

Применение виртуальных тренажеров в процессах электродиализного разделения промышленных растворов

Константин В. Шестаков	¹	kostyanshestakov@mail.ru	 0000-0003-0746-5161
Сергей И. Лазарев	¹	sergey.lazarev.1962@mail.ru	 0000-0002-3429-1139
Ольга В. Долгова	¹	o.v.dolgova@mail.ru	 0009-0000-9588-4897
Константин К. Полянский	²	kaf-kit@vfreu.ru	 0000-0002-8817-1466

¹ Тамбовский государственный технический университет, ул. Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия

² Воронежский филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, Карла Маркса, 67А, Воронеж, 394030, Россия

Аннотация. Электродиализное разделение все чаще используется в промышленном производстве. Внедряются новые технологические процессы, виды оборудования, составные части аппаратов. Подобные работы дорогостоящи, трудоемки и требуют отработки. Ошибки в процессе эксплуатации нового оборудования, при разделении смесей могут привести к аварийным ситуациям, выходу из строя узлов аппаратов или полной остановке производства. Поэтому для имитации новых технологических процессов, отработки оборудования и обучения персонала предлагается использовать моделирование и виртуальные тренажеры. Виртуальные тренажеры предоставляют возможность отработать основные параметры технологического процесса электродиализного разделения, оценить характер процессов, протекающих в аппарате, и эффективность внедрения новых технологий без нагрузки на оборудование и персонал. Разработанный виртуальный тренажер имитирует работу промышленной электродиализной установки. Применение тренажера позволяет в реальном времени моделировать технологический процесс, изменять основные параметры работы аппаратов, устанавливать входные и выходные характеристики растворов, оценивать эффективность работы электродиализного оборудования, отрабатывать последовательность действий при возникновении внештатных ситуаций. Используется интуитивно понятный интерфейс, реализована возможность на любом этапе обучения получить развернутую справочную информацию. Разработанный виртуальный тренажер предназначен для обучения студентов, проверки знаний и повышения квалификации сотрудников. Предложенную обучающую программу в виде сценариев можно адаптировать к требуемой скорости усвоения информации и уровню понимания материала. Разработанная программа может быть применена для оценки возможных неисправностей производственного оборудования, причин возникновения внештатных ситуаций в процессе эксплуатации и при разработке подходов к их устранению.

Ключевые слова: мембранные технологии, электродиализ, виртуальный тренажер, обучение, электродиализное оборудование.

Application of virtual simulators in the processes of electro dialysis separation of industrial solutions

Konstantin V. Shestakov	¹	kostyanshestakov@mail.ru	 0000-0003-0746-5161
Sergey I. Lazarev	¹	sergey.lazarev.1962@mail.ru	 0000-0002-3429-1139
Olga V. Dolgova	¹	o.v.dolgova@mail.ru	 0009-0000-9588-4897
Konstantin K. Polyansky	²	kaf-kit@vfreu.ru	 0000-0002-8817-1466

¹ Tambov State Technical University, Sovetsray Str., 106, Tambov, 392000, Russia

² Voronezh branch of the Russian Economic University named afte G.V. Plekhanov, Karl Marx, 67A, Voronezh, 394030, Russia

Abstract. Electrodialysis separation is increasingly used in industrial production. New technological processes, types of equipment, and components of devices are being introduced. Such work is expensive, time-consuming and requires working out. Errors in the operation of new equipment, when separating mixtures, can lead to emergencies, failure of device components or a complete shutdown of production. Therefore, it is proposed to use simulation and virtual simulators to simulate new technological processes, test equipment and train personnel. Virtual simulators provide an opportunity to work out the main parameters of the electro dialysis separation process, assess the nature of the processes taking place in the device, and the effectiveness of introducing new technologies without loading equipment and personnel. The developed virtual simulator simulates the operation of an industrial electro dialysis unit. The use of the simulator allows you to simulate the technological process in real time, change the basic parameters of the devices, set the input and output characteristics of solutions, evaluate the efficiency of electro dialysis equipment, work out a sequence of actions in case of emergency situations. An intuitive interface is used, and it is possible to obtain detailed background information at any stage of training. The developed virtual simulator is designed to train students, test knowledge and improve the qualifications of employees. The proposed training program in the form of scenarios can be adapted to the required speed of assimilation of information and the level of understanding of the material. The developed program can be used to assess possible malfunctions of production equipment, the causes of emergency situations during operation and when developing approaches to their elimination.

Keywords: membrane technologies, electro dialysis, virtual simulator, training, electro dialysis equipment.

