

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

DOI: 10.15593/2224-9400/2018.4.10

УДК 65.011.56

А.В. Белов, Д.А. Отавин, П.Ю. Сокольчик

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ МОДУЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ПУСКОНАЛАДКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ УСТАНОВОК

Технический уровень современных систем автоматического управления технологическими процессами и производствами предполагает не только высокую квалификацию специалистов, которые проектируют, производят монтаж, обслуживают такие системы, но и требует компетенций в разных областях науки и техники, умения объединять знания из различных областей и воплощать их в виде комплексных решений. При подготовке специалистов в области автоматизации важно уделять внимание интеграции знаний. Так, например, при разработке систем автоматического управления насосных и компрессорных установок, мешалок аппаратов, приводов сушилок и т.п. разработчиками и наладчиками систем управления решаются задачи, связанные с разработкой алгоритмов управления, программ для контроллеров и станций оператора, конфигурированием экранов оператора, промышленных сетей полевого и управляющего уровней, разработкой, монтажом и наладкой электрических схем и др. Статья посвящена разработке методического лабораторного стенда, позволяющего при подготовке персонала предприятий, связанного с разработкой и эксплуатацией систем управления рассматривать перечисленные задачи в комплексе. Разработанный учебно-методический лабораторный стенд имитирует технологический агрегат с электродвигателем, управляемый малоканальным процессорным контролером с помощью местного (локального) управления, местной панели оператора и со станции оператора. Такие установки периодического действия с местным управлением особенно характерны для периодических малотоннажных производств цементных и других строительных смесей, лакокрасочных и фармацевтических производств и т.п.

Учебно-методический стенд позволяет осваивать следующие операции: разработка, монтаж и наладка схем пуска электродвигателей, схем подключения к УСО контроллера; разработка и программирование алгоритма управления на языках программирования технологических контроллеров LD, ST, FBD, IL; подключение

интерфейсов RS232, RS485, и конфигурирование протоколов (на примере Modbus); разработка экранов оператора.

Ключевые слова: система автоматизации, иерархические системы управления, подготовка кадров, микропроцессорные средства автоматизации и управления.

A.V. Belov, D.A. Otavin, P.Yu. Sokol'chik

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

**EDUCATIONAL-METHODICAL MODULAR COMPLEX
FOR TRAINING SPECIALISTS IN THE FIELD OF AUTOMATION
OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN START-UP
OF ADJUSTMENT OF INDUSTRIAL
AUTOMATED INSTALLATIONS**

The technical level of modern systems of automatic control of technological processes and production involves not only highly qualified specialists who design, install, maintain such systems, but also require competences in various fields of science and technology, the ability to combine knowledge from various fields and implement them in the form of complex making. When training specialists in the field of automation it is important to pay attention to the integration of knowledge. For example, in the development of automatic control systems for pumping and compressor installations, apparatus agitators, dryers drives, etc. developers and adjusters of control systems solve problems related to the development of control algorithms, programs for controllers and operator stations, configuring operator screens, industrial field and control level networks, development, installation and commissioning of electrical circuits, etc. The article is devoted to developing personnel of enterprises associated with the development and operation of control systems consider the listed tasks as a whole. The developed educational-methodical laboratory bench simulates a technological unit with an electric motor controlled by a low-channel processor controller using local (local) control, the local operator panel and from the operator's station. Such plants of periodic operation with local control are especially characteristic of periodical low-tonnage production, such as cement and other construction mixtures, paint and varnish and pharmaceutical production, etc.

The educational and methodical stand allows you to master the following operations: development, installation and commissioning of motor start-up circuits, connection diagrams to the DCO controller; development and programming of the control algorithm in the programming languages of the process controllers LD, ST, FBD, IL; connection of RS232, RS485 interfaces, and configuration of protocols (for example, Modbus); development of operator screens.

Keywords: automation system, hierarchical control systems, training, microprocessor automation and control.

