

Научная статья  
УДК 004.78  
doi: 10.34822/1999-7604-2022-2-20-28

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОБОРУДОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

**Михаил Яковлевич Брагинский<sup>1✉</sup>, Дмитрий Викторович Тараканов<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup>Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

<sup>1</sup>[braginskij\\_my@urgu.ru](mailto:braginskij_my@urgu.ru)<sup>✉</sup>, <http://orcid.org/0000-0003-3679-4579>

<sup>2</sup>[tarakanov\\_dv@urgu.ru](mailto:tarakanov_dv@urgu.ru), <http://orcid.org/0000-0003-1851-1039>

**Аннотация.** Рассмотрена задача проектирования автоматизированной системы мониторинга лабораторного оборудования перед проведением занятия в вузе. Процедура мониторинга должна осуществляться дистанционно и призвана оперативно информировать службы технической поддержки в случае отклонения измеренных параметров от требуемых величин, указанных в нормативно-технической документации. Кроме того, необходимо осуществлять контроль состояния самого помещения (температура воздуха, напряжение в электрической сети, отсутствие протечек систем водоснабжения и отопления). Для реализации данного проекта использовались методы алгоритмизации и программирования контроллеров. Проведен предварительный этап E-сетевого моделирования рассматриваемой системы с целью имитации процессов отказа лабораторного оборудования. Представлены результаты проектирования системы: функциональная схема системы мониторинга оборудования, программное обеспечение для контроллера ПЛК200, разработанное в инструментальной среде CoDeSys. Указаны возможные пути дальнейшей работы в рамках рассматриваемой задачи.

**Ключевые слова:** контроллер, датчик, мониторинг, автоматизированные системы, E-сети

**Для цитирования:** Брагинский М. Я., Тараканов Д. В. Проектирование и моделирование системы мониторинга оборудования учебной лаборатории // Вестник кибернетики. 2022. № 2 (46). С. 20–28. DOI 10.34822/1999-7604-2022-2-20-28.

Original article

## DESIGNING AND MODELING A SYSTEM FOR MONITORING SCHOOL LABORATORY'S EQUIPMENT

**Mikhail Ya. Braginsky<sup>1✉</sup>, Dmitry V. Tarakanov<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup>Surgut State University, Surgut, Russia

<sup>1</sup>[braginskij\\_my@urgu.ru](mailto:braginskij_my@urgu.ru)<sup>✉</sup>, <http://orcid.org/0000-0003-3679-4579>

<sup>2</sup>[tarakanov\\_dv@urgu.ru](mailto:tarakanov_dv@urgu.ru), <http://orcid.org/0000-0003-1851-1039>

**Abstract.** The article considers the problem of designing an automated system for monitoring laboratory equipment prior to classes at a higher educational institution. The monitoring must be carried out remotely and promptly inform the technical support services should there be found deviations of the measured parameters from the required values specified in the regulatory and technical documentation. In addition to that, it is necessary to monitor the condition of the room itself (air temperature, voltage in the electrical network, no water and heat supply systems leakage). Methods of algorithmization and programming of controllers are used to implement the design. Simulation of laboratory equipment failure is carried out via preliminary stage of E-network modeling of the system. The results of the system design include the functional diagram of the equipment monitoring system and the software for the PLC200 controller developed in the CoDeSys tool environment. The study proposes possible ways for further research on the problem in question.

**Keywords:** controller, sensor, monitoring, automated systems, E-networks

**For citation:** Braginsky M. Ya., Tarakanov D. V. Designing and Modeling a System for Monitoring School Laboratory's Equipment // Proceedings in Cybernetics. 2022. No. 2 (46). P. 20–28. DOI 10.34822/1999-7604-2022-2-20-28.

## ВВЕДЕНИЕ

В условиях рыночной экономики происходит оптимизация расходов на содержание персонала отделов технической эксплуатации и обслуживания помещений, а также технического персонала лабораторий, в чьи обязанности входит проверка исправности лабораторного оборудования. Поэтому существует вероятность, что преподаватель и студенты, придя в лабораторию на занятие, могут столкнуться с отсутствием электропитания сети, низкой температурой воздуха в аудитории, протечкой воды в системах водоснабжения и отопления, а также отклонением рабочих параметров лабораторного оборудования.

