

УДК 66.081.6

DOI: 10.17277/voprosy.2015.02.pp.178-183

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

**А. М. Акулинчев, О. А. Абоносимов,
С. И. Лазарев, Д. О. Абоносимов**

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент канд. техн. наук, профессор В. Г. Мокрозуб

Ключевые слова: виртуальные тренажеры; мембрана; обратный осмос; среда моделирования; сточные воды.

Аннотация: Представлена актуальность и разработка виртуального тренажера, имитирующего обратноосмотическую установку, предназначенную для изучения основных кинетических закономерностей обратноосмотического разделения промышленных сточных вод. Сформулированы основная задача, функции и перспектива дальнейшего развития разработанного тренажера.

В настоящее время для очистки промышленных сточных вод все чаще применяются мембранные методы. Для их реализации разработаны обратноосмотические аппараты с различными разделительными элементами – аппараты плоскокамерного типа, с рулонными, трубчатыми элементами, аппараты с полыми волокнами с широким диапазоном варьирования технологических параметров.

Для очистки сточных вод определенного состава и концентраций необходимы экспериментальные исследования обратноосмотического разделения в целях определения основных кинетических характеристик и технологических параметров проведения процесса. Не всегда можно реализовать исследования на реальных аппаратах по причине их отсутствия.

Акулинчев Андрей Михайлович – аспирант кафедры «Прикладная геометрия и компьютерная графика»; Абоносимов Олег Аркадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная геометрия и компьютерная графика», e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru; Лазарев Сергей Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная геометрия и компьютерная графика»; Абоносимов Дмитрий Олегович – аспирант кафедры «Прикладная геометрия и компьютерная графика», ТамбГТУ, г. Тамбов.

Поэтому существует необходимость в разработке виртуальных тренажеров, имитирующих реальные обратноосмотические аппараты.

Разработку таких тренажеров позволяет выполнять интенсивное развитие аппаратных и программных средств компьютеризации и связанное с ним распространение информационных технологий в различных областях техники. Виртуальный тренажер представляет собой современное средство обучения, дающее в наглядной форме представление об объекте исследования и работе с ним без непосредственного контакта с объектом. При работе на виртуальном тренажере у человека-оператора происходит формирование и совершенствование профессиональных навыков и умений, необходимых ему для управления материальным объектом, путем многократного выполнения обучаемым действий, свойственных управлению реальным объектом.

Обзор методов моделирования деятельности системы «человек–оператор» показал, что при разработке виртуальных тренажеров для обучения и тренинга операторов систем очистки воды, наиболее целесообразным является применение методов имитационного моделирования. Метод основан на имитации воздействия случайных факторов на деятельность оператора и функционирование системы «человек–машина» (СЧМ) непосредственно в ходе моделирования. Аналогом для разработки виртуального тренажера использовалась лабораторная обратноосмотическая установка плоскокамерного типа [1, 2]. На рисунках 1, 2 представлены схема установки и 3D-модель ее рабочей части – обратноосмотическая ячейка.

Ячейка состоит из опорной пластины со штуцерами для подвода исходного раствора и отвода ретентрата, двух фланцев-пластин со штуцерами для отвода пермеата. Мембрана накладывается на ватман, вырезанный по ее размеру, а ватман – на пористую подложку из нержавеющей стали, которая далее помещается на фланец-пластину. С другой стороны пластины собирается точно такая же конструкция, и затем фланцы пластины стягиваются болтами. Таким образом, ячейка имеет две камеры с единым подводом раствора. Поэтому одновременно можно проводить исследования с двумя типами мембран в ячейке. Разделительная ячейка работает в проточном режиме, а в целом установка – в режиме с замкнутой циркуляцией раствора.

