

## РАЗДЕЛ I. МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

УДК 62-503.51

### ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ХИМИКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

А.Г. Шумихин, А.С. Бояршинова, М.С. Орехов

Представлены результаты моделирования динамики химико-технологических систем на основе нейронных сетей. Обученная модель, представленная динамической нейронной сетью, позволяет моделировать поведение технологического объекта и идентифицировать передаточными функциями различные каналы возмущения и управления по результатам вычислительного эксперимента на этой модели, а также включать ее непосредственно в системы автоматического регулирования координат объекта управления.

**Ключевые слова:** химико-технологическая система, моделирование, нейронная сеть, идентификация, передаточная функция, автоматическое регулирование.

#### Введение

Сложные, автоматизированные на базе распределенных систем управления, химико-технологические системы характеризуются наличием большого числа переменных, влияющих на ход процессов, большим транспортным запаздыванием и сложными взаимосвязями различных величин, которые трудно описать аналитически. Для синтеза систем автоматического регулирования технологических параметров сложных химико-технологических систем (СХТС) необходимо определить динамические характеристики различных каналов влияния. Зачастую проведение активного эксперимента для определения динамических характеристик на действующем сложном технологическом объекте затруднительно физически или из соображений промышленной безопасности, а результаты пассивного эксперимента (наблюдения), при обработке методами классической теории управления, не всегда получаются удовлетворительными.

Примером такой СХТС, в которой необходимо стабилизировать на заданном значении с возможно высокой точностью содержание примеси в готовом продукте на ее выходе, является установка гидроочистки дизельного топлива (ДТ) от соединений серы нефтеперерабатывающего предприятия. В состав технологической схемы установки

входят реакторный блок, блок стабилизации гидрогенизата, блок очистки циркулирующего водородосодержащего газа и углеводородного газа от сероводорода, блок регенерации моноэтаноламина, блок защелачивания отгона.

Регулирование содержания серы, измеряемого автоматическим анализатором, осуществляется путем изменения температуры нагрева неочищенного дизельного топлива поступающего на установку. Основными контролируемыми возмущениями, которые должна компенсировать система регулирования серосодержания в готовом дизельном топливе, являются расход ДТ на установку, концентрация водород содержащих газов (ВСГ), расход ВСГ, давление ВСГ. Суммарное запаздывание по каналу управления содержанием соединений серы составляет около полутора часов, запаздывание по каналам возмущений такого же порядка и меньше. Попытки идентифицировать на функционирующей установке динамику каналов управления и возмущений путем обработки трендов соответствующих технологических переменных экспериментально-статистическими методами не дали удовлетворительных результатов.

В связи с этим полученные на действующей установке тренды послужили основой для проектирования, с целью идентификации

динамики каналов содержание соединений серы – входные контролируемые переменные установки, динамической автокорреляционной нейронной сети [1]. Структура сети соответствует представленной на рисунке 1.

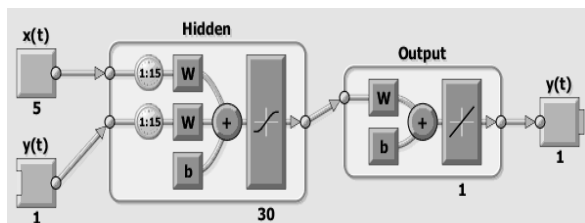


Рисунок 1- Принципиальная схема динамической автокорреляционной нейронной сети

Сеть имеет пять внешних входов, на которые подаются значения контролируемых переменных. На вход сети подается, также, значение содержания серы в выходном потоке ДТ. Время квантовано с заданным периодом дискретности. Сигналы, подаваемые на вход сети, соответствуют определенным дискретным моментам времени. В сети установлены задержки на 15 тактов, что обеспечивает влияние «исторических» данных с глубиной в 15 тактов на значение выходной величины. Сеть имеет 30 нейронов в скрытом слое. На выходе сеть выдает значения серо-содержания в выходном потоке. Точность прогнозирования содержания соединений серы в ДТ на выходе установки спроектированной динамической нейронной сетью оценивалась по значению коэффициента корреляции между тестовыми данными, измеренными автоматическим анализатором, и соответствующими результатами вычислений нейронной сетью. Значение коэффициента корреляции составляет 0.925.

