

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А. Р. ВАГАПОВА<sup>1</sup>, А. И. АБДУЛНАГИМОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>vagapovaar@modeltech.ru, <sup>2</sup>abdulnagimov@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

**Аннотация.** Рассматривается проблема моделирование процесса адсорбции, регенерации и охлаждения. Описана методика построения модели массообменных процессов на примере одного адсорбера с применением нейронных сетей. Проведено исследование точности и адекватности полученной модели. Сделан вывод об эффективности применения нейронных сетей при моделировании массообменных процессов.

**Ключевые слова:** адсорбер; нейронная сеть; регенерация; охлаждение; обучение; тестирование.

Сегодня внедрение интеллектуальных моделей контроля и диагностики в системы диспетчеризации и управления является важной задачей, они позволяют автоматизировано или автоматически контролировать, управлять работой предприятия, завода или какого-либо технологического процесса.

В работе описывается методика моделирования массообменных процессов (адсорбции, регенерации и охлаждения) на основе искусственных нейронных сетей прямого распространения. Частично задача была решена в работе [1].

Адсорбция является распространенным методом, позволяющим практически полностью извлечь примесь из газовой или жидкой среды [2]. Моделирование является основным этапом в процессе разработки, тестировании и эксплуатации установок адсорбции. Наличие адекватной математической модели позволяет повысить эффективность работы установок адсорбции, своевременно предупреждать о наличии неисправностей и прогнозировать состояния отказов [3].

На рис. 1 представлен технологический процесс адсорбции с показателями: 510ТТ05\_1 – температура (°С) на входе в адсорбер А01; 510FT02\_1 – расход газа (нм<sup>3</sup>/ч), 510РТ29\_1 – давление на входе в адсорбер (МПа); 510РТ14\_1 – давление внутри адсорбера (МПа); 510ТТ06\_1 – температура (°С) на выходе из адсорбера; В3-1, В7-1 и В5-1 состояние кранов (открыт – 1, закрыт – 0), регулирующих поток газа для процесса адсорбции. 510FT03\_1 – расход газа адсорбции и охлаждения(нм<sup>3</sup>/ч). А2-1, А4-1 – состояние кранов (открыт – 1, закрыт – 0), регулирующих поток газа регенерации. А3-1, А5-1 и А5-а1 – состояние кранов (открыт – 1, закрыт – 0), регулирующих поток газа при охлаждении адсорбера. Ниже приведена методика создания нейросетевой модели процессов адсорбции, регенерации и охлаждения на примере одного адсорбера.

1. *Импорт и обработка данных для обучения (устранение шумов).* Исходные данные потока газа регенерации представлены на рис. 2.

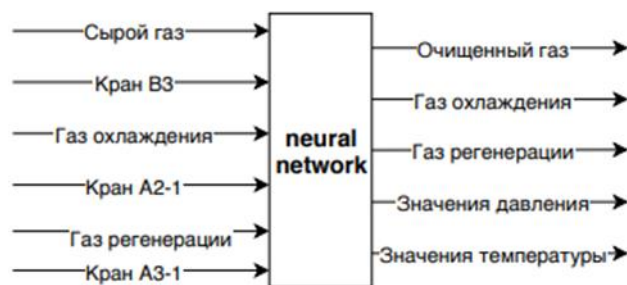
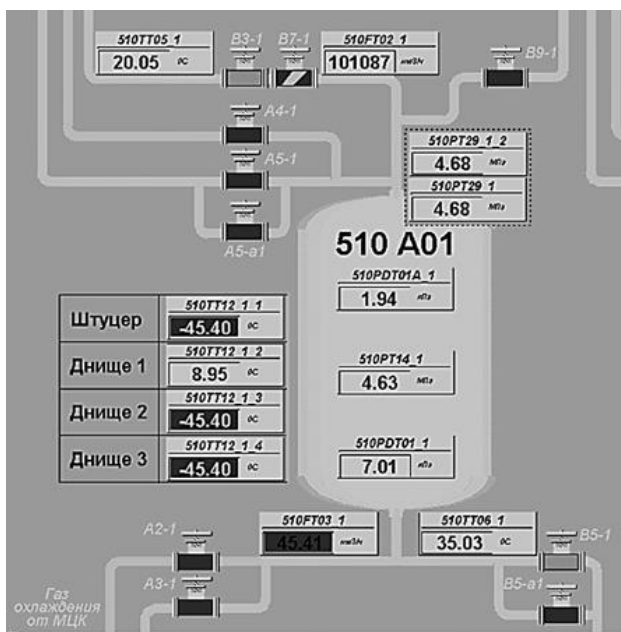


Рис. 1. Схема процесса адсорбции: а – технологический процесс; б – нейросетевая модель