Современные автоматизированные системы управления технологическими процессами представляют собой совокупность технического обеспечения (в т.ч. технических, программно-технических средств автоматизации), программного обеспечения (общего и специального), информационного обеспечения и др. Специалисты, как разработчики систем автоматизации, так и эксплуатационный персонал, обычно сталкиваются с задачами, связанными с интеграцией подсистем АСУТП. При этом надо учитывать как связь между собой смежных систем, так и связь по уровням (полевой, управляющий, вычислительный [16]). При переподготовке специалистов одной из проблем является предоставление действующих систем, имеющих все уровни управления. В настоящее время часто можно столкнуться с виртуальным представлением АСУТП. В этом случае нельзя работать с полевым уровнем (например, задействовать монтажные и наладочные работы). Если лабораторная установка позволяет изучать совместно полевой, управляющий и вычислительный уровень, то обычно такая установка имеет высокую стоимость. Одним из решений, позволяющим работать с реальными физическими сигналами, является имитация полевого оборудования с помощью вычислительных моделей с последующим выводом значений технологических параметров через аналоговые и дискретные входы/выходы [13]. Однако такой способ не позволяет осваивать реальные монтажные и пусконаладочные работы.

Разработанный учебно-методический стенд (далее стенд) решает задачу освоения связи подсистем АСУТП по уровням. Стенд представляет собой совокупность нескольких модулей, таких как модуль контроллеров (управляющий уровень), модуль местного управления электроприводом (полевой уровень) (рис. 1) и др.

Основой модуля контроллеров послужил микропроцессорный комплекс «Овен» [15], включающий в себя программно-логический контроллер, модули расширения, панель оператора. Основанием для выбора послужила невысокая стоимость, качественная документация на русском языке, возможность расширения с помощью дополнительных модулей, поддержка комплекса классических промышленных интерфейсов [16]. Так, например, модуль позволяет работать с интерфейсами Ethernet, RS-232, RS-485, USB и промышленным протоколом ModBus.

Для реализации модуля местного оборудования выбрана задача пуска двигателя насоса. Модуль содержит промышленное оборудова-

ние, с помощью которого можно сформировать местный пост управления электродвигателем. При этом рабочее напряжение схемы 24 В, что позволяет безопасно вести монтаж и пусконаладку.

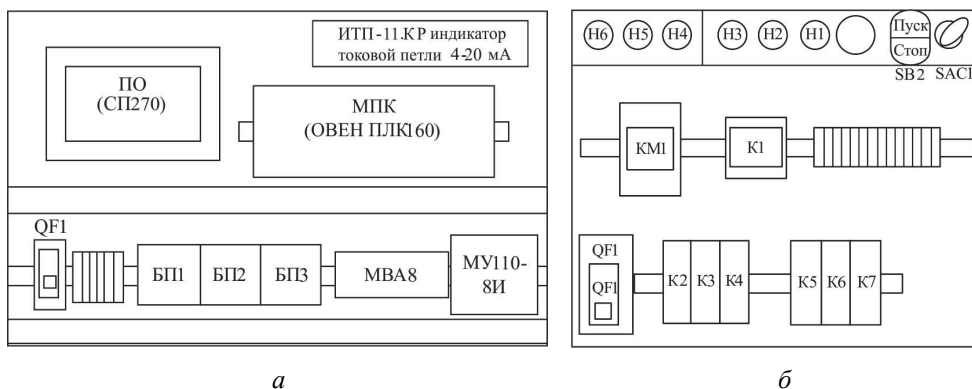


Рис. 1. Общие виды конструкций модулей стенда: *а* – модуль контролеров; *б* – модуль оборудования по месту

Для программирования контроллеров и разработки верхнего уровня управления задействована среда разработки CoDeSys [2] версии 2.3.

Структура стенда может изменяться и перенастраиваться в зависимости от обрабатываемой задачи. В общем виде она представлена на рис. 2.

На верхнем (вычислительном) уровне расположены: инженерная станция для конфигурирования панели оператора (панели местного управления), микропроцессорного контроллера (МПК), разработки программного обеспечения контроллера, разработки мнемосхем; станция оператора, позволяющая управлять процессом с помощью разработанной SCADA.

