

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ И ОПЕРАТИВНОГО ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКОЙ

Невиницын В.Ю., Грименицкий П.Н., Лихач Д.С., Субботин П.А.

Невиницын Владимир Юрьевич, Грименицкий Павел Николаевич, Лихач Данил Сергеевич, Субботин Павел Алексеевич
Ивановский государственный химико-технологический университет,
г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, д. 7.
E-mail: nevinitsyn@isuct.ru, grim@isuct.ru, daniltelefon@gmail.com, pasha.subbotin2018@yandex.ru

В работе описывается учебная лабораторная установка, реализующая технологический процесс ректификации. Приведена структура ректификационной установки на базе колонны типа НБК ХД-3д, работающей под вакуумом. Приведен внешний вид щита управления технологическим процессом на базе программируемого контроллера, модулей ввода-вывода и панели оператора. Описаны используемые датчики для измерения технологических параметров процесса, а также регулирующие органы и отсежные клапаны для управления подачей веществ. Для визуализации работы установки, мониторинга параметров, управления и сбора данных создан интерфейс оператора в SCADA-системе MasterSCADA. Приведен фрагмент разработанной мнемосхемы проекта, описаны элементы управления и функционал интерфейса оператора. Разработанный комплекс может применяться в учебных целях для изучения процесса ректификации, обучения основам автоматизации и проектирования систем управления технологическими процессами, а также приобретения навыков разработки программного обеспечения SCADA-систем.

Ключевые слова: автоматизация, ректификация, технологический процесс, лабораторная установка, программируемый контроллер, SCADA-система

DESIGN OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR DATA ACQUISITION AND SUPERVISORY CONTROL OF A RECTIFICATION UNIT

Nevinitsyn V.Yu., Grimenitsky P.N., Likhach D.S., Subbotin P.A.

Nevinitsyn Vladimir Yur'evich, Grimenitsky Pavel Nikolayevich, Likhach Danil Sergeevich, Subbotin Pavel Alekseevich
Ivanovo State University of Chemical Technology,
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 7.
E-mail: nevinitsyn@isuct.ru, grim@isuct.ru, daniltelefon@gmail.com, pasha.subbotin2018@yandex.ru

The paper deals with the laboratory unit, which realizes the technological process of rectification. The structure of the rectification unit based on the column type NBK KhD-3d operating under vacuum is given. The visual appearance of the process control panel based on a programmable controller, input-output modules and operator panel is given. The sensors used for measuring process parameters, as well as regulating valves and cut-off valves for controlling the supply of substances are described. The operator interface in SCADA-system MasterSCADA is created for visualization of plant operation, parameter monitoring, control and data acquisition. A fragment of the developed mnemonic scheme of the project is given, control elements and functionality of the operator interface are described. The developed complex can be used for educational purposes for studying the rectification process, learning the basics of automation and design of process control systems, as well as acquiring skills of SCADA-systems software development.

Keywords: automation, rectification, technological process, laboratory unit, programmable controller, SCADA system

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

В химической, нефтяной, пищевой и ряде других отраслей промышленности часто приходится выделять из различных жидких смесей отдельные вещества, которые находят самостоятельное применение, либо являются сырьем при производстве других продуктов.

Универсальным приемом для разделения как простых, так и сложных смесей жидкостей является метод ректификации. Ректификация многокомпонентных смесей играет существенную роль в химико-технологических процессах. Одна из сфер промышленного применения процесса ректификации – получение отдельных фракций и индивидуальных углеводородов из нефтяного сырья в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, а также получение окиси этилена, акрилонитрила, капролактама, алкилхлорсиланов и других продуктов в химической промышленности. Ректификация широко используется и в других отраслях народного хозяйства: цветной металлургии, коксохимической, лесохимической, пищевой, химико-фармацевтической промышленности [1].

С точки зрения теории управления ректификационная установка представляет собой довольно сложный технологический процесс и требует применения различных приборов и средств автоматизации для поддержания оптимального режима работы во время эксплуатации. Внедрение автоматизированных систем контроля и управления способствует повышению эффективности работы производства и увеличению качества выпускаемой продукции. Они также позволяют оператору контролировать ход технологического процесса и осуществлять оперативное управление в режиме реального времени. Процесс ректификации требует особо точного соблюдения технологии. В производственных условиях любое его нарушение приводит к колоссальным потерям времени, энергоресурсов и выпуску некачественной продукции. Немаловажным фактором также является обеспечение безопасности производства, поэтому в современных ректификационных установках требования к системам мониторинга и автоматического управления достаточно высоки.