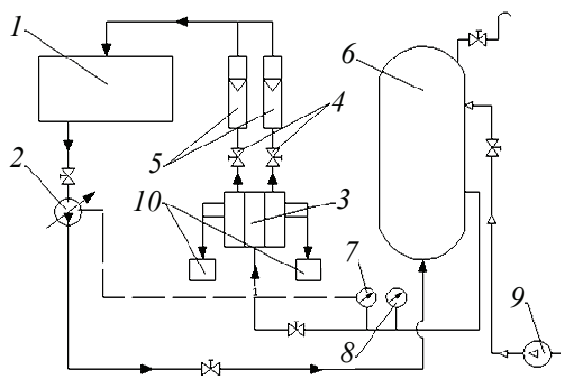


Рис. 1. Схема лабораторной обратноосмотической установки:

- 1 – расходная емкость; 2 – плунжерный насос НД100/63; 3 – разделительная ячейка;
4 – дроссели; 5 – поплавковые ротаметры; 6 – ресивер; 7, 8 – манометры; 9 – компрессор,
10 – емкости для пермеата

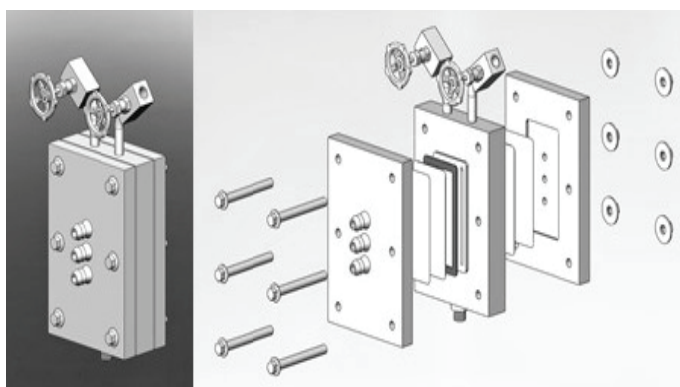


Рис. 2. 3D-модель обратноосмотической ячейки

Раствор из исходной емкости подается насосом высокого давления в гидроаккумулятор, который предварительно с помощью компрессора заполняется воздухом до давления, $\approx 30\%$ от рабочего давления в установке. Это осуществляется в целях сглаживания пульсаций давления в системе. Далее раствор из гидроаккумулятора под давлением подается в разделительную ячейку. Рабочее давление в ячейке регулируется вентилями, расположенными на выходе ячейки. По показаниям ротаметра устанавливается одинаковый расход в обеих камерах ячейки. Пройдя мембрану и подложку, пермеат собирается в емкости, а концентрат возвращается в исходную емкость.

Параметры установки следующие: площадь мембраны – $0,078 \text{ м}^2$; диапазон рабочего давления – $0 \dots 5,0 \text{ МПа}$; скорость движения раствора над поверхностью мембраны – $0 \dots 0,5 \text{ м/с}$. В качестве объектов исследований использованы промышленные сточные воды, содержащие соли тяжелых металлов и обратноосмотические мембраны МГА-95 и МГА-100.

Эффективность работоспособности мембран рассматривается по значениям коэффициента задержания и удельной производительности в зависимости от изменения давления над мембраной по формулам:

$$K = 1 - \frac{C_{\text{пер}}}{C_{\text{исх}}}; \quad (1)$$

$$G = \frac{V_{\text{пер}}}{F \tau}, \quad (2)$$

где $C_{\text{пер}}$, $C_{\text{исх}}$ – концентрация пермеата и исходного раствора соответственно, кг/м^3 ; $V_{\text{пер}}$ – объем пермеата, м^3 ; F – площадь мембраны, м^2 ; τ – время, с.

Алгоритм проектирования виртуального тренажерного комплекса включает следующие пункты: разработка структуры виртуального тренажерного комплекса; анализ нормативной документации; разработка передней панели тренажера; разработка математической модели действий оператора; разработка основных модулей тренажерного комплекса.

Для реализации тренажеров выбрана среда программирования LabVIEW7.0. Ее применение обусловлено возможностью почти полной имитации реальной панели управления оператора, комфортностью среды разработки и совместимостью с современными языками программирования.

В соответствии с методологическими основами разработки виртуальных моделей технических систем [3, 4] представлен комплекс виртуальных тренажеров по отработке действий оператора, который рассмотрен на примере последовательного выполнения стадий эксперимента по очистке промышленных сточных вод на обратноосмотической установке.