Для реализации уровня управления использованы: панель оператора «ОВЕН СП270», микропроцессорный промышленный контроллер «ОВЕН ПЛК160». Связь между панелью и контроллером осуществляется по схеме Master/Slave [1] с помощью протокола Modbus по интерфейсу RS-232 [6]. В общедоступной среде CoDeSys микропроцессорный контроллер может быть запрограммирован на языках программирования технологических контроллеров по стандарту МЭК 61131-3 (рис. 3): языках диаграмм функциональных блоков (FBD), релейных диаграмм (LD), низкоуровневом языке (IL) [3–5, 7].

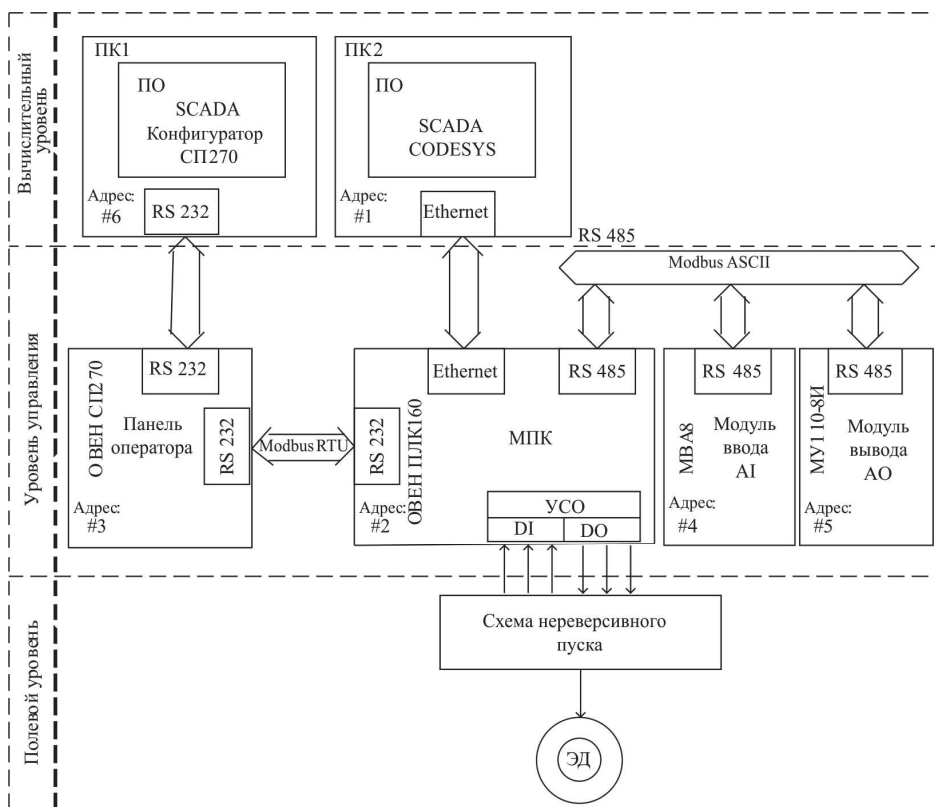


Рис. 2. Структурная схема учебно-методического стенда: ПК1 – инженерная станция; ПК2 – станция оператора; МПК – процессорный контролер «ОВЕН ПЛК160»; ЭД – электродвигатель; МВА, МУ110 – модули ввода и вывода аналоговых сигналов

Уровень объекта управления (полевой уровень) представлен схемой пуска электродвигателя и подключается к устройству связи с объектом (УСО) контроллера и модулям расширения через устройства гальваноразвязки [8].

Представленная архитектура позволяет формировать следующие навыки при повышении квалификации специалистов предприятий:

- разрабатывать, монтировать и производить наладку электрических схем (на примере управления электроприводом);
- разрабатывать алгоритмы управления и представлять их на языках программирования по МЭК 61131-3;
- конфигурировать микропроцессорные средства автоматизации, с последующей загрузкой специального ПО;
- работать по конфигурированию и наладке промышленных интерфейсов; работать с промышленными протоколами (на примере Modbus RTU, Modbus ASCII, Modbus TCP);

- разрабатывать мнемосхемы для станций SCADA и местных панелей оператора;
- производить комплексную наладку систем управления.