Для цитирования

Шестаков К.В., Лазарев С.И., Долгова О.В. Полянский К.К. Применение виртуальных тренажеров в процессах электродиализного разделения промышленных растворов // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 119–125. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-119-125

For citation

Shestakov K.V., Lazarev S.I., Dolgova O.V., Polyansky K.K. Application of virtual simulators in the processes of electro dialysis separation of industrial solutions . Vestnik VGUI [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 119–125. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-119-125

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Применение виртуальных тренажеров в области мембранных технологий в последнее время все чаще вызывает интерес, как среди исследователей, так и на промышленных предприятиях [1–4]. Тренажеры позволяют студентам и специалистам ознакомиться с практическими аспектами управления и эксплуатации электрохимических мембранных установок без необходимости непосредственного взаимодействия с реальным промышленным оборудованием. Рассмотрим некоторые преимущества их применения.

Одним из главных преимуществ тренажеров является возможность сократить временные и финансовые затраты, связанные с созданием и обслуживанием реальных мембранных установок [5–7]. Разработка и использование тренажеров не требует значительных вложений в закупку дорогостоящего оборудования и проведение капитальных работ.

При работе с материальными мембранными установками существует риск возникновения нештатных ситуаций, которые могут привести к опасным последствиям – авариям, травмам персонала, повреждению и долговременному простоем оборудования в процессе ремонта. Виртуальные тренажеры, в свою очередь, обеспечивают безопасность обучения и исследований [8–10] без необходимости доступа к фактическому оборудованию.

Виртуальные тренажеры обладают гибкостью и возможностью индивидуализации обучения, позволяют пользователям осваивать различные аспекты управления мембранными установками в своем собственном темпе, повторять задания и эксперименты, а также получать мгновенную обратную связь и советы от виртуальных инструкторов [11–13]. Все это способствует более эффективному усвоению материала и повышению уровня профессиональной подготовки.

Важным преимуществом является возможность моделирования различных параметров работы мембранных установок и исследования их воздействия на производительность и эффективность электродиализной установки. В процессе имитации можно изменять расход субстрата, температура, давление и время. Подобные исследования позволяют сократить время и сберечь ресурсы, при определении оптимальных условий работы мембранных установок [14–15].

В настоящее время существует несколько видов виртуальных тренажеров – симуляторы, виртуальные лаборатории и виртуальные тренировочные площадки [16–19].

Тренажеры-симуляторы в области мембранных технологий представляют собой виртуальные

модели мембранных установок и разрабатываются в виде программ. Они позволяют пользователям проводить виртуальные эксперименты, взаимодействовать с компонентами установки и наблюдать результаты своих действий. В симуляторах можно моделировать различные условия работы, менять параметры процесса и изучать их воздействие на эффективность и производительность системы. Наиболее продвинутые тренажеры могут имитировать не только физические процессы, но и условия взаимодействия с операторами и анализ данных. Данный вид симуляторов предназначен для профессиональной подготовки и повышения квалификации специалистов в мембранных технологиях.

Более сложную организацию имеют виртуальные лаборатории. Тренажеры данного вида относятся к интерактивным платформам, предоставляющими доступ к виртуальной лабораторной среде, в которой пользователи могут проводить эксперименты с мембранными установками. Виртуальные лаборатории позволяют взаимодействовать с оборудованием и наблюдать результаты своих действий в режиме реального времени [20].

Виртуальные тренировочные площадки являются наиболее крупными программными комплексами среди виртуальных тренажеров. Это комплексные системы, которые объединяют в себе симуляторы и виртуальные лаборатории, предоставляют обучающие материалы, инструкции и руководства. С помощью данных систем пользователь полностью погружается в управление и эксплуатацию мембранных установок, имитируя реальные условия работы и решая сложные задачи, которые могут возникнуть в процессе промышленного использования мембранных установок.

Рассмотренные виды виртуальных тренажеров предоставляют возможность изучать и экспериментировать с мембранными установками, эффективно обучаться и на практике применять полученные знания. Количество доступных тренажеров, моделирующих процессы в электродиализных аппаратах, на данный момент недостаточно, имеющиеся модели не всегда отвечают современным требованиям в области мембранных технологий.

Цель работы – разработка виртуального тренажера, имитирующего работу промышленной электродиализной установки, позволяющего закрепить теоретические знания и получить практические навыки по работе с реальным очистным оборудованием. Тренажер должен соответствовать современным требованиям, предъявляемым к электродиализному оборудованию.

Материалы и методы

В основу разработанного виртуального тренажера легла электродиализная установка, схема которой представлена на рисунок 1. Установка предназначена для разделения электропроводных растворов химических производств. Обеспечивает высокую степень разделения, отличается низким энергопотреблением, не требует введения дополнительных реагентов в процессе эксплуатации.

Данная установка включает в себя четыре отдельные линии для прокачки через них растворов. Сначала необходимые исходные растворы

заливают в емкости для католита 1, дилуата 2, концентрата 3 и анолита 4. В электродиализную ячейку 7 растворы из соответствующих емкостей подаются с помощью мембранных пневматических насосов 5 марки AFL, насосы работают в результате подачи на них сжатого воздуха от компрессора 6. Для контроля и регулирования интенсивности циркуляции растворов по линиям используются клапаны 8, расходомеры 9 и манометры 10. Через выпускные краны 13 осуществляется слив отработанных растворов. Краны 12 используются для отбора проб.

