

# Моделирование и идентификация блока подогрева сырой нефти на установках ее первичной переработки с использованием динамической нейронной сети

А. О. Колыхматов<sup>1</sup>, А. Г. Шумихин<sup>2</sup>, О. А. Андриевский<sup>3</sup>

ФГОУ ВО Пермский национальный исследовательский политехнический университет

<sup>1</sup>kolykhmatovao@gmail.com, <sup>2</sup>atp@pstu.ru, <sup>3</sup>kafedra@at.pstu.ru

**Аннотация.** В работе представлены результаты идентификации каналов передачи информации блока подогрева сырой нефти установки АВТ нефтеперерабатывающего предприятия, представляющего собой систему теплообменников с применением динамической нейронной сети. Обученная нейронная сеть позволяет моделировать динамику технологического объекта (тренды изменения технологических параметров) и идентифицировать его с применением методов активного эксперимента на нейронной сети передаточными функциями.

Полученные передаточные функции каналов передачи “температура сырой нефти – расход управляемых потоков нефти” и “температура сырой нефти – возмущающие воздействия”, найденные при идентификации блока теплообмена, использованы для построения математической модели блока подогрева, предназначенной для решения задачи оптимизации динамических режимов системы теплообмена.

В докладе рассмотрены результаты решения задачи идентификации и моделирования блока подогрева сырой нефти установки АВТ.

**Ключевые слова:** нефтепереработка; установка АВТ; система теплообмена; управление; моделирование; идентификация; нейронная сеть

## I. ВВЕДЕНИЕ

Современные установки первичной переработки нефти являются, как правило, сложным, дорогостоящим и высокотехнологичным производственным комплексом. На данных установках существенную роль играет блок теплообмена подогрева сырой нефти, позволяющий рекуперировать тепло продуктов нефтепереработки. К одним из проводимых мероприятий на установках АВТ относится модернизация блока теплообмена и совершенствование системы управления.

Моделирование и компьютерные эксперименты с математической моделью блока теплообмена являются эффективным средством разработки системы управления, позволяющим оценить альтернативные структуры и законы управления, рассмотреть поведение управляемого

объекта во внештатных ситуациях. Это требует, в свою очередь, разработки методик моделирования динамических режимов системы теплообмена с учетом запаздывания в «каналах» возмущающих и управляющих воздействий [1–3]. Важную роль для системы теплообмена играет управление распределением потоков сырой нефти. Создание эффективной системы управления осуществляется на основе результатов моделирования динамики системы теплообмена, описываемой в форме уравнений пространства состояний.

## II. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Объектом исследования является блок теплообмена установки первичной переработки нефти нефтеперерабатывающего предприятия [4–5]. Блок теплообмена включает в себя 3 регулируемых потока сырой нефти, 10 потоков теплоносителей и 25 теплообменников, связанных между собой как параллельно, так и последовательно. Структурная схема блока теплообмена показана на рис. 1.

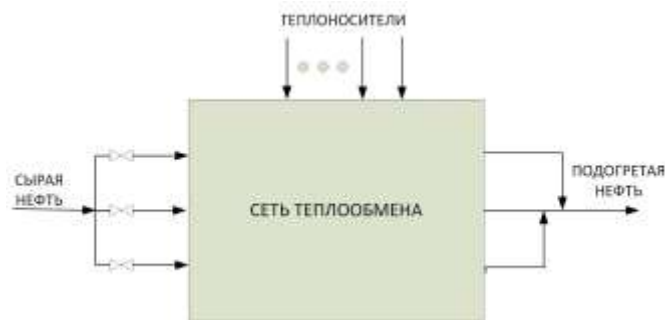


Рис. 1. Структурная схема блока теплообмена

Для идентификации системы теплообмена была построена динамическая нейронная сеть. Использована модель нелинейной авторегрессии с внешними входами [6–7]. Нейронная сеть имеет 23 внешних входа и 3 выхода. На вход нейронной сети подаются также ее выходы на предыдущих тактах в количестве, равном 10 тактам. Число

нейронов в скрытом слое – 6. Выходами нейронной сети являются температуры потоков сырой нефти на выходе из блока теплообмена. Коэффициент корреляции между данными «выгруженными» из АСУ реальной установки и данными, полученными на обученной нейронной сети, позволяет оценить точность прогнозирования температуры потоков на выходе блока теплообмена. Значение коэффициента корреляции лежит в диапазоне 0,954-0,983.

Для оценки точности полученной НС проведен вычислительный эксперимент. Для этого с реальной установки взята новая выборка данных (рис. 2), на основе которой проведен эксперимент на НС. Результат расчетов сравним с данными из выгруженных выборок. На рис. 3 представлены результаты тестирования НС. С такой же точностью получены результаты и по другим каналам «вход-выход» объекта управления.