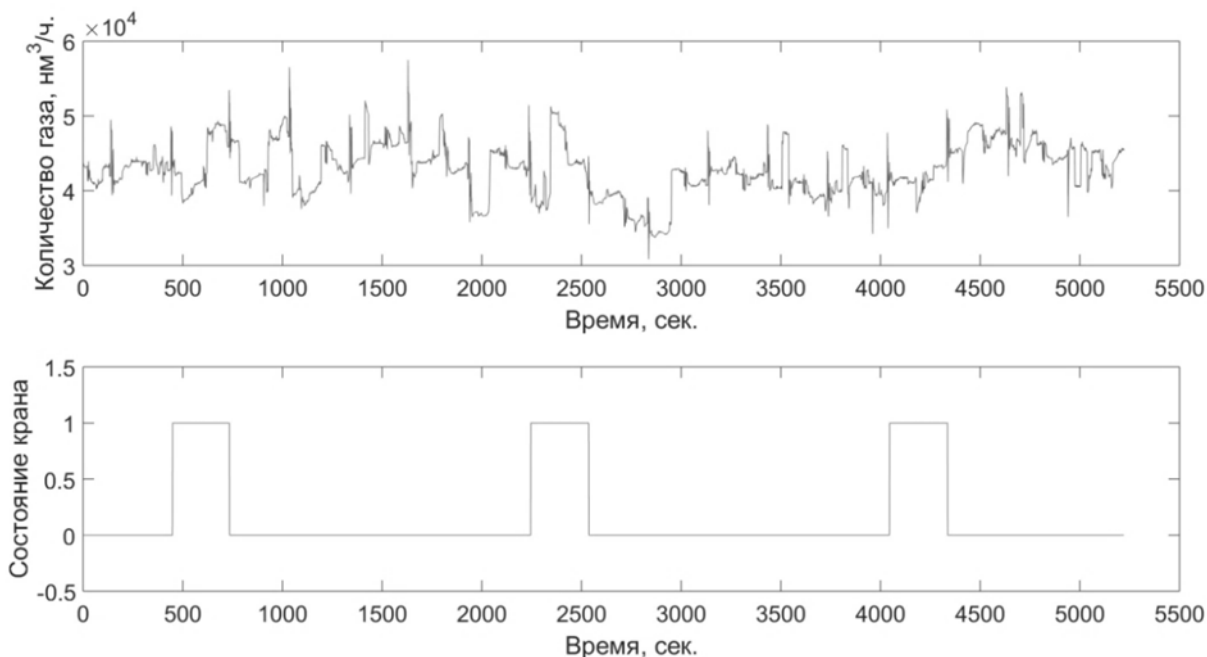


Рис. 2. Фрагмент обучающей выборки (газ регенерации)

2. *Настройка сети.* С целью достижения наилучшего результата обучения необходимо: уменьшить весовые коэффициенты, нормализовать сеть, распределить число нейронов между слоями сети. Для обучения используется нейронная сеть прямого распространения (feedforwardnet) со следующей структурой. Слои: входной (10 нейронов), выходной (2 нейрона). Функция активации:

сигмоидная функция в виде гиперболического тангенса. Используется алгоритм Левенберга-Марквардта. Согласно методу Левенберга-Марквардта при поиске направления для очередного приближения используется корректирующий множитель. Направление находится по формуле:

$$p^s = (J^t J + \lambda D)^{-1} \Delta f(\beta^s),$$

где  $D$  – диагональная матрица, у которой главная диагональ совпадает с главной диагональю матрицы  $J^t J$ .  $\beta^s$  – приближение функции  $S$  в точке  $\beta$ . Множитель Марквардта  $\lambda$  пересчитывается на каждой итерации метода, причем он уменьшается при сильном уменьшении целевой функции и увеличивается при недостаточном уменьшении либо невозможности уменьшения целевой функции. Пересчет длины шага методом линейного поиска происходит лишь при невозможности уменьшить целевую функцию. При этом множитель Марквардта также меняется (в сторону увеличения). Если пять последовательных итераций не привели к уменьшению целевой функции, то алгоритм заканчивает работу.

3. *Обучение сети.* После 400 итераций обучения точность модели достигла

0,9626. Минимальный градиент составил  $1,810e+03$ , среднеквадратическая ошибка – 0,0394. Время обучения – 55 секунд (рис. 3).

4. *Тестирование модели.* Для проверки адекватности модели на другой набор входных данных был проведен эксперимент:

– фрагмент входных данных расхода газа был уменьшен в промежутке от 2500 до 3700 по временной шкале;

– изменен фрагмент данных положения крана в состоянии на «выключено» в промежутке от 1000 до 1700 по временной шкале;

– уменьшен фрагмент данных процесса регенерации в промежутке от 2000 до 2250 по временной шкале;

– уменьшен фрагмент данных процесса охлаждения в промежутке от 4000 до 4350 по временной шкале.