Предложенные тренажеры являются статическими, то есть в них отсутствуют физико-математические модели процессов, происходящих в оборудовании, но демонстрируется определенный порядок действий операторов. Так же в них представлены основные аппараты, приборы и органы управления.

Основной задачей рассматриваемого тренажера является имитация процесса управления и взаимодействия между стадиями.

К функциям данного комплекса виртуальных тренажеров можно отнести:

- отработку действий операторов в различных условиях функционирования технологического оборудования;
- обучение операторов последовательности действий для достижения заданного уровня обрабатываемой воды;
- приобретение операторами представлений о механизме работы обратноосмотической установки;
- отслеживание значений давления, прошедшего времени и других характеристик, позволяющих оператору убедиться в режиме нормального протекания процесса очистки;
- моделирование и отработку аварийных ситуаций и др.

После запуска тренажера на экране появляется его передняя панель, которая состоит из двух областей: «Рабочее место оператора» (рис. 3) и «Вспомогательная панель» (рис. 4).

В области «Рабочее место оператора» представлено основное оборудование установки (емкость исходного раствора, приемные емкости, плунжерный насос и т.д.) и приборы, регистрирующие исследуемые параметры технологического процесса. Наряду с этим на панели тренажера

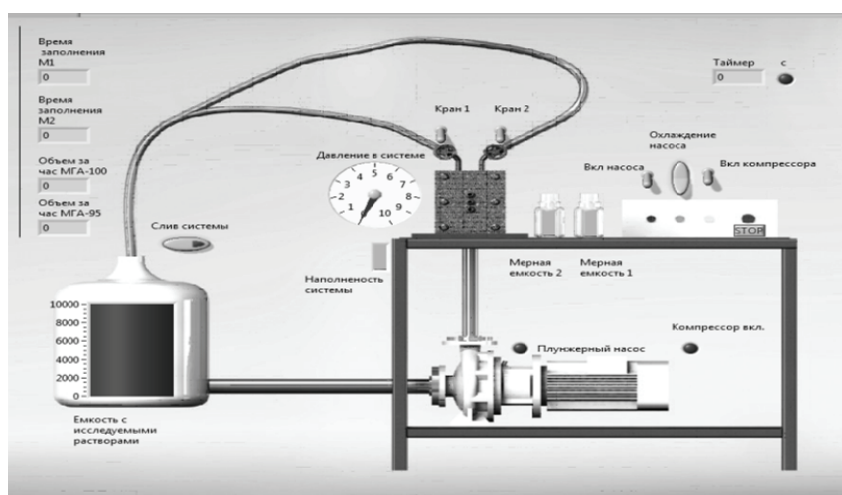


Рис. 3. Рабочее место оператора

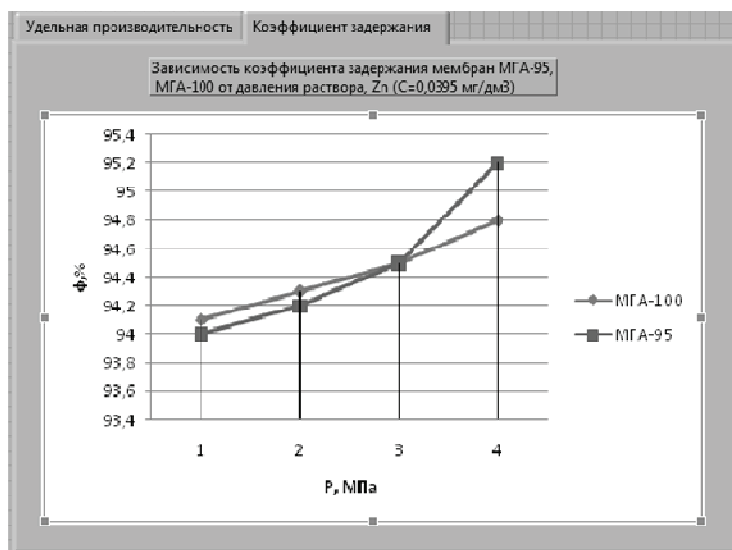


Рис. 4. Вспомогательная панель

размещены трубопроводы, задвижки открытия/закрытия клапанов; индикаторы для отображения: работы оборудования, объема обрабатываемого раствора, давления в системе, а также таймер, сигнализирующий о начале эксперимента.