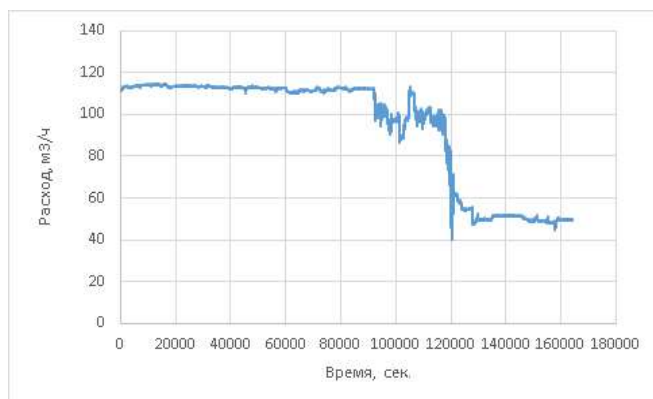


Рис. 2. Изменение 1 потока нефти на реальной установке

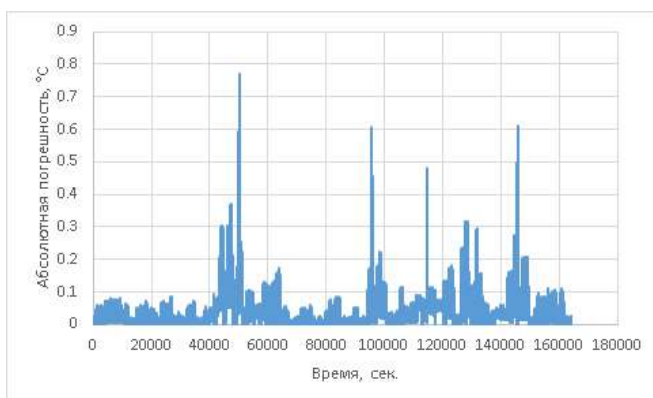


Рис. 3. Абсолютная погрешность прогнозирования НС температуры 1 потока нефти

С целью идентификации объекта на обученной нейронной сети, проведен эксперимент по определению частотных характеристик каналов «вход-выход». Входной синусоидальный сигнал реализован в диапазоне частот  $\omega$ , равном 0,002-0,065 сек<sup>-1</sup>, с шагом 0,005. Полученная для канала (расход 1-го потока нефти) температура на выходе 1-го потока нефти, комплексная частотная характеристика (КЧХ), представлена на рис. 4.

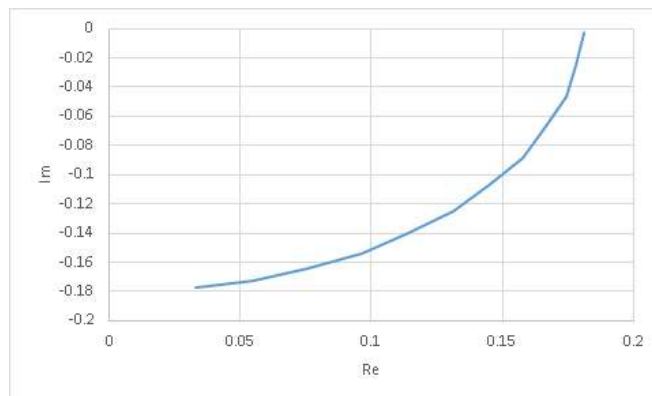


Рис. 4. Экспериментальная КЧХ по каналу расход 1-го потока нефти – температура на выходе 1-го потока нефти

Составлено выражение для аппроксимирующей комплексной частотной характеристики второго порядка по каналам «вход-выход»

$$W^{Ap}(j\omega_v) = \frac{\kappa_{ob}}{(T_1 j\omega_v + 1)(T_2 j\omega_v + 1)} e^{-j\omega_v \tau},$$

приведенное к виду:

$$W^{Ap}(j\omega_v) = \operatorname{Re}^{Ap}(\omega_v) + j \operatorname{Im}^{Ap}(\omega_v), v = \overline{1, N}. \quad (1)$$

Полученная на основе выражения (1) для аппроксимирующей КЧХ и координат точек экспериментальной КЧХ (Рис.4) передаточная функция по каналу, расход 1-го потока нефти – температура на выходе 1-го потока нефти, имеет вид:

$$w_1(s) = \frac{y_1(s)}{u_1(s)} = \frac{0,18}{10s^2 + 13,1s + 1} e^{-25s}. \quad (2)$$

Функция содержит запаздывание, что затрудняет её непосредственное использование в классических алгоритмах оптимизации динамических процессов. Передаточная функция для чистого запаздывания аппроксимирована разложением её в ряд Паде 3-го порядка. В результате получена передаточная функция, аппроксимирующая функцию (2), имеющая вид:

$$W_{1P}(s) = \frac{-0,18s^3 + 0,0864s^2 - 0,01728s + 0,001382}{10s^5 + 17,9s^4 + 8,248s^3 + 1,814s^2 + 0,1966s + 0,00768}. \quad (3)$$

