернизирован численный метод покоординатного спуска путем изменения методики расчета величины и направления шага поиска по оцениваемым параметрам в зависимости от установленных диапазонов изменения целевой функции, что предоставило возможность поиска нелокальных минимумов негладких дискретных функций.

### ДОСТОВЕРНОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Разработанные в диссертационной работе математические модели, описывающие процесс растворной термоокислительной деструкции, а

также методы: обработки экспериментальных данных гель-проникающей хроматографии, оценки кинетических параметров процесса и показателей качества производимого полимера обеспечивают получение численных результатов, предоставляющих всю необходимую информацию о процессе, показателях качества полимера и компонентов реакционной смеси, достоверность которых обуславливается и подтверждается:

1. Использованием экспериментальных данных, полученных на основе гель-проникающей хроматографии и вискозиметрии с помощью современных технических средств и методик проведения научных исследований, прошедших метрологическую поверку.
2. Использованием в качестве основы для создания указанных моделей и методов, ранее проведенных исследований в области физики полимеров, химической кинетики, вычислительной математики и теории вероятности.
3. Близостью и согласованностью рассчитанных с помощью полученных методов и моделей значений с данными экспериментальных исследований и теоретических выводов, которые подтверждаются критериями оценками погрешностей полученных результатов.

Основные результаты диссертационного исследования неоднократно докладывались на конференциях и симпозиумах, имеющих статус международных и всероссийских.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Теоретическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в:

1. Развитии методов обработки результатов гель-проникающей хроматографии для получения данных о фракционном составе полимера; методов моделирования процессов термоокислительной деструкции, включая оценки статистических моментов молекулярно-массового распределения и показателей качества полимера.
2. Выявлении системных связей между показателями качества полимера и условиями протекания процесса.
3. Модернизации метода покоординатного спуска, который может быть использован для многопараметрического поиска нелокальных минимумов негладких функций.

Практической ценностью работы является:

1. Предложенный алгоритм управления процессом термоокислительной

деструкции, основанный на непрерывной подаче инициирующего агента в зону реакции, позволяющий проводить деструкцию полимера с заданной постоянной скоростью и получать полимер с требуемыми показателями качества за прогнозируемое время.

2. Созданное программное обеспечение, способное выполнять комплекс научных задач, связанных с исследованием и прогнозированием процессов термоокислительной деструкции полимеров в растворе.

Результаты диссертационной работы апробированы и внедрены на предприятиях, производящих низкомолекулярные полимеры (ФГУП Воронежский филиал «Научно исследовательского института синтетического каучука») и перерабатывающих полимерные отходы (ООО «Совтех»).

### ЗАМЕЧАНИЯ К ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

По диссертации имеются следующие замечания:

1. На мой взгляд, первая глава диссертационного исследования перегружена. Она содержит очень много сведений, носящих описательный характер и известных из современных источников.
2. Выбор равномерного закона распределения при описании вероятности доступа молекулы деструктора к полимерным макромолекулам требует обоснования, т.к. теоретически это возможно только в очень сильно разбавленных растворах.
3. При моделировании процесса деструкции и проведении оценки соответствия экспериментальных данных расчетным значениям не учитывалась погрешность, как самих измерительных приборов, так и методов измерения, которые, как правило, носят косвенный характер.
4. Представленный численный метод поиска кинетических констант не исследован на устойчивость, допустимый диапазон достоверности и единственность решения.
5. Разработанный алгоритм управления не учитывает влияние температурного режима проведения процесса деструкции, что может потребовать использования дополнительных управляемых воздействий.
6. Предложенный способ управления деструкцией, в виду сложности обеспечения непрерывной подачи в реактор инициирующего агента, должен быть доработан для его реализации на производстве.

Указанные замечания не снижают общего положительного заключения о работе, список опубликованных работ полностью отражает содержание диссертации. По результатам диссертационного исследования

опубликовано 13 работ, 3 из которых представлены в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов, 1 работа представлена в издании, входящем в международную базу цитирования SCOPUS. Автореферат соответствует содержанию работы.

Подводя окончательный итог, можно сделать заключение о том, что диссертационная работа соискателя Попова Алексея Петровича, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научной работой, все главы и подразделы которого имеют четкую логическую связь, а полученные результаты исследований позволили решить все поставленные задачи, связанные с системным анализом, моделированием и управлением периодического процесса термоокислительной деструкции полимеров в растворе. Диссертация полностью удовлетворяет требованиям ВАК РФ. Считаю, что Попов А.П. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям: 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (в пищевой и химической промышленности)», 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Зав. кафедрой автоматизированных и вычислительных систем ФГБОУ ВПО  
«Воронежский государственный  
технический университет»,

д.т.н. профессор, *05.05.2015г.*

Подвальный Семен Леонидович

Специальность: 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)»

Адрес: 394066, г. Воронеж, Московский проспект, 179, учебный корпус № 3;  
Телефон: 243 - 77 - 18;

Сайт: <http://www.vorstu.ru>  
e-mail: vasil\_marina@yandex.ru