Для повышения качества и сроков проектирования специального программного обеспечения на практике используют специализированные программные средства. Такие комплексные программы называются системами диспетчерского управления и сбора данных, или SCADA и HMI-системами. Их применение повышает эффектив-

ность взаимодействия диспетчера с системой и сводит к нулю его критические ошибки при управлении. Применение SCADA-технологий позволяет достичь высокого уровня автоматизации в решении задач разработки систем управления, сбора, обработки, передачи, хранения и отображения информации. SCADA-системы используются во всех отраслях хозяйства, где требуется обеспечивать операторский контроль за технологическими процессами в реальном времени. Данное программное обеспечение устанавливается на компьютеры и для связи с объектом использует драйверы ввода-вывода или OPC/DDE-серверы [2-4].

В настоящее время на Российском рынке существует довольно много организаций, занимающихся разработкой SCADA и HMI-систем визуализации, мониторинга, управления и сбора данных под ключ. К числу таких компаний относятся ООО «ПАГ» (ProcessAutomationGroup), ООО «Промстройэнерго», ООО «Технологика», ООО «Эвомастикс», ООО НПФ «ГЛОБУС», ООО «Элатро» и многие другие. Данные организации используют в своих проектах SCADA-системы TraceMode, CitectSCADA, OpenSCADA, MasterSCADA, IntraSCADA, RapidSCADA и др. Некоторые фирмы также предлагают разработку узко специализированных SCADA-систем с нуля на языках высокого уровня (C++, Delphi).

Актуальность разработки автоматизированных систем контроля и управления на базе SCADA-систем подтверждается множеством научных статей и монографий [2-12]. В работах авторы описывают различные предложения как для промышленного использования в различных отраслях промышленности, так и решения для учебных лабораторных комплексов и тренажеров для применения в сфере образования.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОПИСАНИЕ

ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Важным аспектом образования в высших учебных заведениях, занимающихся подготовкой студентов по техническим специальностям, является знакомство и взаимодействие с широким спектром технического оборудования систем промышленной автоматизации. Задачи, решаемые при автоматизации химических предприятий, требуют от специалистов широкого комплекса знаний, начиная от устройства и принципа действия датчиков технологических параметров, программируемых логических контроллеров (ПЛК), и заканчивая знаниями и навыками в области разработки программного обеспечения систем управления, программирования контроллеров и проек-

тирования интерфейса оператора технологического процесса. Именно поэтому учебные стенды и лабораторный практикум играют существенную роль в обеспечении качественного и практико-ориентированного обучения в технических направлениях подготовки.

В рамках работы проектируется ректификационная лабораторная установка, щит управления, а также разрабатывается интуитивный и функциональный интерфейс оператора на базе SCADA для диспетчерского контроля и управления процессом. Разрабатываемый интерфейс, являясь основным элементом автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора, должен отражать информацию о ходе процесса ректификации, обеспечивать возможность изменения заданных значений параметров (уставок), управление в ручном режиме, возможность построения трендов и архивирования параметров с целью анализа технологического процесса, сигнализацию отклоне-

ний параметров от нормы. Такой программно-технический комплекс можно использовать в учебном процессе для обучения студентов основам проектирования систем автоматизации технологических процессов.

Принципиальная схема лабораторной ректификационной установки на базе колонны типа НБК ХД-3d представлена на рис. 1. На рисунке введены обозначения: 1 – куб-парогенератор, 2 – ректификационная колонна НБК ХД-3d, 3 – дистиллятор с предподогревом, 4 – доохладитель, 5 – охладитель кубового остатка, 6 – куб с исходным сырьем, 7 – перистальтический насос с процессорным управлением типа ХД/НПП - 100, 8 – сборник продукта, 9 – куб с перистальтическим насосом для отвода кубового остатка (отходов). Установка работает под вакуумом, для этого колонна соединяется с вакуумным насосом типа НС1000, который создает разрежение в аппарате до -40 кПа.

