

# Разработка методики активного эксперимента для идентификации динамических характеристик нелинейных объектов химической промышленности

Лоборева Л.А., Акиншева И.В., Дужик В.Т.

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств  
Могилевский государственный университет продовольствия  
Могилев, Республика Беларусь  
e-mail: starrina@mail.ru

**Аннотация**—Описание нелинейных объектов является сложной задачей. В докладе изложена методика проведения активного эксперимента с целью изучения динамики процесса поликонденсации. Даны рекомендации по идентификации модели реактора поликонденсации.

**Ключевые слова:** моделирование, активный эксперимент

## I. ВВЕДЕНИЕ

Качество продукции, выпускаемой предприятиями химической промышленности, зависит не только от характеристик сырья, но и от качества работы систем регулирования. Для оптимизации настроек действующих регуляторов и синтеза более современных систем регулирования необходимо наиболее полно описать объект регулирования. Существующие типовые модели неточно описывают реальные аппараты. Это связано с тем, что сложные химические процессы недостаточно изучены и протекают с множеством побочных реакций. Также со временем изменяются характеристики аппаратов из-за образования накипи, различных пленок на стенках. Типовые модели не учитывают распределение компонентов химических реакций вдоль аппаратов, их улетучивание и изменение концентрации в ходе процесса. Поэтому для более точного описания объектов нужно дополнительно исследовать их динамические характеристики. Идентификация модели объекта в пассивном эксперименте не вносит погрешность в нормальное течение технологического процесса, но ее достоверность низка и может привести к «расстройке» регуляторов. При недостаточности информации о динамике процессов наиболее применим активный метод исследования [1].

Таким образом, целью исследования является получение динамических характеристик объекта путем проведения активного эксперимента.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- выделить параметры, влияние которых на процесс является существенным;
- опираясь на технологический регламент производства, определить установившиеся значения параметров процесса;
- разработать методику проведения активного эксперимента;

– провести статистическую обработку результатов, полученных в ходе эксперимента.

Рассмотрим процесс поликонденсации полиэтилентерефталата (ПЭТФ) и получим его динамические характеристики.

## II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Предварительный анализ процесса поликонденсации ПЭТФ показывает, что основной выходной величиной, определяющей качество полимера, является степень полимеризации. Определить ее величину в ходе технологического процесса сложно. Параметром, измеряемым непосредственно в ходе технологического процесса, является вязкость. Степень полимеризации и вязкость характеризуют молекулярную массу полимера и являются параметрами взаимно пропорциональными. Исследуем вязкость в динамике, внося в процесс возмущения, согласно разработанной методике.

Управляющими параметрами в процессе поликонденсации являются температура и давление внутри реактора.

Перед проведением эксперимента составим структурную модель поликонденсационного реактора. Определим независимые каналы управления: канал регулирования давления внутри реактора путем изменения расхода азота и канал регулирования температуры путем изменения расхода паров динила. Для повышения качества полимера введен дополнительный канал коррекции значений температуры и давления с учетом концентрации карбоксильных групп в ПЭТФ.

Способ получения данных о динамике объекта путем изменения нагрузки реактора поликонденсации в условиях действующего технологического процесса недопустим.

Для проведения активного эксперимента возникает задача выбора формы тестового воздействия на объект исследования. Широко используются сигналы в форме «ступеньки» (скачка), прямоугольного импульса, линейно нарастающего сигнала, треугольного импульса, псевдослучайного двоичного сигнала, шума, отрезка синусоиды (частотный метод). Прямоугольный импульс имеет большую спектральную плотность в области высоких частот, чем скачок. При ограничении на энергию тестового сигнала это позволяет более точно выполнить идентификацию в высокочастотной области. Вторым достоинством прямо-

угольного тестового импульса является большое различие в реакции объектов первого и более высоких порядков, что позволяет улучшить идентифицируемость параметров моделей второго и более высоких порядков по сравнению с применением единичного скачка. После воздействия прямоугольного импульса система возвращается в первоначальное состояние, что уменьшает общее время эксперимента по сравнению с единичным скачком. Тестовое воздействие должно иметь достаточно малую амплитуду, чтобы переходный процесс в объекте оставался в границах линейности. В то же время оно должно быть достаточно большим, чтобы увеличить отношение сигнала к шуму и внешним возмущениям. Перед подачей тестового воздействия объект должен находиться в установившемся состоянии и быть устойчивым. Если идентификация выполняется без остановки технологического процесса, то могут существовать ограничения на максимальную мощность, длительность или энергию тестового сигнала, чтобы не нарушать нормальный ход технологического процесса [2].