Традиционно рабочие помещения оснащаются охранно-пожарной сигнализацией, поэтому было принято решение о проектировании системы мониторинга готовности учебной лаборатории к проведению занятий, включающей в себя только функции сигнализации о протечке воды, проверки наличия сетевого электропитания и исправности оборудования.

Обзор источников показывает, что с начала XXI века в мире стали широко развиваться концепции «умного окружения» (Smart environment) и «окружающего интеллекта» (Ambient intelligence) [2–3], которые впоследствии использовались для «умного обучения» и создания «умных лабораторий» [4–7]. В таких интеллектуальных системах существуют подсистемы управления контекстом, распознавания деятельности, а также индикаторы включения/выключения компьютеров.

Данная работа направлена на создание подсистемы мониторинга, которая может дополнить существующие решения в плане проверки исправности оборудования и готовности лаборатории к проведению занятий по дисциплине «Автоматизированные системы управления технологическими процессами» Политехнического института Сургутского государственного университета на базе концепции «Интернет вещей».

Данная проблема уже была описана во многих источниках. Например, в статье А. А. Жук и А. А. Яроцкой «Умная лаборатория» рассмотрен вопрос разработки электронных устройств и программно-аппаратного комплекса с применением технологии «Интернет вещей» для цифровизации учебной лабо-

ратории: «Наиболее приоритетным направлением для предприятия является создание “умной” среды на рабочем месте. Основным требованием “умного” рабочего места является его эргономичность, т. е. функциональность, организованность, комфорт, соответствие роду деятельности» [8, с. 29].

Схожую тему рассматривал А. И. Аверин в статье «Интеллектуальное управление домом» [9]. В данной работе описаны методы построения интеллектуального дома и управления им с помощью функции дистанционной оптимизации освещенности, отопления, защиты и управления домом (при помощи мобильных устройств и специальных брелоков).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проектирования автоматизированной системы мониторинга на начальном этапе была разработана E-сетевая [10] логико-динамическая модель, представленная на рис. 1. Данный формализм позволяет эффективно описывать дискретные параллельные взаимодействующие процессы. Использование рассматриваемой модели позволяет осуществлять имитацию процессов хранения и эксплуатации оборудования, оценивать влияние возмущающих факторов на используемое оборудование.

На рис. 1 срабатывание переходов  $T_1$  соответствует формированию потока фишек,  $V_1$  имитирует процесс формирования работоспособного оборудования в лаборатории и формирования начальной маркировки сети  $M(1, 1, 0, \dots, 0)$ . Каждый прибор ставится в соответствии с фишкой, атрибуты которой соответствуют названию оборудования, техническим условиям эксплуатации и хранения. Переход  $T_2$  выполняет функцию распределения оборудования по стеллажам. Данная процедура по умолчанию осуществляется в порядке возрастания номера места хранения. При необходимости в позиции  $R_1$  указывается порядок распределения оборудования по стеллажам. Переход  $T_3$  формирует поток фишек,  $V_2$  имитирует воздействия, приводящие к нарушению правил хранения и эксплуатации оборудования. К данным воздействиям можно отнести температуру воздуха, напряжение в электрической сети, протечки систем водоснабжения и отопле-

ния. Степень воздействия указана в атрибутах фишек  $V_2$  в виде нечетких множеств. На рис. 1 схематично представлена функция принадлежности  $\mu_{V_2}(x)$  внешнего фактора  $x$ , например температуры в помещении. Рассматриваемый фактор принимает три значения: низкий, средний и высокий уровень негативного воздействия на оборудование.

Формирование нечетких множеств осуществляется с помощью экспертных оценок. Отказ оборудования соответствует срабатыванию перехода  $T_{1,1}$  и занесению фишки (оборудования) в позицию  $S_{1,3}$ . Таким образом, генерируя поток событий  $V_2$ , можно имитировать аварийные ситуации и их последствия.