Смоделированные данные наложены на фактические. Значение точности модели – 0,9626 подтверждается рисунком 3, на котором отражена идентичность целевых и модельных данных. Полученный показатель точности отражает высокую эффективность применения нейронных сетей для моделирования массообменных процессов. Модель также подтвердила свою работоспособность с учетом измененных фрагментов входных данных (рис. 4).

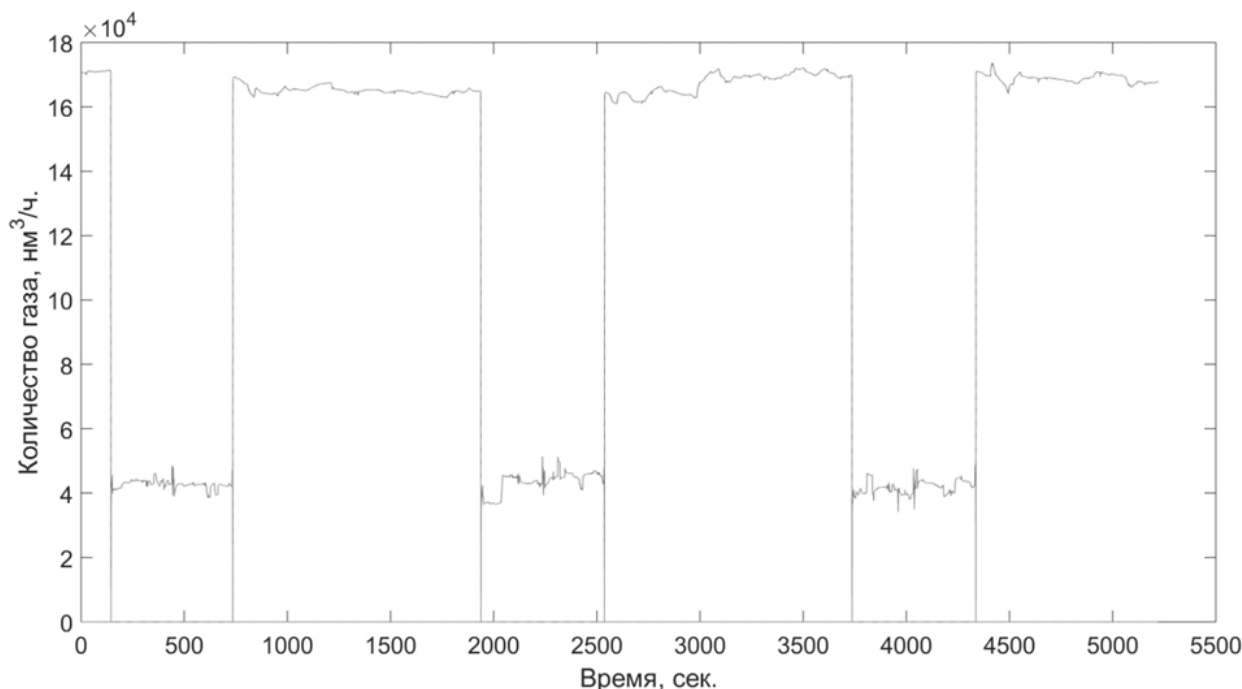
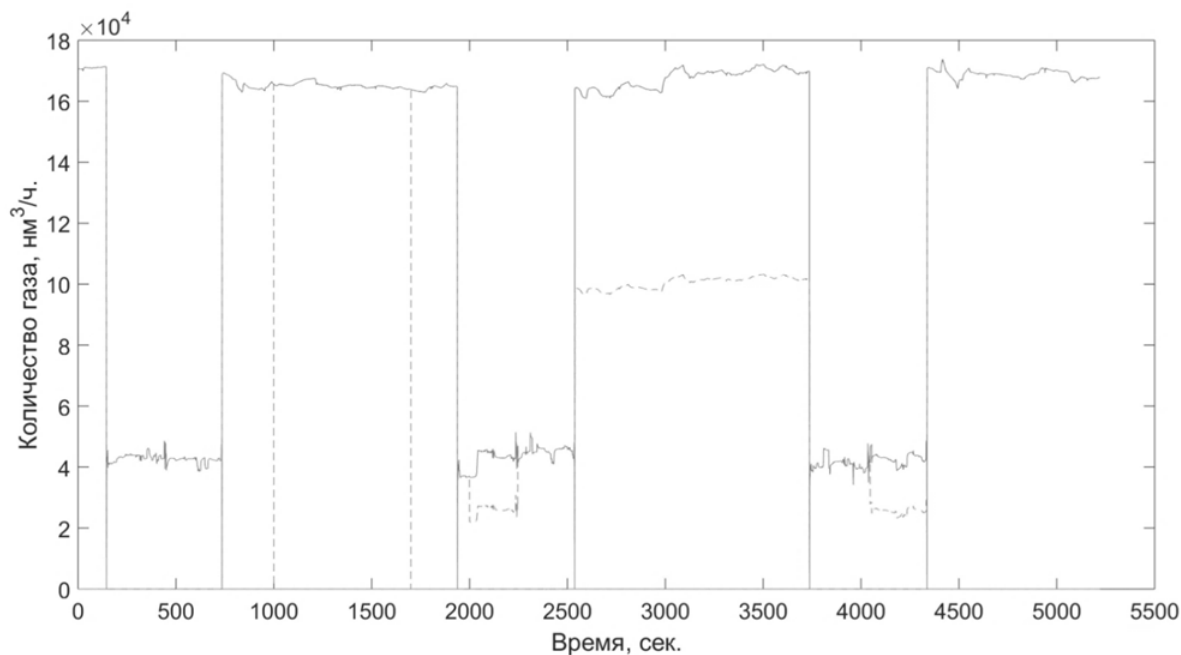