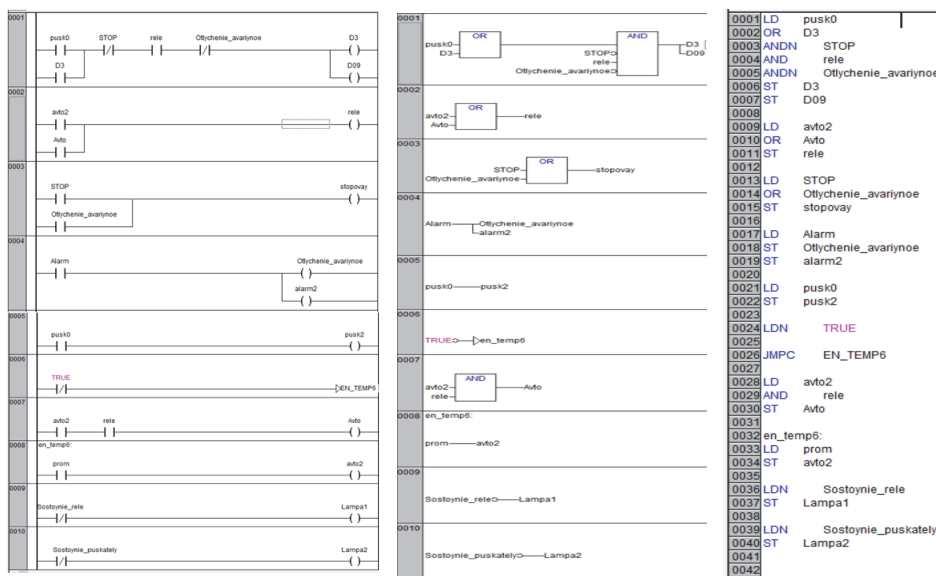


Рис. 3. Фрагменты программы управления насосом: а – язык LD; б – язык FBD; в – язык IL

Кроме того, подобная архитектура может быть использована для формирования автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) [9].

В качестве примера работы со стендом рассмотрена задача управления приводом насоса [10–12]. На модуле оборудования по месту собирается схема пуска двигателя с местными кнопками управления и переключателем режимов «местный/дистанционный». Обеспечивается гальваническая развязка всех дискретных сигналов. Производится конфигурирование микропроцессорного контроллера и панели оператора. Осуществляется конфигурирование управляющей сети. Разрабатываются мнемосхемы местной панели оператора и станции оператора (рис. 4).

Формируется алгоритм пуска. Для ситуации управления электродвигателем с местного поста, местной панели и станции оператора пуск будет осуществлен, если будет дана команда с местного поста, местной панели оператора или станции оператора и не дана команда, запрещающая пуск. Дискретные сигналы обозначены как: x_1, x_2, x_3, x_4 .

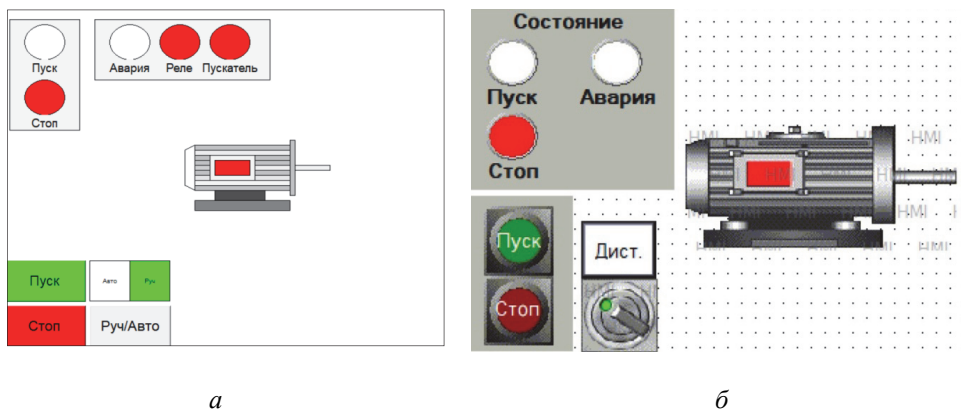


Рис. 4. Варианты мнемосхем оператора: *а* – мнемосхема станции оператора; *б* – мнемосхема панели оператора