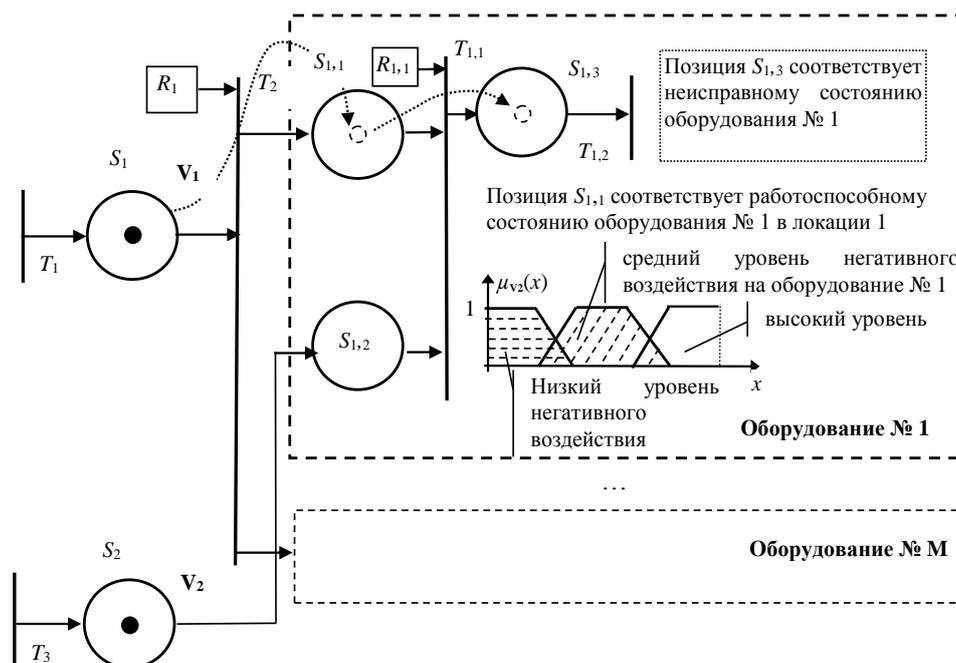


Рис. 1. Обобщенная E-сетевая логико-динамическая модель состояния оборудования  
 Примечание: составлено авторами.

В качестве технологии создания автоматизированной системы мониторинга лабораторного оборудования использовалась концепция «Интернет вещей» (IoT), получившая в настоящее время широкое развитие, а также концепция интеллектуальной фабрики (Smart Factory), которая подразумевает контроль промышленного оборудования с целью поиска проблемных зон для исключения отказов.

Архитектура системы мониторинга лабораторного оборудования, представленная на рис. 2, имеет иерархическую структуру, характерную для автоматизированных систем управления. На нижнем полевом уровне происходит сбор данных как с лабораторных, так и с контрольных датчиков. Модуль сбора данных Mx210 совместим с контроллером на аппаратном и программном уровне, что обеспечивается единым производителем оборудования – компанией «Овен». Далее данные

поступают на уровень управления технологическим процессом – на контроллер ПЛК200, который производит обработку и анализ этих данных, а также выдачу необходимых сигналов. На этом уровне существует возможность отображения данных на информационной жидкокристаллической панели оператора с настенным креплением СП310-Р, которую можно установить дополнительно к основному оборудованию, а также на WEB-панели оператора ВП110, обеспечивающей удаленный доступ. Информация с контроллера передается на вышележащий уровень визуализации и диспетчерского управления. На этом уровне расположен сервер с работающей SCADA-системой, которую можно разработать в среде программирования CoDeSys. Также есть возможность управления этой системой с удаленного компьютера через Интернет.