Рис. 3. Оценка работы второй модели: модельные (пунктирная линия) и реальные (непрерывная линия) данные



**Рис. 4.** Тестирование нейросетевой модели: модельные данные (пунктирная линия), реальные данные (непрерывная линия)

На основании проведенного исследования сделан вывод об эффективности применения нейронных сетей в ходе моделирования массообменных процессов. Доказана работоспособность и адекватность модели при тестировании. Достигнутый показатель точности модели свидетельствует о высокой эффективности работы нейронной сети при моделировании.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагапова А.Р. Применение нейронных сетей в задачах моделирования массообменных процессов в нефтегазовой сфере // «Мавлютовские чтения». Уфа: УГАТУ, 2019. Том 5. С. 177–181. [A.R. Vagapova The use of neural networks in the problems of modeling mass transfer processes in the oil and gas sector // «Мавлютовские чтения». Ufa: USATU, 2019. Vol. 5. P. 177-181.]
2. Матвейкин, В.Г. Математическое моделирование и управление процессом короткоциклового безнагревной адсорбции // В.Г. Матвейкин, В.А. Погонин, С.Б. Путин, С.А. Скворцов. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2007. – 140 с. – 400 экз. – ISBN 978-594275-327-6. [G.V. Matveykin, V.A. Pogonin, S.B. Putin, S.A. Skvortsov «Математическое моделирование и управление процессом короткоциклового безнагревной адсорбции». Moscow: «Издательство Машиностроение-1», 2007.]
3. Самигуллина Г. А. Обзор современных подходов искусственного интеллекта для систем управления сложными объектами // Г. А. Самигуллина, Т. И. Самигуллин. – «Проблемы информатики», 2018. – № 3. – С. 45–51. [G.A. Samigullina. T.I. Samigullin «Обзор современных подходов искусственного интеллекта для систем управления сложными объектами». – «Проблемы информатики», 2018. – № 3. – P. 45-51.]

4. Demuth H. Beale M. Neural Network Toolbox User's Guide For Use with MATLAB // [Электронный ресурс]. – URL: [http://cda.psych.uiuc.edu/matlab\\_pdf/nnet.pdf](http://cda.psych.uiuc.edu/matlab_pdf/nnet.pdf) (дата обращения: 10.01.2020). [H. Demuth, M. Beale (2020, Jan. 10). Neural Network Toolbox User's Guide For Use with MATLAB Available: [http://cda.psych.uiuc.edu/matlab\\_pdf/nnet.pdf](http://cda.psych.uiuc.edu/matlab_pdf/nnet.pdf)].

#### ОБ АВТОРАХ

**ВАГАПОВА Алина Рамилевна**, магистрант кафедры АСУ

**АБДУЛНАГИМОВ Ансаф Ирекович**, канд. техн. наук, доцент кафедры АСУ.

#### METADATA

**Title:** Development of a model of mass-exchange processes with application of neural networks

**Authors:** A. R. Vagapova<sup>1</sup>, A. I. Abdunagimov<sup>2</sup>

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:**<sup>1</sup> vagapovaar@modeltech.ru, <sup>2</sup> abdulnagimov@yandex.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (22), pp. 26-29, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** The problem of modeling the process of adsorption, regeneration and cooling is considered. A methodology for constructing a model of mass transfer processes using an example of an adsorber using neural networks is described. The conclusion is drawn on the effectiveness of the use of neural networks in the modeling of mass transfer processes.

**Key words:** adsorber, neural network, regeneration, cooling, training, testing.

**About authors:**

**VAGAPOVA, Alina Ramilevna**, undergraduate (USATU, 2020).

**ABDULNAGIMOV, Ansaif Irekovich**, Dr. of Tech. Sci. (UGATU, 2012.).