Выходной сигнал на пуск двигателя формируется следующим образом:

$$y = x_1 \wedge \bar{x}_2 \wedge x_3 \wedge \bar{x}_4,$$

где x_1 – дискретный сигнал пуска двигателя с помощью панели оператора или станции оператора; x_2 – дискретный сигнал остановки электродвигателя, формируемый панелью оператора или станцией оператора; x_3 – дискретный сигнал переключения режимов «местный/дистанционный»; x_4 – дискретный сигнал аварийного отключения с аварийного выключателя.

Логическое выражение для контроллера на языке LD представлено на рис. 5.

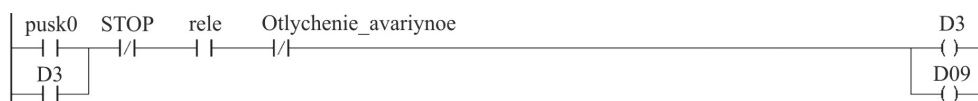


Рис. 5. Фрагмент программы на языке LD пуска двигателя. Переменные программы: «pusk0» – x_1 ; «STOP» – x_2 ; «rele» – x_3 ; «Otluchenie_avariynoe» – x_4 ; «D09» – дискретный сигнал состояния электродвигателя; «D3» – выходной сигнал на пуск двигателя

Запуск электродвигателя возможен, если не нажата кнопка «Стоп» одной из мнемосхем (переменная «STOP»), не нажата кнопка аварийного отключения одной из мнемосхем (переменная «Otluchenie_avariynoe»), переключатель режимов «местный/дистанционный» (переменная «rele») не переведен в состояние «руч». Если эти условия выполняются, тогда при нажатии кнопки мнемосхемы «пуск» (переменная «pusk0») сигнал переходит на дискретный выход с одно-

временным самоподхватом (переменная «D3») и включает электромагнитный пускатель, который подает питание на электродвигатель.

Аналогично составляются и формируются команды на аварийный останов и запрет включения электродвигателя (рис. 6 и 7).

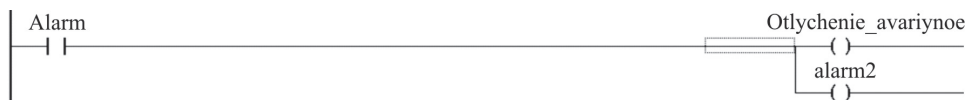


Рис. 6. Фрагмент программы на языке LD аварийной блокировки работы электродвигателя: «alarm» – дискретный сигнал аварии; «Отlychenie_avariynoe» – команда на аварийный останов; «alarm2» – сигнал аварии для вывода на мнемосхему

Дискретный сигнал об аварии (переменная «Alarm») поступает в контроллер для формирования сигнала аварийного отключения электродвигателя (переменная «Отlychenie_avariynoe»). Переменная «alarm2» использована для индикации аварии на мнемосхемах.



Рис. 7. Фрагмент программы на языке LD переключения режимов «местный/дистанционный». Переменные программы: «prom» – дискретный сигнал переключателя режимов «местный/дистанционный»; «Avto2» – дискретный сигнал включенного режима «местный/дистанционный»; «Avto» – дискретный сигнал для отображения на мнемосхемах; «rele» – включает дистанционный режим

Чтобы запустить электродвигатель с панели оператора (станции оператора), необходимо перевести переключатель в состояние «дистанционный».

Аналогичные функции реализованы аппаратно с помощью электрических кнопок и переключателей, установленных на модуле оборудования по месту.

Список литературы

1. Петров И.В. Программирование контроллеров. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / под ред. проф. В. П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2015. – 256 с. – (Серия «Библиотека инженера»).

2. Ильюхин В.Н. Программирование промышленных логических контроллеров «ОВЕН» в системе «CoDeSys» / Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. акад. С.П. Королева. – Самара, 2012. – 47 с.