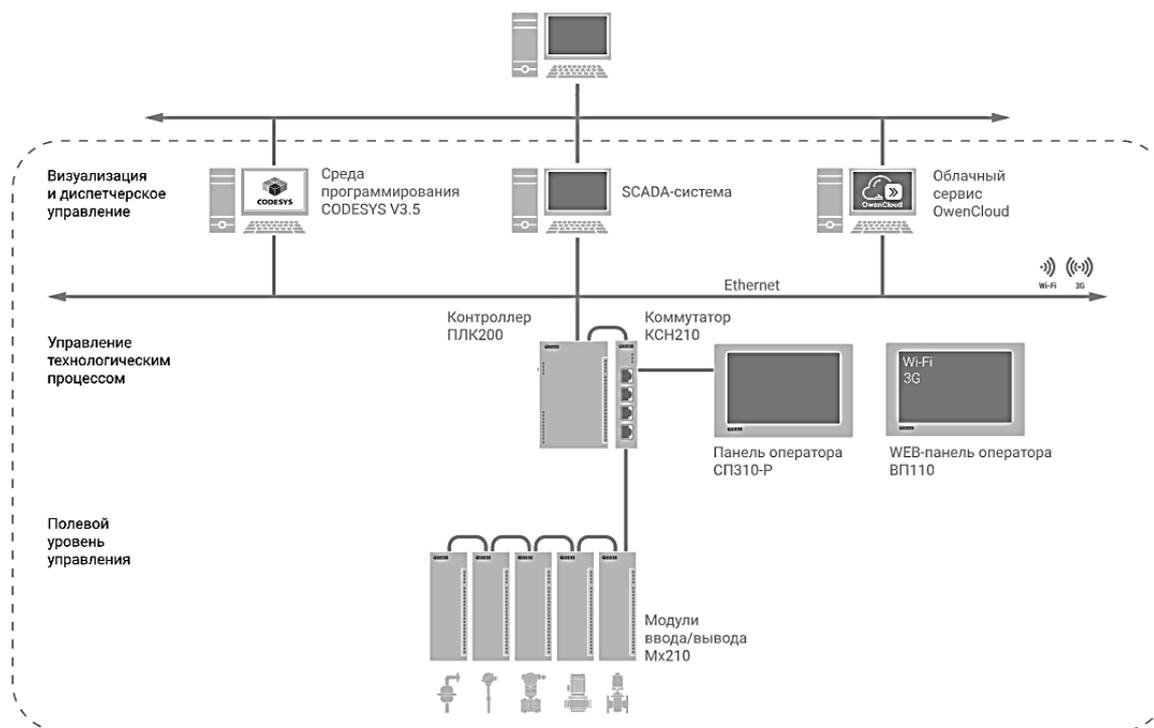


Рис. 2. Архитектура системы мониторинга лабораторного оборудования

Примечание: составлено авторами.

В лаборатории АСУ ТП, для которой разрабатывалась эта система, находятся 4 комплекта лабораторного оборудования, каждый из кото-

рых содержит датчик температуры «ТПУ 0304/М1-Н», датчик давления «ЭЛЕМЕР-100» и блок питания «БП 906А/24-2» (рис. 3).

