

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора кафедры информационных и управляющих систем ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» Тихомирова Сергея Германовича на диссертацию Алексева Евгения Алексеевича на тему: «Анализ, оптимизация и управления процессом твердофазного дополиамидирования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в химических технологиях, нефтехимии)

Актуальность темы работы

Конструкционный термопластичный полимер полиамид-6 благодаря своим свойствам находит широкое применение в различных отраслях промышленности: химической (целлюлозно-бумажной, нефтехимической), пищевой, станкостроительной, судостроительной, металлургической и др. Производство полимера по существующим технологиям характеризуется низкой ресурсоэффективностью. Поэтому актуальными являются исследования по модернизации технологий получения полиамида-6 и что не менее важно – в области разработки алгоритмов управления стадиями синтеза полимера. В этой связи, цель и задачи, решаемые в диссертационной работе Алексева Е.А., посвященной синтезу работоспособного комплекса «реактор твердофазного дополиамидирования – подсистема управления», являются актуальными.

Основное содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Работа изложена на 160 страницах машинописного текста, содержит 14 таблиц и 50 рисунков. Список литературы включает 122 наименования.

Во *введении* отражена и обоснована актуальность темы диссертации, указана степень ее разработанности по состоянию на сегодняшний день, сформулированы цель и основные задачи исследований, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, методология и методы исследования.

В *первой главе «Литературный обзор»* приведён анализ научно-технической литературы по тематике диссертационного исследования. Кратко описаны основные стадии производства полимера. Автором проанализировано аппаратурно-технологическое оформление процесса синтеза полимера, отмечена перспективность введения в технологическую схему стадии твердофазного дополиамидирования, позволяющей повысить степень превращения мономера (капролактама). Отражены основные особенности управления химико-технологическими процессами и основные проблемы автоматизации и управления промышленным процессом получения полиамида-6. На основании результатов анализа литературы сформулированы цель и задачи исследования.

Во *второй главе «Моделирование процесса дополиамидирования»* автор рассматривает процесс твердофазного дополиамидирования как сложную физико-химическую систему. С применением модульно-иерархического подхода разработана математическая модель реактора-дополимеризатора. Проведена параметрическая идентификация математической модели кинетики химических реакций, протекающих в гранулах полимера. Предложена компьютерная реализация модели на языке функциональных блочных диаграмм приложения Simulink MATLAB, работоспособность программного приложения подтверждена путём

моделирования режима пуска пилотного реактора, приведены результаты моделирования процесса.

Третья глава «Системный анализ процесса как объекта управления» отражает результаты проведённого системного анализа реактора-дополимеризатора. Решены задачи редуцирования исходной математической модели реактора и технологической оптимизации процесса. Получена формализованная модель реактора в виде передаточных функций по различным каналам, построены динамические характеристики. На основании результатов исследования связности объекта предложена топология системы управления технологическим процессом.

В четвертой главе «Синтез системы управления» автором предложены три альтернативных алгоритма управления температурой гранул и концентрацией капролактама в гранулах, проведён параметрический синтез алгоритмов исходя из заданных требований к характеру переходного процесса управления и показателей качества. Исследование работоспособности алгоритмов управления выполнено методами вычислительного эксперимента. Сформулированы рекомендации по выбору эффективного алгоритма управления концентрацией мономера и температурой гранул.

Научная новизна исследования

- Основными результатами, обладающими научной новизной, являются:
1. Математическая модель двухфазного реактора-дополимеризатора, которая отражает явления, происходящие на различных масштабных уровнях процесса, разработанная с использованием методологии системного анализа.
 2. Уточнены оценки параметров кинетической модели твердофазного дополиамидирования для условий «глубокого» превращения мономера при температуре ≈ 180 °С.

3. Впервые проведены исследования в области управления процессом твердофазного дополиамидирования – предложена структура и проведён параметрический синтез алгоритмов управления температурой твёрдых частиц и концентрацией мономера с целью их стабилизации на оптимальном уровне в условиях действия возмущений.

Практическая значимость полученных результатов

1) Разработаны программные средства решения задач системного анализа реактора-дополимеризатора и системы управления процессом, а именно:

- программное средство для решения задачи технологической оптимизации (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019663488);

- программа решения задачи параметрической идентификации модели кинетики при заданной температуре;

- программное средство для реализации вычислительного эксперимента при имитационном моделировании комплекса «реактор – управляющая подсистема».