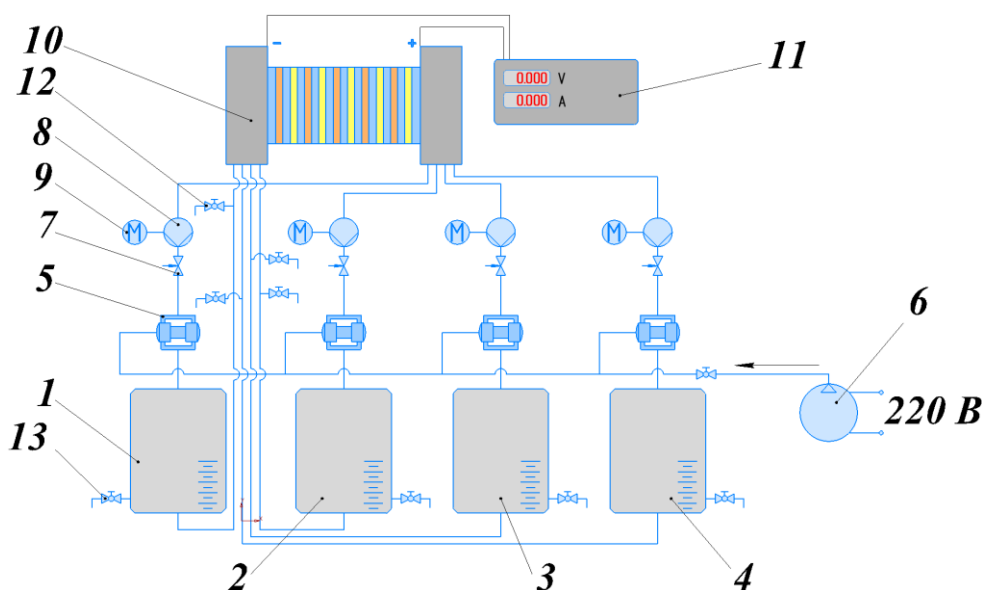


Рисунок 1. Электродиализная установка: 1, 2, 3 и 4 – емкости для католита, дилуата, концентрата и анолита соответственно; 5 – пневматический мембранный насос; 6 – компрессор; 7 – контрольный клапан; 8 – расходомер; 9 – манометр; 10 – разделительная мембранная ячейка; 11 – источник питания; 12 – выпускной кран для сбора; 13 – выпускной кран для слива [1]

Figure 1. Electrodialysis unit: 1, 2, 3 and 4 – containers for catholyte, dilute, concentrate and anolyte, respectively; 5 – pneumatic diaphragm pump; 6 – compressor; 7 – control valve; 8 – flow meter; 9 – pressure gauge; 10 – separation membrane cell; 11 – power supply; 12 – outlet faucet for collecting; 13 – outlet faucet for draining

Результаты и обсуждение

Графический интерфейс, доступный обучающимся при работе с виртуальным тренажером, представленный на рисунке 2, содержит параметры, характеризующие работу электродиализной установки в данный момент времени. На главном экране воспроизводятся показания манометров и расходомеров, характеристики тока, положение задвижек кранов, количество жидкости в емкостях и ее температура. Данные отображаются с целью обеспечения оператора всей необходимой информацией для принятия решений в реальном времени и бесперебойной работы системы.

Панель управления разработанного виртуального тренажера (рисунок 3) позволяет организовывать работу электродиализной установки, изменяя функциональные параметры. Оператору

доступно включение и выключение насосов или всей установки, в том числе экстренное, изменение расхода растворов, подача и сброс рабочих растворов для управления процессом подачи и сброса рабочих растворов, подача воды для охлаждения емкостей с рабочими растворами.

Одной из особенностей разработанного виртуального тренажера является возможность отработки действий в аварийных ситуациях (рисунок 3). Для этого в тренажере есть возможность выбора предварительно загруженных сценариев аварийных ситуаций или загрузки собственноручно разработанных. Например, возможен выход из строя одного из насосов установки. Обучающемуся в этом случае необходимо проанализировать аварийную ситуацию, локализовав возникшую неисправность и определив ее причины, а также выполнить ряд мероприятий по устранению неисправности.