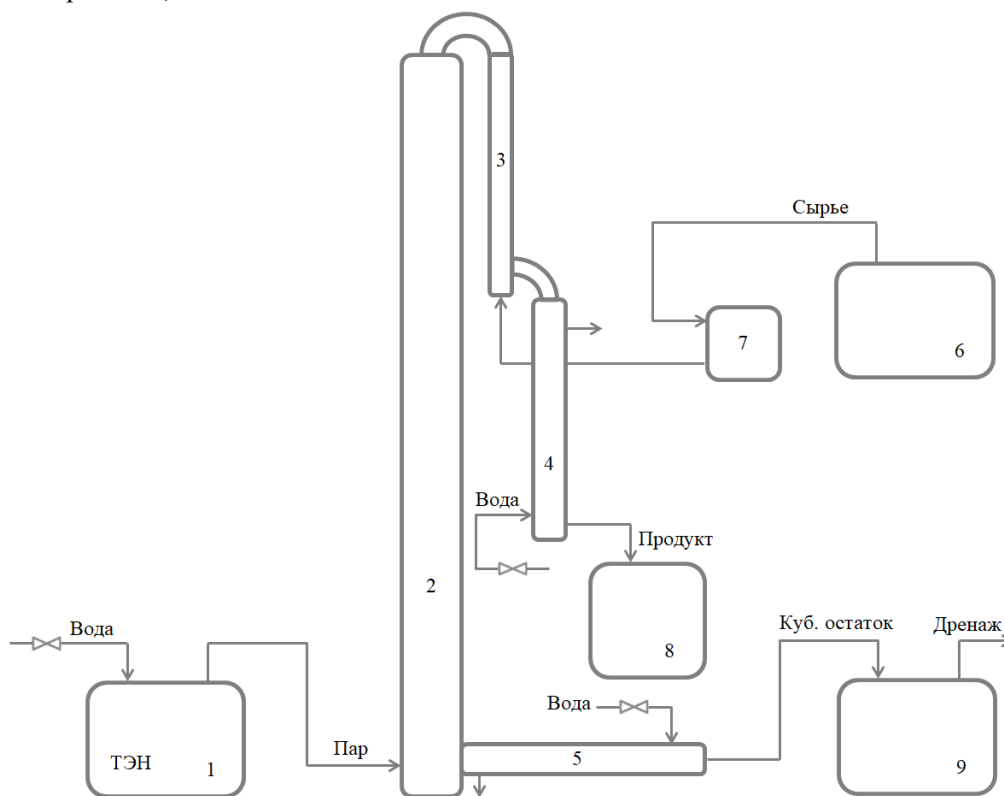


Рис. 1. Структура ректификационной установки
Fig. 1. Structure of the rectification unit

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИТАУПРАВЛЕНИЯ

Одной из важных проблем, которые решают в процессе создания современных систем промышленной автоматизации, является выбор технических и программных средств для реализации необходимых алгоритмов контроля и управ-

ления. В рамках данной работы предлагается построить систему автоматизации на базе программируемого логического контроллера ПЛК200 с модулями ввода-вывода серии Mx210 и графической панели оператора СП307-Р российского производства ОВЕН. Структура программно-технического комплекса представлена на рис. 2.

На рисунке обозначено: 1 – графическая панель оператора ОВЕН СП307-Р; 2 – программируемый контроллер ОВЕН ПЛК200; 3 – модуль ввода аналоговых сигналов МУ210-101; 4 – модуль вывода аналоговых сигналов МУ210-502; 5 – модуль ввода дискретных сигналов МУ210-202; 6 – модуль вывода дискретных сигналов МУ210-401; 7 – АРМ оператора (рабочая станция).

