

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

FEATURES OF SIMULATION OF CONTROL SYSTEMS OF POLYMERIZATION PROCESSES

**Yu. Golodkov
M. Rudenko
A. Kolesnikov**

Summary. The article discusses the issues of modeling control systems for polymerization processes, taking into account technological features, analyzes existing approaches, substantiates the advantages of control schemes based on nonlinear controllers.

Keywords: polymerization, control systems, fuzzy models, nonlinear controllers.

Голодков Юрий Эдуардович

*К.т.н., доцент, Иркутский национальный
исследовательский технический университет
yrg27@mail.ru*

Руденко Максим Борисович

*К.т.н., профессор, Восточно-Сибирский институт
МВД России (г. Иркутск)
rudenko@inbox.ru*

Колесников Алексей Андреевич

*Иркутский национальный исследовательский
технический университет
alexei1171@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы моделирования систем управления процессами полимеризации с учетом технологических особенностей, выполнен анализ существующих подходов, обоснованы преимущества схем управления на основе нелинейных регуляторов.

Ключевые слова: полимеризация, системы управления, нечёткие модели, нелинейные регуляторы.

Процесс получения полимерной продукции путем переработки углеводородного сырья является важнейшим направлением деятельности химической промышленности. Достижение заданных свойств конечной продукции закладывается на этапе проектирования технологического процесса и систем управления и определяется подходами в анализе производства.

С целью оптимального управления технологическим процессом необходимо выполнить анализ установившихся режимов сложных химико-технологических систем и оценку их устойчивости. Для решения подобных задач используют общие методы анализа, которые следует адаптировать применительно к конкретному случаю, учитывая особенности моделей в установившихся режимах процессов полимеризации [1, С. 20] и их связь с динамическими процессами в реакторах различного типа.

Выбор оптимальных моделей и систем управления является сложной задачей. Поэтому в данном исследовании рассмотрены особенности моделирования процесса полимеризации с использованием соответствующих программных средств, а также возможные приемы построения систем управления данными процессами.

Известно, что полимеризация — это процесс образования высокомолекулярного вещества, полимера, путём соединения множества низкомолекулярных веществ, мономеров. Молекулы полимеров могут иметь различное конфигурационное и конформационное строение, разную кратность полимеризации (длину цепи), что придаёт конечному веществу различные свойства. Все эти свойства реализуются в зависимости от условий протекания процесса полимеризации.

На процесс синтеза полимера влияют такие технологические параметры как температура, давление, количество и свойства используемых катализаторов. Кроме того, существенное влияние оказывают свойства исходного сырья, физико-химические свойства, однородность его состава, наличие примесей и др.

Процессы полимеризации зачастую не являются линейными, так как подвержены большому числу внутренних возмущений, обусловленных особенностями кинетики их протекания. Некоторые системы склонны к проявлению эффекта автоускорения процесса полимеризации, так называемому гель-эффекту. Это, как правило, происходит в системах, где полимер может полностью раствориться в собственном мономере, что при

определённой степени конверсии мономера приводит к выделению большого количества тепла [2, С. 9]

Для моделирования процессов радикальной полимеризации широкое распространение получили аналитические модели, которые представляют собой совокупность уравнений кинетики химической реакции и теплового баланса реактора. Наиболее интересной для анализа данных является кривая изменения температуры реакционной смеси, которую можно получить путем интегрирования уравнений математической модели в одной из структурных моделей. Практическое применение аналитических моделей в исходном виде затруднено, так как для получения достоверных результатов при моделировании необходимо учитывать огромный массив данных – значения различных физических констант, констант скоростей химических превращений и много другое [3].

В настоящее время большое распространение получают модели на основе методов нечёткой логики. Модели данного типа могут быть получены путём анализа работы реального промышленного или лабораторного реактора, или на основе результатов численного интегрирования дифференциальных уравнений математической модели [3, С. 237;4], где не требуется точных знаний о технологическом процессе. Важным преимуществом нечётких моделей является простота их внутренней структуры, что даёт возможность лёгкой реализации такой модели на компьютере или программируемом логическом контроллере.

Что же касается производства полиэтилена (и некоторых других полимеров), в связи с особенностями технологической схемы производства, наличием рециклов, возникает запаздывание между контролируемыми параметрами процесса и свойствами готовой продукции. Кроме того, наблюдается нелинейность зависимости качества продукции от технологических параметров [5, С. 69]. Стоит отметить, что не всегда имеется возможность непрерывного измерения технологических параметров, напрямую влияющих на качество продукции, например индекс расплава полимера, а теоретические (прямые) модели обладают недостаточной точностью.

В качестве программного обеспечения для моделирования различных процессов используется программный пакет MATLAB Simulink [6, С. 10]. Основными его достоинствами являются универсальность и большой выбор методов моделирования, что делает его практически безальтернативным в случае решения узкоспециализированных задач.

Модели в Simulink можно создавать математическими методами в виде систем дифференциальных уравнений, а также с применением нейронных сетей.

Кроме этого, существует специализированное программное обеспечение для моделирования химико-технологических процессов [7;8]. Примерами таких систем моделирования могут служить Aspen Hysys, gProms ModelBuilder, CHEMCAD и др. Системы такого рода включают в себя ряд основных подсистем, облегчающих задачи моделирования:

- ◆ база данных, содержащая термодинамические параметры основных компонентов, применяемых в химической технологии;
- ◆ системы представления физико-химических свойств углеводородов, для описания качественного состава рабочих смесей;
- ◆ система, содержащая различные методы расчёта протекания процессов;
- ◆ набор моделей для расчёта технологических процессов в отдельных единицах оборудования.