При управлении процессом очистки сточных вод необходимо руководствоваться регламентом и использовать кнопки и средства управления, расположенные в области «Рабочее место оператора» и «Вспомогательная панель». Вспомогательная панель состоит из двух областей: «Показатели исходного и очищенного раствора» и диаграмм, иллюстрирующих зависимости коэффициента задержания и удельной производительности от давления над мембраной.

Комплекс виртуальных тренажеров также включает: руководство пользователя; мультимедийные ролики, демонстрирующие в динамике процесс работы операторов, сопровождаемые звуковыми и текстовыми комментариями.

В дальнейшем предполагается разработка виртуального тренажера и для других типов обратноосмотических установок с использованием динамической модели, позволяющей имитировать на тренажере процесс работы технологического объекта во времени, в том числе имитировать поведение объекта в случае каких-либо технологических нарушений, неисправности оборудования или иных внешних возмущений, не связанных непосредственно с действиями оператора.

Разработанный виртуальный тренажер способствует формированию у операторов практических навыков и умений принятия и выполнения решений по управлению технологическими процессами стадий очистки сточных вод, а также позволяет свести к минимуму ошибки операторов при управлении реальными объектами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания 2014/219 по проекту № 1222.

Список литературы

1. Лазарев, С. И. Очистка технической воды на обратноосмотической установке плоскокамерного типа / С. И. Лазарев, В. В. Мамонтов, С. В. Ковалев // Изв. вузов. Сер.: Химия и хим. технология. – 2006. – Т. 49, № 9. – С. 52 – 54.
2. Лазарев, К. С. Исследование кинетических коэффициентов обратноосмотического разделения растворов на мембранах МГА-95, МГА-100, ОПМ-К / К. С. Лазарев, С. В. Ковалев, А. А. Арзамасцев // Вестн. Тамб. гос. техн. университета. – 2011. – Т. 17, № 3. – С. 726 – 734.
3. Методы и алгоритмы создания виртуальных моделей химико-технологических систем : монография / В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. ун-та им. Г. Р. Державина, 2011. – 282 с.
4. Визуализация информационного пространства при управлении коммунальными системами / В. А. Немтинов [и др.] // Вестн. компьютерных и информ. технологий. – 2010. – № 3. – С. 14 – 19.

References

1. Lazarev S.I., Mamontov V.V., Kovalev S.V. *Izvestiya vuzov. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2006, vol. 49, no. 9, pp. 52-54.
2. Lazarev K.S., Kovalev S.V., Arzamastsev A.A. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2011, vol. 17, no. 3, pp. 726-734.
3. Nemtinov V.A. et al. *Metody i algoritmy sozdaniya virtual'nykh modelei khimiko-tekhnologicheskikh sistem* (Methods and algorithms to create virtual models of chemical engineering systems: monograph), Tambov: Izdatel'stvo Tambovskogo gosudarstvennogo universiteta imeni G. R. Derzhavina, 2011, 282 p.
4. Nemtinov V.A., Mokrozub V.G., Pakhomov P.I., Nemtinov K.V. *Vestnik kompyuternykh i informatsionnykh tekhnologii*, 2010, no. 3, pp. 14-19.

Development of Virtual Simulators for Experimental Research into Reverse Osmosis Separation of Industrial Waste Water

A. M. Akulinchev, O. A. Abonosimov,
S. I. Lazarev, D. O. Abonosimov

Tambov State Technical University, Tambov

Keywords: membrane; modeling environment; reverse osmosis; virtual simulators; waste water.

Abstract: We describe the relevance and design of a virtual simulator that simulates a reverse osmosis plant designed to study the basic kinetics of reverse osmosis separation of industrial waste water. The main tasks, functions, and prospects for further development of the simulator have been formulated.

© А. М. Акулинчев, О. А. Абоносимов,
С. И. Лазарев, Д. О. Абоносимов, 2015