Спроектированная нейронная сеть применена для исследования каналов объекта управления путем подачи на нейронную сеть аperiodических, периодических и случайных испытательных воздействий при проведении вычислительных экспериментов на нейронной сети. Кроме того, нейронная сеть может быть внедрена непосредственно в алгоритмы системы регулирования выходной переменной такого сложного объекта.

Таким образом, нейронная сеть позволяет моделировать поведение объекта в динамическом режиме и идентифицировать передаточными функциями различные каналы объекта известными типовыми методами. Разработаны способы регулирования технологических параметров объекта на основе нейросетевой модели (НС-модели). Нейронная сеть в этом случае используется как мо-

дель объекта, применяемая непосредственно в алгоритмах системы регулирования.

С целью получения однозначных и достоверных ответов о возможностях и целесообразности применения НС-моделей в задачах автоматизированного управления химико-технологическими системами в работе было предпринято исследование имитационной компьютерной модели динамики объекта управления на основе вычислительного эксперимента.

### Нейросетевое моделирование имитационного виртуального объекта управления.

В качестве модельного объекта управления взята математическая модель аппарата - смесителя открытого типа двух жидких потоков с различной концентрацией одного и того же компонента, концентрация которого на выходе аппарата регулируется изменением расхода одного из потоков. Стабилизация уровня жидкости в аппарате достигается путем устройства естественного перелива из зоны смешения. Принципиальная схема моделируемого объекта представлена на рисунке 2.

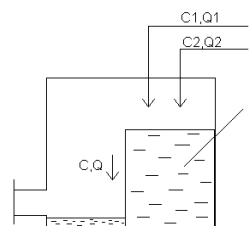


Рисунок 2- Принципиальная схема моделируемого объекта

Управляемой (регулируемой) переменной смесителя является концентрация  $C$  компонента на выходе, управляющей переменной - расход  $Q_2$  второго потока. На детерминированные переменные модели в эксперименте накладываются помехи, представляющие собой стационарные случайные процессы с нулевым математическим ожиданием и нормальным распределением. Создана нейронная сеть аппроксимирующая модель смесителя (НС-модель), работающего в динамических режимах. Сеть имеет четыре внешних входа, на которые подаются значения концентраций компонента и расходов входных потоков. На выход сети подается, также, значение концентрации компонента в выходном потоке. Время квантовано с заданным периодом дискретности. Сигналы, подаваемые на вход сети, соответствуют определенным дискретным моментам времени. В сети установлены задержки на 10 тактов, что

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

обеспечивает влияние «исторических» данных с глубиной в 10 тактов на значение выходной величины. Сеть имеет 10 нейронов в скрытом слое. На выходе сеть выдает значения концентрации компонента в выходном потоке. Обучающая последовательность формируется из представителей, являющихся решением системы дифференциальных уравнений модели и соответствующих ему значений входных величин.

**Идентификация каналов возмущений и управления имитационного объекта передаточными функциями по его НС - модели.**

В вычислительном эксперименте на имитационной компьютерной модели и НС - модели получены по всем исследуемым каналам экспериментальные переходные характеристики (кривые разгона). На рисунке 3 представлены графики соответствующих переходных характеристик по одному из каналов.