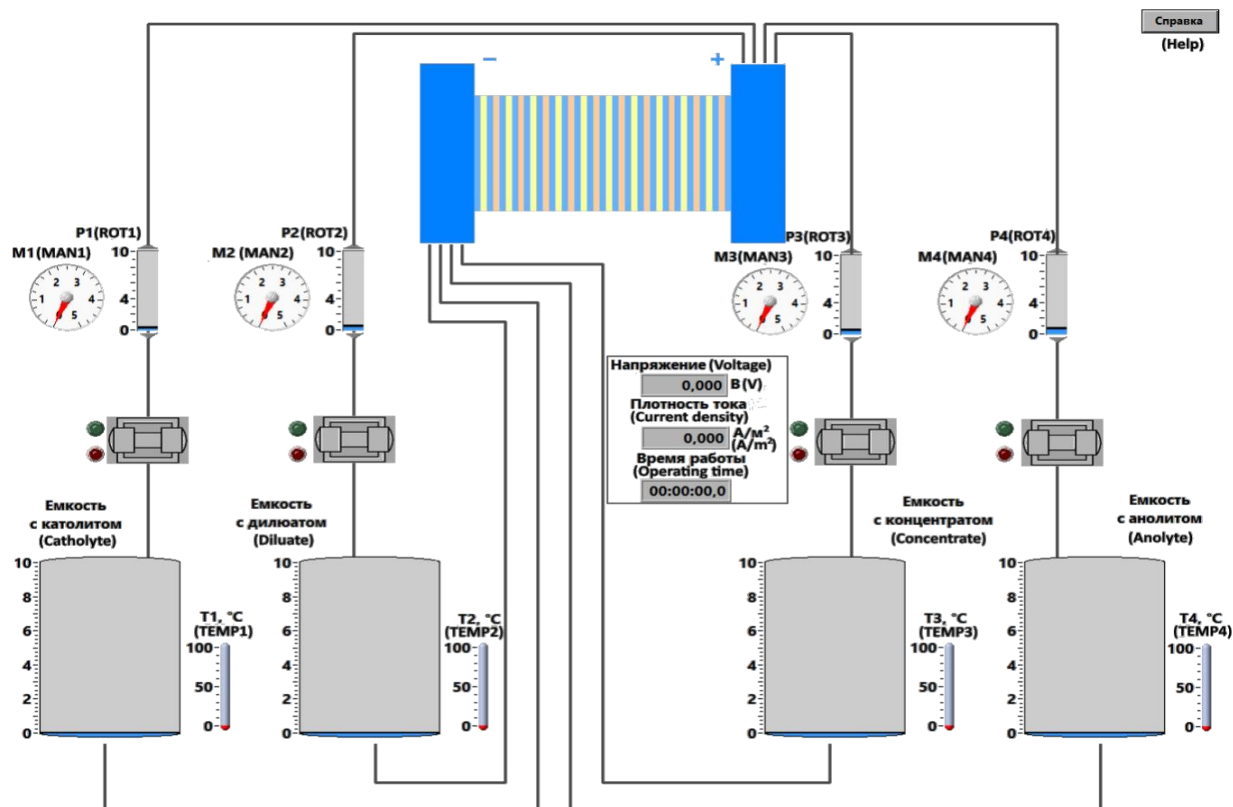


Рисунок 2. Визуальная панель виртуального тренажера в выключенном состоянии

Figure 2. The visual panel of the virtual simulator is turned off

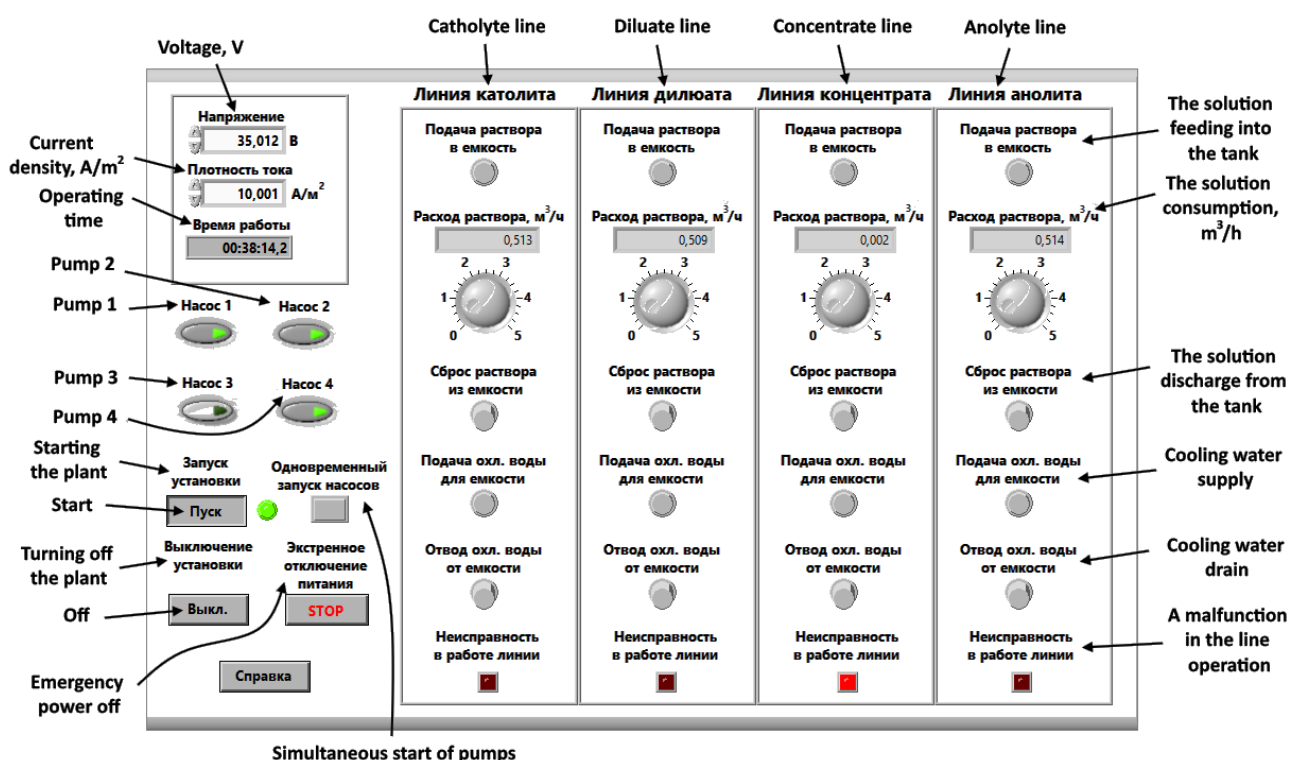


Рисунок 3. Вид панели управления в момент возникновения неисправности в работе линии концентрата, запрограммированной в сценарии

Figure 3. View of the control panel at the time of a malfunction in the operation of the concentrate line programmed in the scenario

На панелях виртуального тренажера присутствует кнопка «Справка», позволяющая в процессе обучения задавать вопросы, получать обратную связь и руководство от системы. При нажатии на нее откроется дополнительная панель (рисунок 4). В всплывающем окне отображается текстовая и графическая информация, подробное руководство по управлению и применению виртуального тренажера. Можно ознакомиться с теоретическим материалом по электродиализному разделению, включающим

описание происходящих базовых явлений и процессов, типовых конструкций электродиализаторов и области их применения.

Обучающую программу в виде сценариев можно адаптировать к требуемой скорости усвоения информации и уровню понимания материала, включая моменты оценки уровня знаний, склонностей и индивидуальных потребностей через процесс адаптации и дифференциации обучения.