3. Максимычев О.И., Либенко А.В., Виноградов В.А. Программирование логических контроллеров (PLC): учеб. пособие. – М.: МАДИ, 2016. – 188 с.
4. Парр Э. Программируемые контроллеры: руководство для инженера. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 516 с.
5. Деменков Н.П. Язык программирования промышленных контроллеров: учеб. пособие / под ред. К.А. Пупкова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 172 с.
6. Кузьминов А.Ю. Интерфейс RS232. Связь между компьютером и микроконтроллером. – М.: Радио и связь, 2004. – 168 с.
7. Минаев И.Г., Самойленко В.В. Программируемые логические контроллеры: практическое руководство для начинающего инженера. – Ставрополь: АГРУС, 2009. – 100 с.
8. Кисаримов Р.А. Справочник электрика. – М.: ИП РАдиоСофт, 1999. – 320 с.
9. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с.
10. Соркин М. Асинхронные электродвигатели 0,4 кВ. Аварийные режимы работы // Новости ЭлектроТехники. – 2005. – № 2(32). – С. 36–38.
11. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: учеб. для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
12. Ермаков М. Плавный пуск – от теории к практике // Компоненты и Технологии. – 2006. – № 2. – С. 118–122.
13. Сокольчик П.Ю., Сташков С.И., Баранцев В.Г. Способ проверки оборудования системы управления и его предварительной наладки с применением универсального стенда имитации объекта управления // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2018. – № 1. – С. 34–42.
14. Анашкин А.С., Кадыров Э.Д., Хазаров В.Г. Техническое и программное обеспечение распределенных систем управления. – СПб.: П-2, 2004. – 368 с.
15. Алексеев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств на основе приборов ОВЕН. Руководство по выполнению базовых экспериментов. АТП.002 РБЭ (989.1) / под ред. П.Н. Сенигова. – Челябинск: Учебная техника, 2015. – 166 с.
16. Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа: учеб. пособие для вузов / Е.Б. Адреев, А.И. Ключников, А.В. Кротов, В.Е. Попадько, И.Я. Шарова. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2008. – 399 с.

References

1. Petrov I.V. Programmirovaniie kontrollerov. Standartnye iazyki i priemy prikladnogo proektirovaniia [Programming controllers. Standard languages and techniques of applied design]. Ed. V.P. D'iakonova., Moscow, SOLON-Press, 2015, 256 p.
2. Il'iukhin V.N. Programmirovaniie promyshlennykh logicheskikh kontrollerov «OVEN» v sisteme «CoDeSys» [Programming of industrial logic controllers “OWEN” in the CoDeSys system]. «Samarskii Gosudarstvennyi aerokosmicheskii universitet imeni akademika S.P. KOROLEVA»
3. Maksimychev O.I., Libenko A.V., Vinogradov V.A. Programmirovaniie Logicheskikh Kontrollerov (PLC) [Programming Logic Controllers (PLC): proc. manual]. Moscow, MADI, 2016, 188 p.
4. Parr E. Programmiruemye kontrollery, rukovodstvo dlia inzhenera [Programmable controllers: a manual for the engineer]. Moscow, BINOM. Laboratoriia znaniy, 2007, 516 p.
5. Demenkov N.P. Iazyk programmirovaniia promyshlennykh kontrollerov [Programming Language for Industrial Controllers: Study Guide]. Ed. K.A. Pupkova. Moscow, Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2004, 172 p.
6. Kuz'minov A.Iu. Interfeis RS232. Sviaz' mezhdu komp'iuterom i mikrokontrollerom [Communication between a computer and a microcontroller]. Moscow, Radio i sviaz', 2004, 168 p.
7. Minaev I.G., Samoilenko V.V. Programmiruemye logicheskie kontrollery: prakticheskoe rukovodstvo dlia nachinaiushchego inzhenera [Programmable logic controllers: a practical guide for a novice engineer]. Starvopol, AGRUS, 2009, 100 p.
8. Kisarimov R.A. Spravochnik elektriika [Handbook electrician]. Moscow, IP RAdioSoft, 1999, 320 p.
9. Denisenko V.V. Komp'iuternoe upravlenie tekhnologicheskim protsessom, eksperimentom, oborudovaniem [Computer control of technological process, experiment, equipment]. Moscow, Goriachaia liniia ,Telekom, 2009, 608 p.
10. Sorkind M. Asinkhronnye elektrodvigateli 0,4 kV. Avariinye rezhimy raboty [Asynchronous electric motors 0.4 kV. Emergency operation modes]. *Novosti ElektroTekhniki*, 2005, no. 2(32).
11. Kliuchev V.I., Terekhov V.M. Elektroprivod i avtomatizatsiia obshchepromyshlennykh mekhanizmov [Electric drive and automation of common industrial mechanisms]. Moscow, Energiia, 1980, 360 p.
12. Mikhail Ermakov. Plavnyi pusk, ot teorii k praktike [Smooth start-up – from theory to practice]. *Komponenty i Tekhnologii*, 2006, no. 2.
13. Sokol'chik P.Iu., Stashkov S.I., Barantsev V.G. Sposob proverki oborudovaniia sistemy upravleniia i ego predvaritel'noi naladki s primeneniem universal'nogo stenda imitatsii obekta upravleniia [The method of checking the