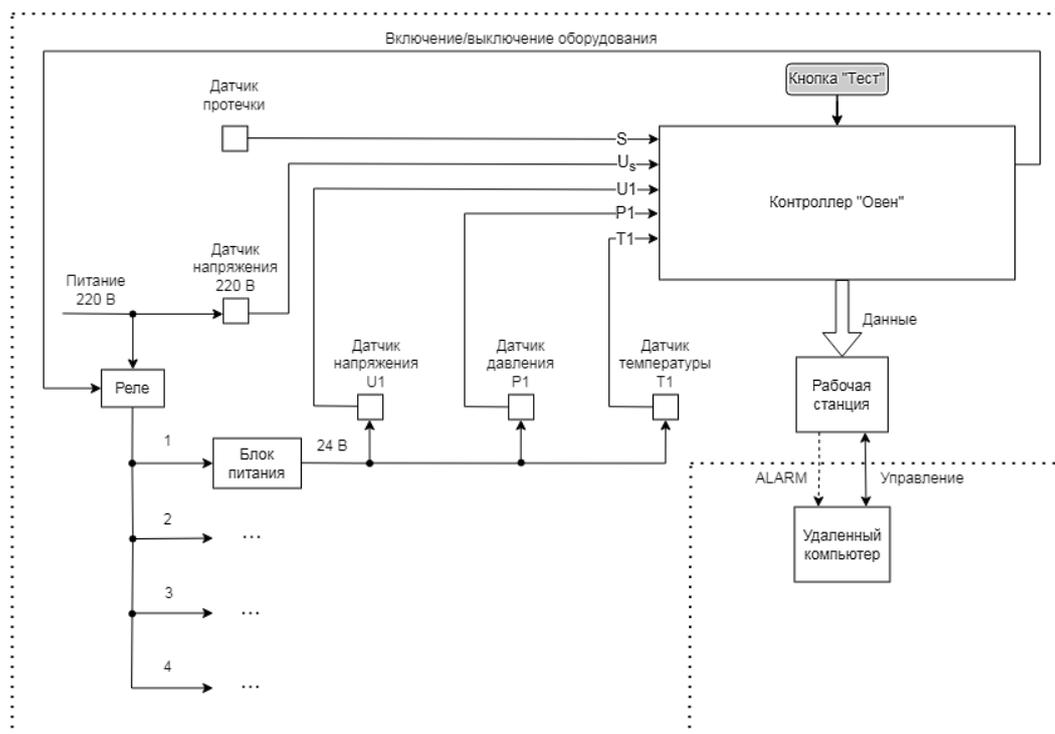


Рис. 3. Функциональная схема системы мониторинга лабораторного оборудования

Примечание: составлено авторами.

Система мониторинга постоянно считывает сигнал с датчика протечки и в случае наличия таковой передает сигнал на рабочую станцию и удаленный компьютер. Для тестирования оборудования (по нажатию кнопки «Тест» или по команде оператора) включается реле подачи питания, и показания всех датчиков считываются

контроллером ПЛК200 (продукт компании «Овен»).

Далее эти данные отображаются на рабочей станции с помощью специального экрана визуализации. Также предусмотрено резервное электропитание системы в случае отключения электроэнергии. Блок-схема работы системы представлена на рис. 4.

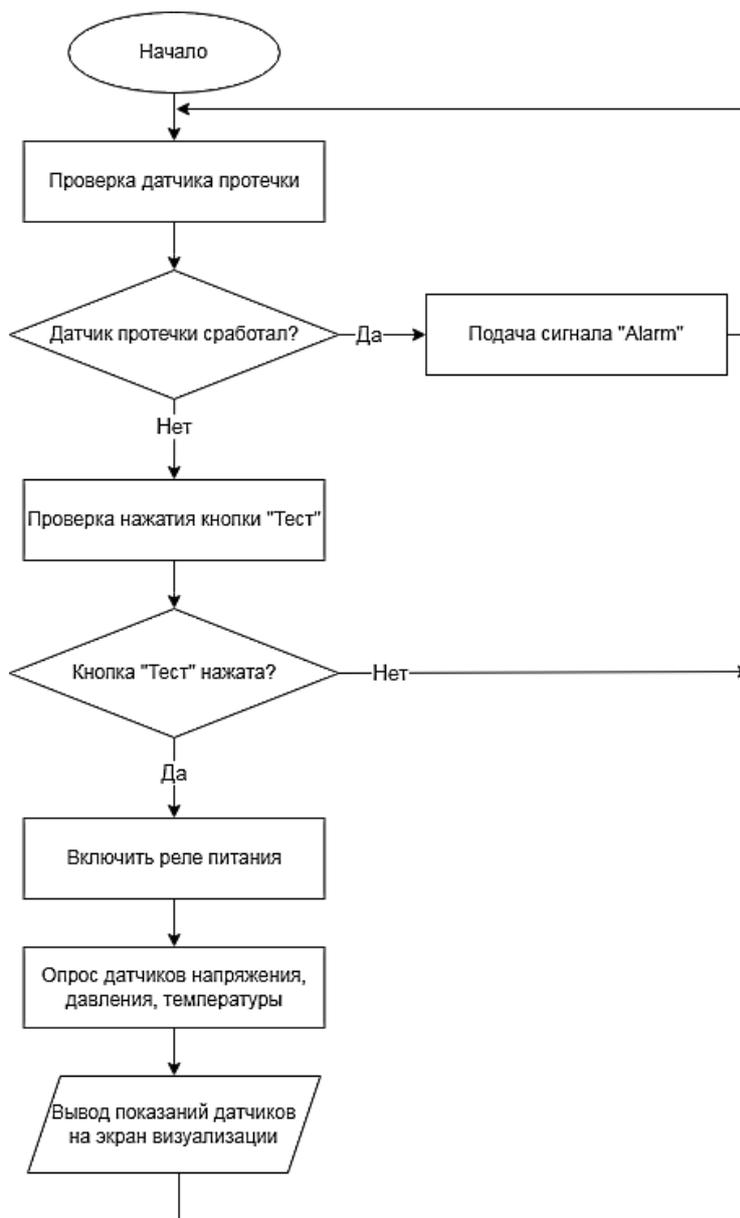
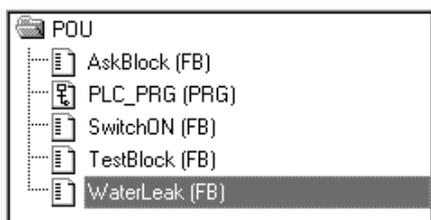