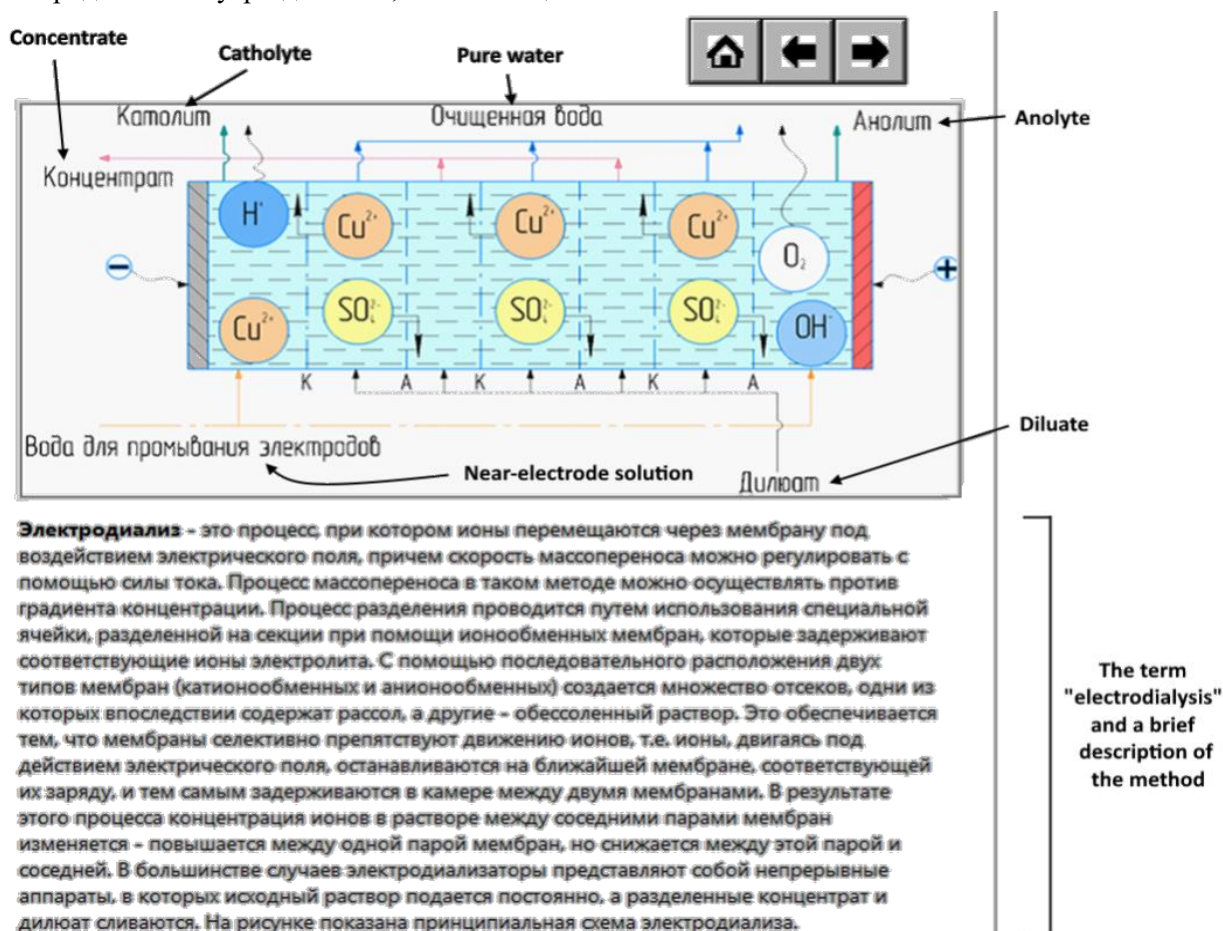


Рисунок 4. Одна из страниц справочной панели

Figure 4. One of the help panel pages

Заключение

Разработан виртуальный тренажер, имитирующий работу промышленной электродиализной установки. Тренажер предназначен для обучения студентов, повышения квалификации специалистов, проведения исследований. Программа позволяет моделировать не только штатную работу электродиализной установки, но и аварийные ситуации.

Представленный подход к обучению приобретает особую важность для пользователей виртуального тренажера, поскольку позволяет им приобрести фундаментальные знания и

выработать навыки без необходимости доступа к фактическому оборудованию. В результате они могут ознакомиться со сложными процессами управления установкой и приобрести опыт, который может быть полезен в контексте реального применения знаний в области электрохимических технологий.

Благодарность

Выполнено в рамках проведения исследований по государственному заданию, проект № FEMU-2024-0011 и при поддержке гранта Тамбовской области для молодых учёных № МУ2023/02-17