control system equipment and its preliminary adjustment using the universal stand of the control object simulation]. *Vestnik PNIPU. Khimicheskaiia tekhnologiia i biotekhnologiia*, 2018, no. 1, pp. 34-44.

14. Anashkin A.S., Kadyrov E.D., Khazarov V.G. Tekhnicheskoe i programmnoe obespechenie raspredelennykh sistem upravleniia [Technical and software of distributed control systems]. S. Peterburg, «P-2», 2004, 368 p.

15. Alekseev G.P. Avtomatizatsiia tekhnologicheskikh protsessov i proizvodstv na osnove priborov OVEN. Rukovodstvo po vypolneniiu bazovykh eksperimentov. АТТР.002 RBE (989.1) [Automation of technological processes and production on the basis of devices ARIES. A guide to performing basic experiments. АТТР.002 RBE (989.1)]. Ed. P.N. Senigova, Cheliabinsk: IPTs «Uchebnaia tekhnika», 2015, 166 p.

16. Adreev E.B., Kliuchnikov A.I., Krotov A.V., Popad'ko V.E., Sharova I.Ia., Avtomatizatsiia tekhnologicheskikh protsessov dobychi i podgotovki nefti i gaza [Automation of Technological Processes of Oil and Gas Extraction and Treatment]. Moscow, ООО «Nedra-Biznestsentr», 2008, 399 p.

Получено 06.11.2018

Об авторах

Белов Александр Викторович (Пермь, Россия) – бакалавр кафедры оборудования и автоматизации химических производств Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, Пермь, ул. Профессора Поздеева, 9, корпус Б, e-mail: Sasha.belov.13@mail.ru).

Отавин Денис Алексеевич (Пермь, Россия) – бакалавр кафедры оборудования и автоматизации химических производств Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, Пермь, ул. Профессора Поздеева, 9, корпус Б, e-mail: graphics8.intel8@yandex.ru).

Сокольчик Павел Юрьевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры оборудования и автоматизации химических производств Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, Пермь, ул. Профессора Поздеева, 9, корпус Б, e-mail: htfz@pastu.ru).

About the authors

Aleksandr V. Belov (Perm, Russian Federation) – Bachelor, Department of Equipment and Automation of Chemical Production, Perm National Research Polytechnic University (9, Building B, Professor Pozdeev str., Perm, 614013, e-mail: Sasha.belov.13@mail.ru).

Denis A. Otavin (Perm, Russian Federation) – Bachelor, Department of Equipment and Automation of Chemical Production, Perm National Research Polytechnic University (9, Building B, Professor Pozdeev str., Perm, 614013, e-mail: Sasha.belov.13@mail.ru).

Pavel Yu. Sokol'chik (Perm Russian Federation) – Ph.D in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Equipment and Automation of Chemical Production, Perm National Research Polytechnic University (9, Building B, Professor Pozdeev str., Perm, 614013, e-mail: htfz@pastu.ru).