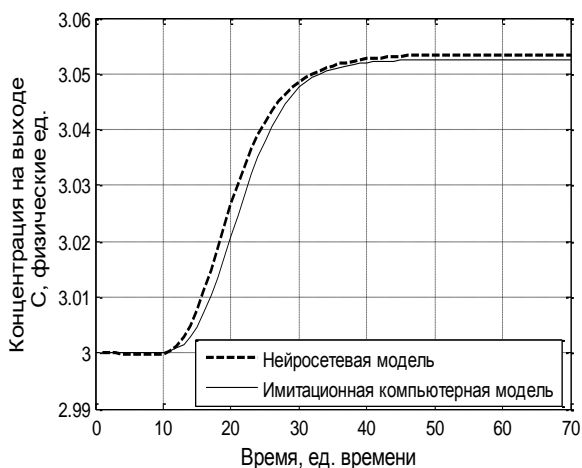


Рисунок 3- Пример переходных характеристик полученных на имитационном объекте и его НС - модели

Графики свидетельствуют об удовлетворительном соответствии нейросетевой и имитационной моделей. Максимальное значение относительной погрешности составляет 0,25%. Таким образом, НС - модель может быть использована для определения переходных характеристик и идентификации каналов объекта управления.

Путем проведения экспериментов на НС - модели объекта с подачей на соответствующие входы периодических или случайных испытательных воздействий можно получить динамические характеристики объекта, путем построения комплексной частотной характеристики (КЧХ). На рисунке 4 представлен пример КЧХ, полученной на НС - модели дей-

ствующего производственного объекта, которая может быть использована для получения передаточной функции канала или непосредственно для синтеза системы регулирования.

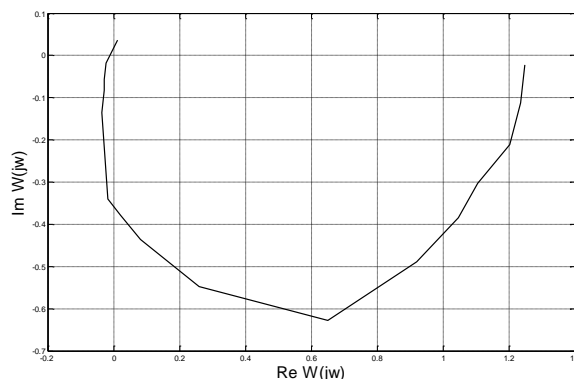


Рисунок 4- Пример частотной комплексной характеристики полученной на НС - модели промышленного объекта

**Нейросетевое регулирование выходного параметра имитационного объекта управления.**

Разработаны два способа регулирования выходного параметра объекта управления с использованием его НС - модели.

Первый способ заключается в нахождении для данного момента времени по НС - модели объекта, при известных (измеренных) значениях входных возмущений, любым из методов нелинейного программирования значения управляющего воздействия с последующей его реализацией на объекте.

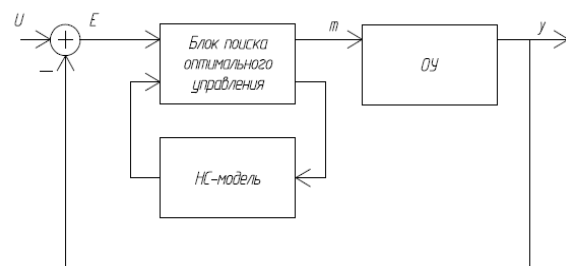


Рисунок 5- Принципиальная схема системы регулирования с использованием НС-модели объекта (способ 1)

Второй способ отличается от первого тем, что ошибка регулирования минимизируется типовой системой автоматического регулирования «по отклонению», с И-, ПИ- или ПИД- регулятором с коррекцией управления, вычисленного регулятором, на величину равную значению, вычисленному по первому способу. Понятно, что величина выходного сигнала собственно регулятора с И- составляющей в законе регулирования позволяет

## РАЗДЕЛ I. МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

свести ошибку регулирования к нулю. Т.е. второй способ позволяет свести ошибку регулирования к нулю, по определению.