Литература

- 1 Шестаков К.В., Лазарев С.И., Хорохорина И.В., Лазарев Д.С. Возможности применения мембранных методов в процессе очистки промышленных сточных вод производства печатных плат // Вестник российских университетов. Математика. 2016. Т. 21. № 1. С. 290-296.
- 2 Малыгин А.В., Емельянов И.И., Семин Р.В. и др. Разработка расчетного модуля мембранного процесса разделения для универсальных моделирующих программ химико-технологических процессов // Математические методы в технологиях и технике. 2023. № 9. С. 13-16. doi 10.52348/2712-8873_MMTT_2023_9_13
- 3 Павлов В.А., Литвиненко М.А., Головина Е.С., Коровин А.И. Перспективы применения виртуальных тренажеров на опасных производствах // Нефтяное хозяйство. 2020. № 11. С. 70–72. doi: 10.24887/0028-2448-2020-11-70-72
- 4 Макиша Н.А. Оценочный расчет применения мембранного биореактора на очистных сооружениях // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 9. С. 68-74.
- 5 Асташабов А.Е., Румянцев М.В., Пиков Н.О., Санин А.Ю. и др. Разработка тренажёра виртуальной реальности получения практических навыков ремонта и разбора фонтанной арматуры // Журнал Сибирского федерального университета. Гуманитарные науки. 2023. Т. 16. № 3. С. 481–493.
- 6 Asadi A., Harandi H.B., Kang B., Jung J.C.Y. et al. A comprehensive computational fluid dynamics modeling of lithium sulphate electrodialysis // Journal of the Electrochemical Society. 2023. V. 170. № 9. P. 093502. doi: 10.1149/1945-7111/acf529
- 7 Алексеева А.В., Лапшина И.В. Виртуальная реальность в мире образования и обучения // Гуманитарные и социальные науки. 2024. Т. 102. № 1. С. 123-128.
- 8 Индейкина В.А., Шишканова К.И., Никитин Е.В., Гайдамавичюте В.В. и др. Трёхмерная визуализация процесса переработки опасных промышленных отходов // Успехи в химии и химической технологии. 2023. Т. 37. № 4 (266). С. 74-76.
- 9 Kumar V.V. Carberry D., Beenfeldt C., Andersson M.P. et al. Virtual reality in chemical and biochemical engineering education and training // Education for Chemical Engineers. 2021. V. 36. P. 143–153. doi: 10.1016/j.ece.2021.05.002.
- 10 Vergara D., Extremera J., Rubio M.P., Dávila L.P. et al. Meaningful learning through virtual reality learning environments: A case study in materials engineering // Applied Sciences. 2019. V. 9. № 21. P. 4625. doi: 10.3390/app9214625
- 11 Дозорцев В.М. Новые вызовы промышленной безопасности – помогут ли компьютерные тренажеры? // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 9. С. 31–38. doi: 10.24000/0409-2961-2019-9-31-38
- 12 Kumar V.V. Carberry D., Beenfeldt C., Andersson M.P. et al. Virtual reality in chemical and biochemical engineering education and training // Education for Chemical Engineers. 2021. V. 36. P. 143–153. doi: 10.1016/j.ece.2021.05.002
- 13 Крылова Т.В., Скачкова Е.Г., Тихонова Н.А. Интеграция цифрового образования: потенциал и негативные аспекты // Russian Journal of Education and Psychology. 2023. Т. 14. № 3-2. С. 91–98.
- 14 Xu Y., Sun Y., Ma Z., Wang R. et al. Response surface modeling and optimization of electrodialysis for reclamation of RO concentrates in coal-fired power plants // Separation Science and Technology. 2020. V. 55. № 14. P. 2593–2603.
- 15 Tristán C., Fallanza M., Grossmann I., Ortiz I. et al. Generalized Disjunctive Programming Model for Optimization of Reverse Electrodialysis Process // IFAC-PapersOnLine. 2022. V. 55. № 31. P. 154–159.
- 16 Асатов Ф.М. Передовые технологии профессионального обучения. Тренажеры-симуляторы горного оборудования // Горная промышленность. 2021. № 2. С. 54–58.
- 17 Никулина Ю.С., Ткаченко А.Л., Федорова В.А. Виртуальные лаборатории как информационный продукт // Информационные технологии. Проблемы и решения. 2022. № 1 (18). С. 38-42.
- 18 Баранов А.В. Экспериментирование и моделирование в виртуальных лабораториях физики // Электронные средства и системы управления: материалы докладов Международной научно-практической конференции. 2021. № 1–2. С. 179–181.
- 19 Шаханова М.В., Забелина В.Д., Шаханова В.С. Применение имитационных виртуальных тренажеров в процессе профессионального обучения // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2023. № 12 (38). С. 108-111.
- 20 Kamińska D.D., Sapiński T., Wiak S., Tikk T. et al. Virtual reality and its applications in education: Survey // Information. 2019. V. 10. № 10. P. 318. doi: 10.3390/info10100318

References

- 1 Shestakov K.V., Lazarev S.I., Khorokhorina I.V., Lazarev D.S. Possibilities of using membrane methods in the process of purifying industrial wastewater from the production of printed circuit boards. Bulletin of Russian Universities. Mathematics. 2016. vol. 21. no. 1. pp. 290-296. (in Russian).
- 2 Malygin A.V., Emel'yanov I.I., Semin R.V. et al. Development of a computational module of the membrane separation process for universal modeling programs of chemical and technological processes. Mathematical methods in technology and engineering. 2023. no 9. pp. 13-16. doi 10.52348/2712-8873_MMTT_2023_9_13 (in Russian).
- 3 Pavlov V.A., Litvinenko M.A., Golovina E.S., Korovin A.I. Prospects for the use of virtual simulators in hazardous industries. Oil industry. 2020. no. 11. pp. 70–72. doi: 10.24887/0028-2448-2020-11-70-72. (in Russian).
- 4 Makisha N.A. An estimated calculation of the use of a membrane bioreactor in wastewater treatment plants. Industrial and civil engineering. 2023. no.9. pp. 68–74. (in Russian).
- 5 Astrashabov A.E., Rumyantsev M.V., Pikov N.O., Sanin A. Yu. et al. Development of a virtual reality simulator for obtaining practical skills in repairing and disassembling fountain fittings. Journal of the Siberian Federal University. Humanities. 2023. vol. 16. no. 3. pp. 481–493. (in Russian).