Измерение технологических параметров процесса осуществляется при помощи датчиков температуры, давления и уровня, расположенных в различных узлах лабораторной установки. Для измерения температуры используются платиновые термометры сопротивления типа ОВЕН ДТС164-РТ100 с диапазоном измерения от -60 до +250 °С, установленные в парогенераторе, внизу

(в кубе) и вверху колонны, на линии отбора продукта, а также в кубах 6 и 9 (рис. 1). Уровень в парогенераторе и емкости с исходным сырьем измеряется гидростатическими уровнемерами типа ОВЕН ПД-100И-ДГ с диапазоном измерения от 0 до 1,6 м. Давление разряжения в емкости 9 измеряется датчиком ОВЕН ПД-100И-ДВ с диапазоном измерения от 0 до -40 кПа. Управление процессом осуществляется за счет установленных на трубопроводы регулирующих клапанов типа SputnikAP24-8 и отсечных клапанов Darhор DW51-50 электромагнитного типа. Информация с датчиков поступает на модули ввода щита управления, где на графической панели СП307-Р оператор видит текущие значения технологических параметров.

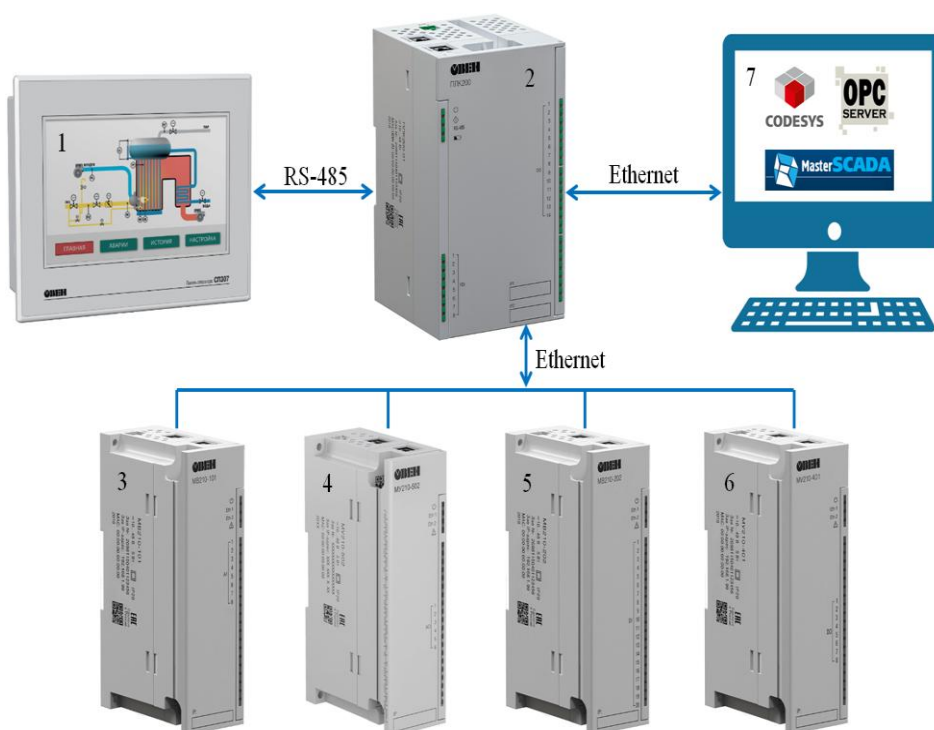


Рис. 2. Структура щита управления
Fig. 2. Structure of the control panel

Программирование контроллера ОВЕН ПЛК200 реализовано в среде разработки приложений CODESYSv3.5 SP17 на языках стандарта МЭК 61131-3. В качестве системы НМІ применяется панель оператора ОВЕН СП207-Р сенсорного типа, а также SCADA-система MasterSCADA v3.12, установленная на рабочей станции оператора.

Взаимодействие SCADA-системы и контроллера ПЛК200 осуществляется с помощью механизма OPC (OLE for Process Control), являющимся наиболее популярным стандартом обмена данными в сфере промышленной автоматизации.

РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Как было отмечено выше, ректификационная установка и сам технологический процесс является довольно сложным с точки зрения управления, поэтому необходимо разработать простой и понятный интерфейс оператора для визуализации и мониторинга технологических параметров и управления режимом работы установки. Интерфейс пользователя должен обеспечивать наглядное динамическое отображение хода технологического процесса.

Инженерно-технические науки – машиностроение и технологии

При этом оператор должен иметь возможность не только контролировать технологические параметры, характеризующие процесс, но и возможность влиять на ход процесса, изменяя, например, заданные значения (уставки) системы регулирования или параметры настройки регуляторов. Также необходимо реализовать систему трендов для отображения изменения переменных во времени в виде графиков. При необходимости в проект можно добавить систему алармов и событий, оповещающих пользователя о различных ситуациях, например, при выходе значения какого-либо параметра за регламентное значение. В некоторых случаях целесообразно обеспечить контроль правильности ввода значений параметров оператором.