Применение подобных программных средств позволяет существенно сократить время на проектирование и оптимизацию функционирования целых промышленных комплексов. Составление полной технологической цепи позволяет повышать точность моделирования, а также выявлять факторы, которые в большей степени влияют на ход технологического процесса и, как следствие, на качество готовой продукции.

В работе [1, С. 20] отмечается, что при решении задач управления химическим производством большинство возникающих при этом проблем связано с необходимостью анализа неустановившихся режимов. С учетом большой инерционности технологических процессов можно ожидать значительного экономического эффекта при оптимизации их управления. При оценке влияния неустановившегося режима на производство необходимо учитывать следующие факторы:

- ◆ при переходе с одного режима на другой (нехватка сырья, пуск, остановка производства, аварии и т.д.), связанного, прежде всего, с изменениями нагрузок отдельных стадий, должно быть обеспечено оптимальное изменение неустановившихся режимов отдельных участков и всего производства в целом;
- ◆ при пуске и остановке всего производства необходимо оценивать влияние неустановившихся режимов на качество продукта и возможное появление технологических отклонений;
- ◆ одновременная работа реакторов периодического и непрерывного действия в технологической схеме производства, как правило, создает неблагоприятные динамические условия, оптимизацию которых необходимо поддерживать управляющими воздействиями;
- ◆ во избежание потери продукта или снижения его качества при авариях отдельных агрегатов в тех-

нологической схеме должны быть предусмотрены запасные режимы всего производства.

Современные системы управления подобными процессами строятся на основе нелинейных регуляторов с нечётким вводом [9, С. 98;10, С. 523]. Ключевой особенностью таких систем является их возможность менять свою структуру в режиме реального времени, с целью более эффективного управления процессом даже в экстремальных условиях, практически на границе устойчивости. В зависимости от структуры системы возможен отказ от нормировки сигналов к определенному диапазону в зависимости от конкретного объекта управления, что повышает его универсальность.

Использование регуляторов такого типа избавляет от необходимости в базе данных, содержащей большое количество термов и правил управления, что позволяет их реализовывать на программируемых логических контроллерах.

Таким образом, при изучении особенностей управления процессом полимеризации, учитывая многообразие факторов, влияющих на технологический процесс, выявлено, что для разработки систем управления таких процессов наиболее подходящими на данный момент являются модели на основе нечёткой логики. Рассмотрено использование нелинейных регуляторов с нечётким вводом в качестве основы современных систем управления процессами полимеризации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подвальный Е.С., Черных И.К., Пасмурнов С.М. Системный анализ проблем автоматизации проектирования и оптимизации процессов полимеризации в производстве каучука / Вестник ВГТУ. 2013. № 6–1. С. 20–22.
2. Брыков Б.А., Лопатин А.Г., Вент Д.П. Моделирование процессов тепловыделения при синтезе полимеров методом радикальной полимеризации / Успехи в химии и химической технологии. 2018. № 11 (207). С. 9–12.
3. Лопатин А.Г., Брыков Б.А., Вент Д.П., Мурашев П.М., Богатиков В.Н. Разработка нейро-нечеткой модели реактора-полимеризатора / Вестник экономической безопасности. 2020. № 5. С. 236–246. DOI 10.24411/2414–3995–2020–10329
4. Лопатин А.Г., Вент Д.П., Брыков Б.А. Синтез нейро-нечеткой модели кинетики процессов радикальной полимеризации / Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2020. № 7. С. 67–73.
5. Веревкин А.П., Калашник Д.В., Хуснияров М.Х. Моделирование оперативного определения индекса расплава для управления процессом производства полиэтилена / Башкирский химический журнал. 2013. № 1. — С. 69–74.
6. Брыков Б.А., Лопатин А.Г., Вент Д.П. Исследование нестационарности параметров промышленного реактора-полимеризатора на основе кинетической модели процесса радикальной полимеризации метилметакрилата / Успехи в химии и химической технологии. 2017. № 8 (189). — С. 10–12.
7. Гартман Т.Н., Советин Ф.С. Аналитический обзор современных пакетов моделирующих программ для компьютерного моделирования химико-технологических систем / Успехи в химии и химической технологии. 2012. № 11 (140). — С. 117–120.
8. Толстошеин С.С. Системы имитационного моделирования химико-технологических процессов. Исследование и анализ принципов построения / Клуб правильных инженеров. 2017. № 3. — С. 6–8.
9. Камынин В.А., Лопатин А.Г., Брыков Б.А. Робастно-адаптивная система автоматического регулирования температурного режима химического реактора / Успехи в химии и химической технологии. 2020. № 6 (229). С. 97–99.
10. Вент Д.П., Лопатин А.Г., Брыков Б.А., Камынин В.А. Синтез интеллектуального робастного регулятора системы автоматического управления температурой химического реактора / Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. № 12. — С. 523–529.

© Голодков Юрий Эдуардович (yrg27@mail.ru),

Руденко Максим Борисович (rudenko@inbox.ru), Колесников Алексей Андреевич (alexei1171@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»