- 6 Asadi A., Harandi H.B., Kang B., Jung J.C.Y. et al. A comprehensive computational fluid dynamics modeling of lithium sulphate electro dialysis. Journal of the Electrochemical Society. 2023. vol. 170. no. 9. pp. 093502. doi: 10.1149/1945-7111/acf529
- 7 Alekseeva A.V., Lapshina I.V. Virtual reality in the world of education and training. Humanities and Social Sciences. 2024. vol. 102. no. 1. pp. 123-128. (in Russian).
- 8 Indejkina V.A., Shishkanova K.I., Nikitin E.V., Gajdamavichyute V.V. et al. Three-dimensional visualization of the process of processing hazardous industrial waste. Advances in chemistry and chemical technology. 2023. vol. 37. no. 4 (266). pp. 74-76. (in Russian).
- 9 Kumar V.V. Carberry D., Beenfeldt C., Andersson M.P. et al. Virtual reality in chemical and biochemical engineering education and training. Education for Chemical Engineers. 2021. vol. 36. pp. 143–153. doi: 10.1016/j.ece.2021.05.002
- 10 Vergara D., Extremera J., Rubio M.P., Dávila L.P. et al. Meaningful learning through virtual reality learning environments: A case study in materials engineering. Applied Sciences. 2019. vol. 9. no. 21. pp. 4625. doi: 10.3390/app9214625.
- 11 Dozortsev V.M. New challenges of industrial safety – will computer simulators help? Occupational safety in industry. 2019. no. 9. pp. 31–38. doi: 10.24000/0409-2961-2019-9-31-38 (in Russian).
- 12 Kumar V.V. Carberry D., Beenfeldt C., Andersson M.P. et al. Virtual reality in chemical and biochemical engineering education and training. Education for Chemical Engineers. 2021. vol. 36. pp. 143–153. doi: 10.1016/j.ece.2021.05.002
- 13 Krylova T.V., Skachkova E.G., Tihonova N.A. Integration of digital education: potential and negative aspects. Russian Journal of Education and Psychology. 2023. vol. 14. no. 3-2. pp. 91–98. (in Russian).
- 14 Xu Y., Sun Y., Ma Z., Wang R. et al. Response surface modeling and optimization of electrodialysis for reclamation of RO concentrates in coal-fired power plants. Separation Science and Technology. 2020. vol. 55. no. 14. pp. 2593–2603.
- 15 Tristán C., Fallanza M., Grossmann I., Ortiz I. et al. Generalized Disjunctive Programming Model for Optimization of Reverse Electrodialysis Process. IFAC-PapersOnLine. 2022. vol. 55. no. 31. pp. 154–159.
- 16 Asadov F.M. Advanced technologies of vocational training. Simulators-simulators of mining equipment. Mining industry. 2021. no. 2. pp. 54–58. (in Russian).
- 17 Nikulina Yu.S., Tkachenko A.L., Fedorova V.A. Virtual laboratories as an information product. Information technology. Problems and solutions. 2022. no. 1 (18). pp. 38-42. (in Russian).
- 18 Baranov A.V. Experimentation and modeling in virtual physics laboratories. Electronic tools and control systems. Materials of the reports of the International Scientific and Practical Conference. 2021. no. 1–2. pp. 179–181. (in Russian).
- 19 Shahanova M.V., Zabelina V.D., Shahanova V.S. The use of simulation virtual simulators in the process of professional training. International Journal of Information Technology and Energy Efficiency. 2023. no. 12 (38). pp. 108–111. (in Russian).
- 20 Kamińska D.D., Sapiński T., Wiak S., Tikk T. et al. Virtual reality and its applications in education: Survey. Information. 2019. vol. 10. no. 10. pp. 318. doi: 10.3390/info10100318

Сведения об авторах

Константин В. Шестаков д.т.н., доцент, кафедра механики и инженерной графики, Тамбовский государственный технический университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия, kostyanshestakov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0746-5161>

Сергей И. Лазарев д.т.н., профессор, кафедра механики и инженерной графики, Тамбовский государственных технический университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия, sergey.lazarev.1962@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3429-1139>

Ольга В. Долгова к.т.н., старший преподаватель, кафедра природопользования и защиты окружающей среды, Тамбовский государственных технический университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия, o.v.dolgova@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-9588-4897>

Константин К. Полянский д.т.н., профессор, кафедра коммерции и товароведения, Воронежский филиал Российского экономического университете имени Г.В. Плеханова, Карла Маркса, 67А, Воронеж, 394030, Россия, kaf-kit@vfreu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8817-1466>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Konstantin V. Shestakov Dr. Sci. (Engin.), associate professor, mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, Sovetsray Str., 106, Tambov, 392000, Russia, kostyanshestakov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0746-5161>

Sergey I. Lazarev Dr. Sci. (Engin.), professor, mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, Sovetsray Str., 106, Tambov, 392000, Russia, sergey.lazarev.1962@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3429-1139>

Olga V. Dolgova Cand. Sci. (Engin.), senior lecturer, nature management and environmental protection mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, Sovetsray Str., 106, Tambov, 392000, Russia, o.v.dolgova@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-9588-4897>

Konstantin K. Polyansky Dr. Sci. (Engin), professor, commerce and commodity science mechanics and engineering graphics department, Voronezh branch of the Russian Economic University named afte G.V. Plekhanov, Karl Marx, 67A, Voronezh, 394030, Russia, kaf-kit@vfreu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8817-1466>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/04/2024	После редакции 29/04/2024	Принята в печать 24/05/2024
Received 11/04/2024	Accepted in revised 29/04/2024	Accepted 24/05/2024