Одним из современных программных продуктов, реализующих указанные функции, является MasterSCADA. Среда разработки позволяет создать графический экран оператора, на котором схематически будут показаны отдельные элементы автоматизируемого технологического процесса, их взаимодействие, а также текущие значения контролируемых и регулируемых параметров. Интерфейс оператора лабораторной установкой реализован в MasterSCADA версии 3.12.

В первую очередь в проект добавляют необходимые пользовательские единицы измерения и шкалы, отсутствующие в системе (рис. 3). При формировании шкал были заданы начальное и конечное значения шкалы, а также ее формат, определяющий число знаков после запятой.

Интервал	Начало	Конец	Формат	Ед. измерения
Проценты	0.00	100.00	f2	Процент
Градусы	0.0	100.0	f1	Градус
Температура 180	0.0	180.0	f1	Градус С
Расход 16	0.00	16.00	f2	Куб. метр в час
Давление 10	0.00	10.00	f2	Килограмм на кв. см
Уровень 100	0.0	100.0	f1	Процент
Уровень	0	100	f0	Сантиметр
Давление -40	-40.0	0.0	f1	Килопаскаль

Рис. 3. Шкалы
Fig. 3. Scalebars

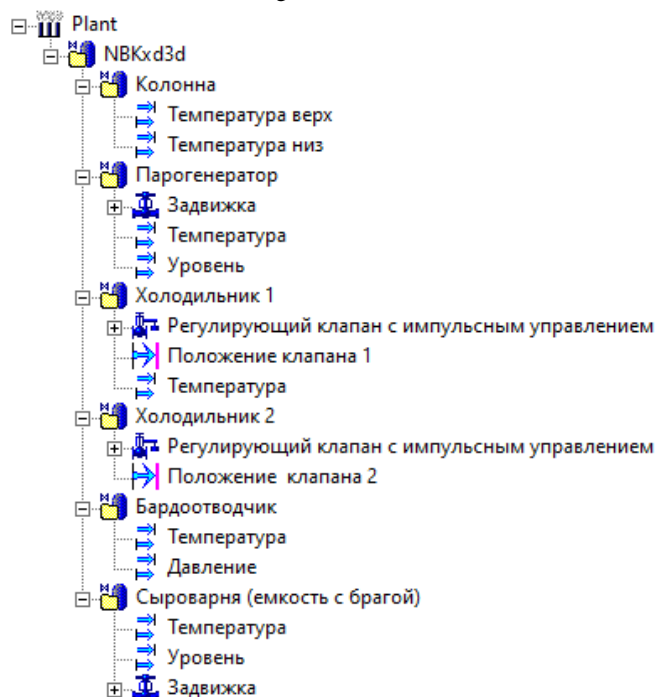


Рис. 4. Структура элементов ректификационной установки
Fig. 4. Rectificationunitstructure

Далее в MasterSCADA была сформирована структура ректификационной установки (дерево объектов) в соответствии с технологической схемой процесса, включающая различные аппараты и узлы лабораторной установки. Общий вид дерева объектов приведен на рис. 4.

Далее был разработан графический интерфейс оператора, включающий мнемосхемы, графики, таблицы, всплывающие окна, элементы для ввода команд оператора и другие элементы для наглядного динамического отображения хода технологического процесса и выдачи управляющих воздействий с помощью виртуальных органов управления. Фрагмент участка мнемосхемы представлен на рис. 5. Интерфейс оператора позволяет осуществлять контроль текущего состояния всех

узлов установки и управлять потоками веществ в ручном режиме. Также реализована система трендов, событий и алармов. Тренды представляют собой графики изменения параметров процесса в реальном времени. Информацией для построения трендов служат сигналы с датчиков, установленных на объекте. События информируют об изменении некоторых состояний в работе установки, например, при достаточном нагреве в парогенераторе и готовности пара оператору будет показано соответствующее сообщение. Алармы оповещают пользователя при выходе какого-либо параметра процесса за регламентные значения или предупреждают о важном событии, которое требует срочного принятия определенных действий.