В качестве тестового сигнала выбрана серия прямоугольных импульсов амплитудой  $0,5K$ ,  $-K$ ,  $1,5K$ . Величина амплитуды  $K$  определялась по допустимым отклонениям регулируемых величин (температуры и давления) согласно технологическому регламенту. Перед началом эксперимента установлен рабочий режим в реакторе поликонденсации, стабилизированы источники возмущений и проверено включение измерительных и регистрирующих приборов. Тестовый сигнал подается резким изменением положения регулирующего органа через исполнительный механизм по каждому из независимых каналов отдельно. Запись показаний проводится самописцами синхронно через равные интервалы времени. Проведены серии из 10 опытов для каждого канала.

При проведении эксперимента сохранялось единство времени для всех исследуемых переменных процесса поликонденсации, а также равенство временных интервалов, через которые производилась запись значений переменных.

Обработка экспериментальных данных проведена методом усреднения по формуле [3]

$$\bar{y}(t) = \frac{1}{n} \sum_{\beta=1}^n y_{\beta}(t),$$

где  $y_{\beta}(t)$  – выходная величина;  $n$  – количество повторений эксперимента.

Графики, полученные после усреднения данных эксперимента, приведены на рис. 1.



а) график изменения вязкости в реакторе основной поликонденсации;  
б) график изменения расхода паров динила в реакторе основной поликонденсации

Рис. 1. Графики изменения выходной величины при внесении возмущений заданной амплитуды

Трудность при идентификации нелинейных объектов состоит в выборе типа уравнений математической модели, которыми аппроксимируются полученные характеристики.

Для нелинейных динамических объектов методы идентификации делятся на две основные группы:

- методы, основанные на линеаризации математического описания объекта;
- методы, в которых модель объекта рассматривается как существенно нелинейная.

Наиболее полно развиты методы, основанные на линеаризации объектов. Простота и достаточная в ряде случаев точность обеспечили их преимущественное развитие. Однако рассмотрение объектов в линейном приближении является недостаточным. Данное положение касается и поликонденсационных процессов.

Таким образом, возникают две задачи:

- 1) выбор вида аппроксимирующих функций;
- 2) выбор их параметров.

При этом стремятся получить желаемую степень близости. Обычно этот вопрос решают исходя из технических возможностей в каждом конкретном случае. Коэффициенты определяются таким образом, чтобы получить наилучшую аппроксимацию.

Наиболее подходящим методом идентификации, учитывающим рассматриваемые особенности объекта управления, является идентификация с использованием функциональных рядов Вольтерра.

Ввиду существенной нелинейности процесса его идентификация происходит с большими погрешностями. Указанное обстоятельство ведет к необходимости разработки специальных методов регуляризации.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика проведения активного эксперимента для исследования динамики процесса поликонденсации, в результате реализации которой были получены графики динамических характеристик процесса.

Построение математических моделей с использованием экспериментальных данных дает более точный результат моделирования, чем использование аналитических моделей в виде дифференциальных уравнений. Определяемые динамические характеристики содержат сведения о нелинейных свойствах процесса поликонденсации.

Использование в качестве аппроксимирующих функций рядов нелинейной структуры приводит к построению математической модели процесса поликонденсации, обладающей переменными настройками. Разработанный математический аппарат дает предпосылки для синтеза адаптивной системы управления процессом.

- [1] Крассовский, Г.И. Планирование эксперимента / Г.И. Крассовский, Г.Ф. Филаретов. – Мн.: Изд-во БГУ, 1982
- [2] Балакирев В.С. Математическое описание объектов управления в химической промышленности / В.С. Балакирев. – М.: Московский институт химического машиностроения, 1974. – 130 с.
- [3] Пупков К.А. Статистическая динамика систем автоматического управления / К.А. Пупков. Учеб. пособие Моск. гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. – 159 с.