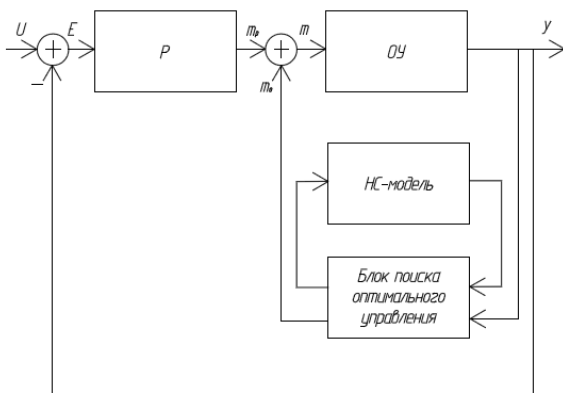


Рисунок 6- Принципиальная схема системы регулирования с использованием НС-модели объекта (способ 1)

На рисунке 7 представлены графики с результатами вычислительного эксперимента по исследованию предложенных систем и типовой системы регулирования (с ПИ-регулятором).

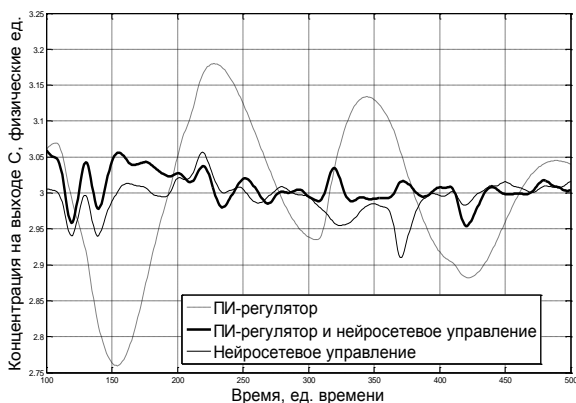


Рисунок 7- Процесс регулирования выходной переменной объекта управления в вычислительном эксперименте

На объект, имеющий различные запаздывания по каналам возмущений и управления, подаются случайные возмущения. Результаты эксперимента показывают, что при случайных отклонениях возмущающих воздействий от номинальных значений соответствующих параметров на входе смесителя до 30% выходная регулируемая величина объекта поддерживается системой регулирования (способ 1) с ошибкой, не превышающей в динамике 3% от заданного значения, а при отклонениях возмущающих воздействий от номинальных значений на входе смесителя до 20%, регулируемая величина поддерживается системой регулирования (способ 2), с

ошибкой, не превышающей 1,5% от заданного значения. Системой же регулирования только с ПИ-регулятором, имеющем оптимальные настройки [2], при случайных отклонениях возмущающих воздействий от номинальных значений соответствующих параметров на входе смесителя до 25% выходная регулируемая величина объекта поддерживается с ошибкой, до 8% от заданного значения,

Анализ результатов эксперимента показал, что при одинаковом характере изменения возмущающих воздействий на входе объекта наименьшую ошибку регулирования обеспечивает система с ПИ-регулятором и дополнительными компенсирующими воздействиями, рассчитанными по НС-модели.

### Вывод

Методом вычислительного эксперимента на имитационной модели многовходового объекта управления исследован способ идентификации каналов объекта с помощью его динамической НС - модели. Исследованы так же два оригинальных способа управления (регулирования) выходной координаты объекта, основанные на применении обученной многовходовой НС - модели динамики объекта для расчета значения управляющего воздействия, позволяющего компенсировать возмущения на его входе. Сравнительный анализ результатов вычислительного эксперимента на имитационной модели объекта управления показал, что НС - модель объекта позволяет адекватно описать динамику объекта и может быть использована для проведения экспериментов по идентификации каналов возмущения и управлению. НС - модель может быть применена также непосредственно в алгоритмах систем регулирования выходных координат объекта управления. Предложенные способы позволяют поддерживать выходную координату объекта на заданном значении с максимальной динамической ошибкой в несколько раз меньшей, чем ошибка типовой системы регулирования «по отклонению» с ПИ-регулятором.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Neural network toolbox. Product documentation. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.mathworks.com/help/toolbox/nnet/>
2. Ротач В.Я. Теория Автоматического управления теплоэнергетическими процессами. [Текст] /В.Я. Ротач/ - Москва: Изд-во Энергоатомиздат, 1985.-291.

магистрант **Бояршинова А.С.** тел. 8-982-471-66-97, [atp@pstu.ru](mailto:atp@pstu.ru) - каф. АТП Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3/2, 2012