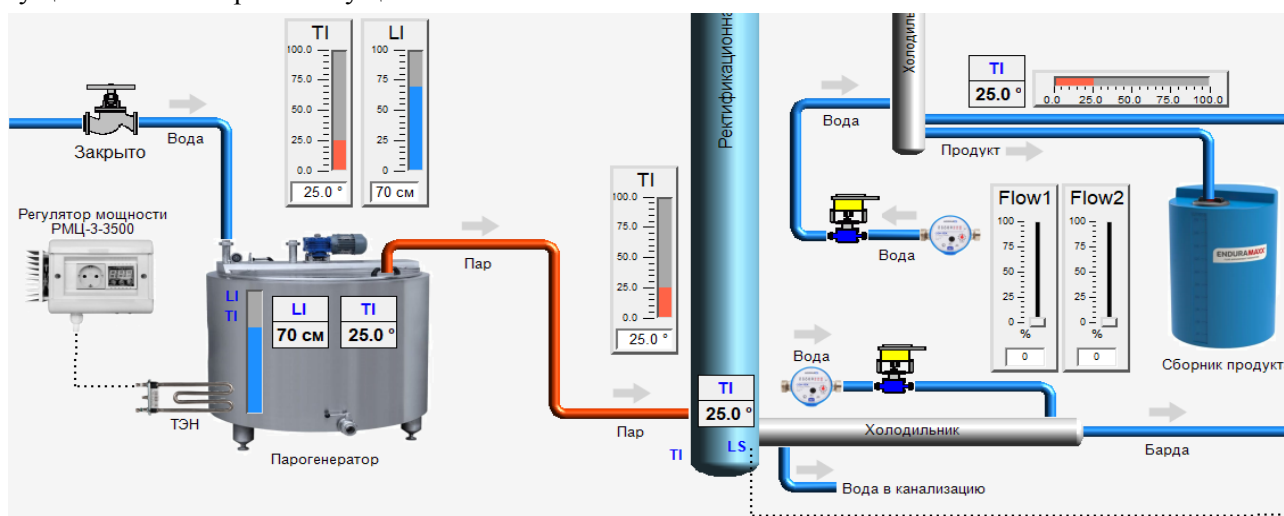


Рис. 5. Фрагмент мнемосхемы оператора
Fig. 5. Operator mnemonic diagram fragment

В качестве примера, на рис. 6 приведен пример диалогового окна управления отсечным электромагнитным клапаном. При нажатии на соответствующий элемент мнемосхемы открывается диалоговое окно, в котором пользователь может открыть или закрыть исполнительный механизм. Также преду-

смотрено управление регулируемыми клапанами, где с помощью ручного задатчика (шкальные индикаторы Flow1 и Flow2) или кнопок «Больше» и «Меньше» пользователь устанавливает желаемый процент открытия клапана (рис. 7).

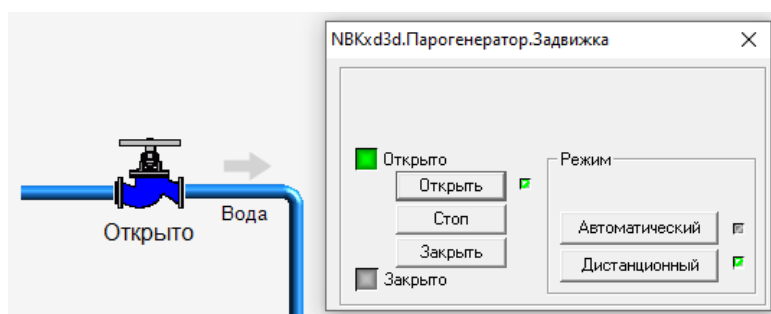


Рис. 6. Интерфейс управления отсечным клапаном
Fig. 6. Cut-off valve control interface