2) Предложена методика и определены оптимальные значения нагрузки на аппарат по твёрдой фазе и расход теплоносителя при заданных конструктивных параметрах реактора, обеспечивающие максимальную степень превращения капролактама и заданное значение температуры твёрдых гранул.

3) Сформулированы рекомендации по структуре алгоритмов управления температурой твёрдых частиц и концентрацией капролактама при решении задачи стабилизации параметров процесса в условиях действия возмущений: алгоритм на базе полиномиального динамического регулятора для

управления температурой, для управления концентрацией – алгоритм управления состоянием с астатической составляющей.

4) Результаты исследований используются в учебном процессе при подготовке магистров по направлению «Управление в технических системах».

Степень обоснованности и достоверность научных положений и выводов

Обоснованность положений, результатов и выводов диссертации подтверждается корректным использованием фундаментальных законов переноса субстанций при разработке математической модели двухфазной физико-химической системы, методов структурного и параметрического синтеза алгоритмов управления, используемых в современной теории управления.

Достоверность подтверждается удовлетворительным соответствием расчетных и экспериментальных данных по кинетике процесса твердофазного дополиамидирования, непротиворечием результатов вычислительного эксперимента по исследованию свойств комплекса «реактор-дополимеризатор – подсистема управления» теоретическим положениям.

Результаты исследований апробированы на всероссийских и международных конференциях, используются в учебном процессе при подготовке магистров по направлению «Управление в технических системах».

Замечания по диссертационной работе

1.В тексте диссертации не сказано, какой язык программирования использован для написания программы технологической оптимизации. Не

приведена и не описана полная программа моделирования процесса дополиамидирования (страница 78).

2. На мой взгляд, на рисунках 3.5 и 3.6 (страница 93) не следует приводить столько зависимостей. Некоторые линии сливаются или находятся очень близко друг к другу. Что затрудняет процесс интерпретации полученных результатов.

3. Из текста диссертации не понятно, почему в замкнутых системах с астатическими алгоритмами регулирования концентрации и температуры при исследовании на ковариантность с задающим воздействием (страницы 130 и 136) присутствует перерегулирование?

4. В уравнении теплового баланса частицы (система (2.8) страница 49) в левой части должно быть записано выражение: $m_v \cdot c_m \frac{dt}{dt}$, где m_v - масса частицы, кг; c_m - удельная теплоёмкость материала частицы, Дж / (кг·град.). Очевидно, это опечатка, так как при записи теплового баланса по твёрдой фазе для элементарного объёма (страница 58) данное выражение записано верно?

5. Сравнение уравнений теплового баланса в исходной модели реактора (2.49) и в ячеечной модели (2.55) показывает, что в последней отсутствует член, описывающий теплообмен между твёрдыми частицами и парогазовой средой. Чем объясняется данный факт?

6. Вызывает вопрос практической реализации алгоритма управления концентрацией мономера на базе регулятора состояния при измерении только выходной переменной.

Заключение

Отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в химических технологиях, нефтехимии). По формуле специальности в части «...специальность, занимающаяся проблемами разработки и применения методов системного анализа сложных прикладных объектов исследования..., включая вопросы анализа, моделирования и оптимизации, совершенствования управления..., с целью повышения эффективности функционирования объектов исследования». По области исследования: П2 «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления...»; П4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления...»; П5 «Разработка специального...алгоритмического обеспечения систем... управления».

Основные результаты исследований опубликованы в 21 печатной работе, из них 3 статьи в журналах из перечня рецензируемых научных изданий. На программное обеспечение для решения задачи технологической оптимизации получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019663488.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Работа является завершенной научно-квалификационной работой, направленной на решение задач системного анализа реакторо-дополимеризатора как объекта управления, разработку алгоритмов управления объектом и вносит вклад в развитие теории и практики синтеза эффективных комплексов «технологический процесс – подсистема управления».

Диссертация соответствует критериям, установленным П9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Соискатель Алексеев Евгений Алексеевич заслуживает присуждения ученой

степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в химических технологиях, нефтехимии).

Официальный оппонент,

Доктор технических наук, профессор
профессор кафедры информационных
и управляющих систем ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
университет инженерных технологий»



Тихомиров Сергей
Германович

Адрес места работы: г. Воронеж, проспект Революции, д.19

Телефон: (473) 255 38 75

E-mail: tikhomirov_57@mail.ru