Для решения задач синтеза с использованием цифрового компьютера полученные модели целесообразно представить в общем виде в форме уравнений пространства состояний:

$$\begin{array}{c} \bullet \\ \longrightarrow \end{array} \begin{array}{c} \longrightarrow \longrightarrow \longrightarrow \longrightarrow \longrightarrow \end{array} \quad (4)$$

$$x = A x + B u, \quad y = C x + D u$$

Ниже в матричной форме представлены коэффициенты системы (4), соответствующие коэффициентам передаточной функции (3):

$$A_1 = \begin{bmatrix} -1.79 & -0.8248 & -0.1814 & -0.0786 & -0.049 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0625 & 0 \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$$B_1 = [0.025 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0];$$

$$C_1 = [0 \ 0 \ -0.072 \ 0.035 \ -0.0276 \ 0.0354];$$

$$D_1 = 0.$$

На рис. 5 представлен график переходных характеристик по каналу «вход-выход» объекта для моделей (2)–(4). На графиках видно, что модели практически одинаково эмулируют реакцию каналов передачи на ступенчатое возмущение.

### III. ВЫВОД

Таким образом, в работе исследована возможность применения нейронной сети для решения задачи идентификации моделей процессов блока теплообмена. Представлены результаты определения динамических характеристик блока теплообмена. Получены передаточные функции по каналам расходов потоков нефти, поступающей в блок теплообмена, и температуры подогретой нефти, преобразованные для целей синтеза системы управления в форму уравнений пространства состояний.

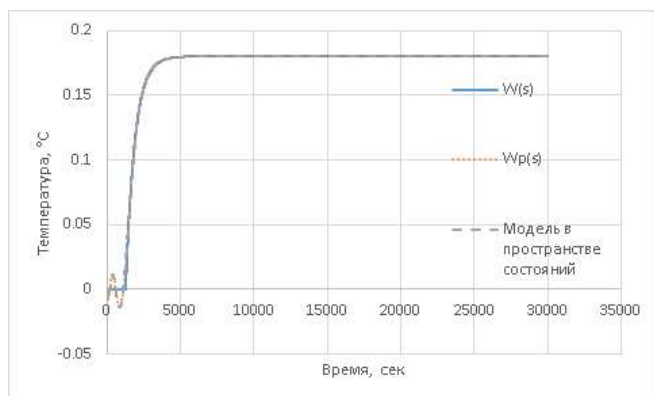


Рис. 5. Пример переходных характеристик, полученных для 1-го потока нефти с помощью передаточных функций (2), (3) и решения системы уравнений (4) с коэффициентами (5)

В автоматизированной системе управления установки АВТ имеется возможность обновления по исследуемой методике параметров передаточных функций с минимальным периодом дискретности, равным 60 секундам. Это позволяет, вследствие значительной инерционности блока теплообмена как объекта управления, путем адаптации моделей оперативно компенсировать и неконтролируемые возмущения в системе, влияющие на значения параметров передаточных функций.

Результаты исследования, представленные в данной работе, предназначены для решения задачи синтеза алгоритмов оптимального управления потоками сырой нефти. Разработка позволит повысить эффективность работы установки АВТ за счет увеличения степени рекуперации тепла отходящих с установки потоков обращающихся продуктов, что в свою очередь позволяет снизить расход природного газа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бояринов А.И. Методы оптимизации в химической технологии: учебное пособие для вузов / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров. Москва: Химия, 1969.
- [2] Кафаров В.В. Анализ и синтез химико-технологических систем: учебник для вузов / В.В. Кафаров, В.П. Мешалкин. Москва: Химия, 1991.
- [3] Гартман Т.Н. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: учебное пособие для вузов / Т.Н. Гартман, Д.В. Клущин. М.: Академкнига, 2006.
- [4] Колыхматов А. О. Алгоритм оптимизации в задаче управления блоком подогрева сырой нефти на установке АВТ нефтеперерабатывающего предприятия с его актуализацией в компьютерно-тренажерном комплексе / А.О. Колыхматов, А.Г. Шумихин // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. 2015. № 3. С. 39-48.
- [5] Колыхматов А.О. Оптимизация блока подогрева сырой нефти на установке АВТ при выводе некоторых теплообменников на ремонт / А.О. Колыхматов, А.Г. Шумихин // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. 2016. № 3. С. 20-27.
- [6] Шумихин А.Г. Идентификация сложного объекта управления по частотным характеристикам, полученным экспериментально на его нейросетевой динамической модели / А.Г. Шумихин, А.С. Бояршинова // Автоматика и телемеханика. 2015. № 4. С. 125-134.
- [7] Шумихин А.Г., Бояршинова А.С. Параметрическая идентификация управляемого объекта в режиме его эксплуатации с применением технологии нейронных сетей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2016. № 19. С. 102–110.