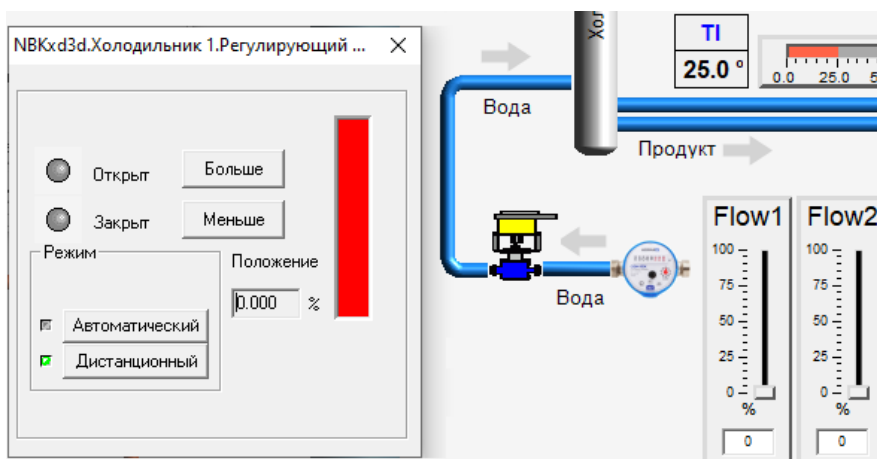


Рис. 7. Интерфейс управления регулирующим клапаном
Fig. 7. Controlvalvecontrolinterface

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанный лабораторный программно-технический комплекс может использоваться при проектировании и изготовлении подобных учебных ректификационных установок, а также при эксплуатации и внедрении в качестве лабораторного практикума в образовательных программах технических направлений подготовки.

В рамках лабораторного практикума студенты смогут ознакомиться с технологическим процессом ректификации, изучить технические средства автоматизации и приобрести навыки в сфере проектирования систем автоматизации и разработки программного обеспечения систем управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Комиссаров Ю.А., Гордеев Л.С., Вент Д.П.** Химическая технология: научные основы процессов ректификации. В 2 частях. Часть 1: учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Юрайт, 2021. 270 с.
2. **Музипов Х.Н.** Интегрированные системы проектирования и управления. SCADA: учебное пособие. СПб.: Лань, 2022. 408 с.
3. **Пьявченко Т.А.** Автоматизированные информационно-управляющие системы с применением SCADA-системы Trace Mode: учебное пособие. СПб.: Лань, 2022. 336 с.
4. **Кангин В.В., Кангин М.В., Ямолдинов Д.Н.** Разработка SCADA-систем: учебное пособие. Москва: Инфра-Инженерия, 2019. 564 с.
5. **Редько М.Д., Редько А.Д., Стегачев Е.В.** Разработка схемы учебно-испытательного стенда, моделирующего работу насосной станции. *Известия Волгоградского государственного технического университета*. 2024. № 1 (284). С. 58-61. DOI: 10.35211/1990-5297-2024-1-284-58-61.
6. **Бородулин Д.М.** Разработка SCADA-проекта процесса выпаривания молока в двухкорпусной вакуум-выпарной установке. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2023. Т. 85. № 2 (96). С. 32-37. DOI: 10.20914/2310-1202-2023-2-32-37.

Проекты, разработанные на базе MasterSCADA, в настоящее время успешно применяются в различных сферах промышленности. Поэтому немаловажной частью лабораторного практикума является ознакомление учащихся со SCADA-системами, их функциями и использованием их для проектирования автоматизированных систем контроля и управления сложными технологическими процессами.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

REFERENCES

1. **Komissarov Y.A., Gordееv L.S., Vent D.P.** Chemical technology: scientific bases of rectification processes. In 2 parts. Part 1: textbook for universities. 2nd ed., rev. and ext. Moscow: Yurait, 2021. 270 p. (in Russian).
2. **Muzipov H.N.** Integrated systems of engineering and control. SCADA: textbook. SPb.: Lan, 2022. 408 p. (in Russian).
3. **Pyavchenko T.A.** Automated information and control systems with the use of SCADA-system Trace Mode: textbook. SPb.: Lan, 2022. 336 p. (in Russian).
4. **Kangin V.V., Kangin M.V., Yamoldinov D.N.** Development of SCADA-systems: textbook. Moscow: Infra-Engineering, 2019. 564 p. (in Russian).
5. **Redko M.D., Redko A.D., Stegachev E.V.** Design of the scheme of the training and test bench simulating the pumping station operation. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2024. N 1 (284). P. 58-61. (in Russian). DOI: 10.35211/1990-5297-2024-1-284-58-61.
6. **Borodulin D.M.** Development of SCADA-project of the process of evaporation of milk in a two-hull vacuum evaporator plant. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij*. 2023. Vol. 85. N 2 (96). P. 32-37. (in Russian). DOI: 10.20914/2310-1202-2023-2-32-37.

7. **Nasser A.I., Sahrab A.A., Kadhim H.M.** Design and simulation of remote monitoring of the intelligent automatic control system in the production line. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*. 2024. Vol. 13. N 1. P. 133. DOI: 10.11591/ijai.v13.i1.pp133-142.
8. **Федорова Э.Р., Русинов Л.А., Пупышева Е.А., Моргунов В.В.** Программный тренажер системы управления для печи кипящего слоя. *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. 2023. № 67 (93). С. 79-84. DOI: 10.36807/1998-9849-2023-67-93-79-84.
9. **Валиуллин Р.** Разработка и применение тренажеро-имитаторов на примере нефтеперекачивающей станции. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2023. № 12 (138). С. 1-15. DOI: 10.23670/IRJ.2023.138.186.
10. **Невиницын В.Ю., Лабутин А.Н., Хабибуллин Н.М.** Симулятор системы контроля и управления теплообмен-ником смешения. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2022. № 4 (72). С. 40-46. DOI 10.6060/snt.20227204.0006.
11. **Невиницын В.Ю., Лабутин А.Н., Макарова Е.В.** Программно-технический комплекс для автоматизи-рованного проектирования алгоритмов управления технологическими объектами. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2021. № 4(68). С. 56-62. DOI 10.6060/snt.20216804.0008.
12. **Абрамова Е.А., Капралова М.А.** Построение автоматизированной системы мониторинга и управления производственной деятельности промышленного предприятия. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2020. № 4(64). С. 56-63.
13. **Блиничев В.Н., Лабутин А.Н. и др.** Проблемы разработки энерго- и ресурсосберегающих процессов, реакторных систем и оборудования интенсивного действия, моделирования и оптимального управления. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66, вып.7. С. 185-202. DOI:10.6060/ivkkt.20236607.6845j
7. **Nasser A.I., Sahrab A.A., Kadhim H.M.** Development of SCADA-project of the evaporation process of milk in a two-hull vacuum evaporator plant. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*. 2024. Vol. 13. N 1. P. 133. DOI: 10.11591/ijai.v13.i1.pp133-142.
8. **Fedorova E.R., Rusinov L.A., Pupysheva E.A., Morgunov V.V.** Program simulator of control system for fluidized bed furnace. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)*. 2023. N 67 (93). P. 79-84. (in Russian). DOI: 10.36807/1998-9849-2023-67-93-79-84.
9. **Valiullin R.** Design and application of simulators-imitators on the example of oil pumping station. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2023. N 12 (138). P. 1-15. (in Russian). DOI: 10.23670/IRJ.2023.138.186.
10. **Nevinitsyn V.Yu., Labutin A.N., Khabibulin N.M.** Simulator of the control and monitoring system of the mixing heat exchanger. *Modern high technologies. Regional application*. 2022. N 4 (72). P. 40-46. (in Russian). DOI 10.6060/snt.20227204.0006.
11. **Nevinitsyn V.Yu., Labutin A.N., Makarova E.V.** Software and hardware complex for the automated design of control algorithms of technological objects. *Modern high technologies. Regional application*. 2021. N 4(68). P. 56-62. (in Russian). DOI 10.6060/snt.20216804.0008.
12. **Abramova E.A., Kapralova M.A.** Building an automated system of monitoring and control of production activity of an industrial enterprise. *Modern high technologies. Regional application*. 2020. N 4 (64). P. 56-63. (in Russian).
13. **Blinichev V.N., Labutin A.N. et al.** Problems of development of energy- and resource-saving processes, reactor systems and equipment of intensive action, modeling and optimal control. *Izv.vuzov. Chemistry and chemical technology*. 2023. Vol. 66, issue 7. P. 185-202. DOI:10.6060/ivkkt.20236607.6845j

Поступила в редакцию 05.04.2024
Принята к опубликованию 08.05.2024

Received 05.04.2024
Accepted 08.05.2024