Рис. 4. Блок-схема программы

Примечание: составлено авторами.

Алгоритм реализован в инструментальной среде CoDeSys, версия 2.3.9.41. Программа состоит из 5 компонентов (рис. 5): четырех

функциональных блоков, написанных на языке IL (AskBlock, SwitchON, TestBlock, Water-Leak), и основной программы (PLC\_PRG).

**Рис. 5. Компоненты программы***Примечание:* составлено авторами.

В блоке WaterLeak происходит считывание датчика протечки (рис. 6). Если переменная INwater равна «true» (протечка обнаружена), то мы записываем аналогичное значение в переменную OUTalarm, тем самым оповестив оператора о тревожной ситуации.

0001	FUNCTION_BLOCK WaterLeak
0002	VAR_INPUT
0003	END_VAR
0004	VAR_OUTPUT
0005	END_VAR
0006	VAR
0007	OUTalarm: BOOL;
0008	END_VAR
0009	<
0001	LD PLC_PRG.INwater
0002	ST OUTalarm

**Рис. 6. Блок проверки протечки***Примечание:* составлено авторами.

Блок TestBlock осуществляет проверку нажатия кнопки «Тест». Если она нажата, происходит переход к процедуре тестирования оборудования лаборатории. Блок SwitchON подает управляющий сигнал на включение реле подачи питания на датчики температуры, напряжения и давления. Затем блок AskBlock считывает показания датчиков и передает их значения на экран визуализации, который находится на рабочей станции оператора. Объявление всех необходимых для работы переменных в основной программе в режиме тестирования представлено на рис. 7.

0001	PROGRAM PLC_PRG
0002	
0003	VAR_INPUT
0004	INu1: REAL:=100;
0005	INu2: REAL;
0006	INtemp: REAL:=-15;
0007	INp: REAL := 2.5;
0008	INtest: BOOL;
0009	INVtest:BOOL;
0010	END_VAR
0011	VAR_OUTPUT
0012	END_VAR
0013	VAR
0014	INwater:BOOL:=FALSE;
0015	INSwitchon: BOOL:=TRUE;
0016	WaterLeak:WaterLeak;
0017	SwitchON:SwitchON;
0018	AskBlock:AskBlock;
0019	INVwater: BOOL;
0020	END_VAR

**Рис. 7. Объявление переменных в основной программе***Примечание:* составлено авторами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Функционал разработанной системы заключается в отслеживании готовности учебной лаборатории к работе и дальнейшем отображении показаний датчиков температуры, напряжения и давления на экране визуализации. Для реализации вышеуказанного функционала использовалось программное

обеспечение CoDeSys в сочетании с датчиками температуры «ТПУ 0304/М1-Н», датчиками давления «ЭЛЕМЕР-100» и блоками питания «БП 906А/24-2». На рис. 8 показано расположение лабораторного оборудования на стеллаже хранения с подключением к контроллеру.

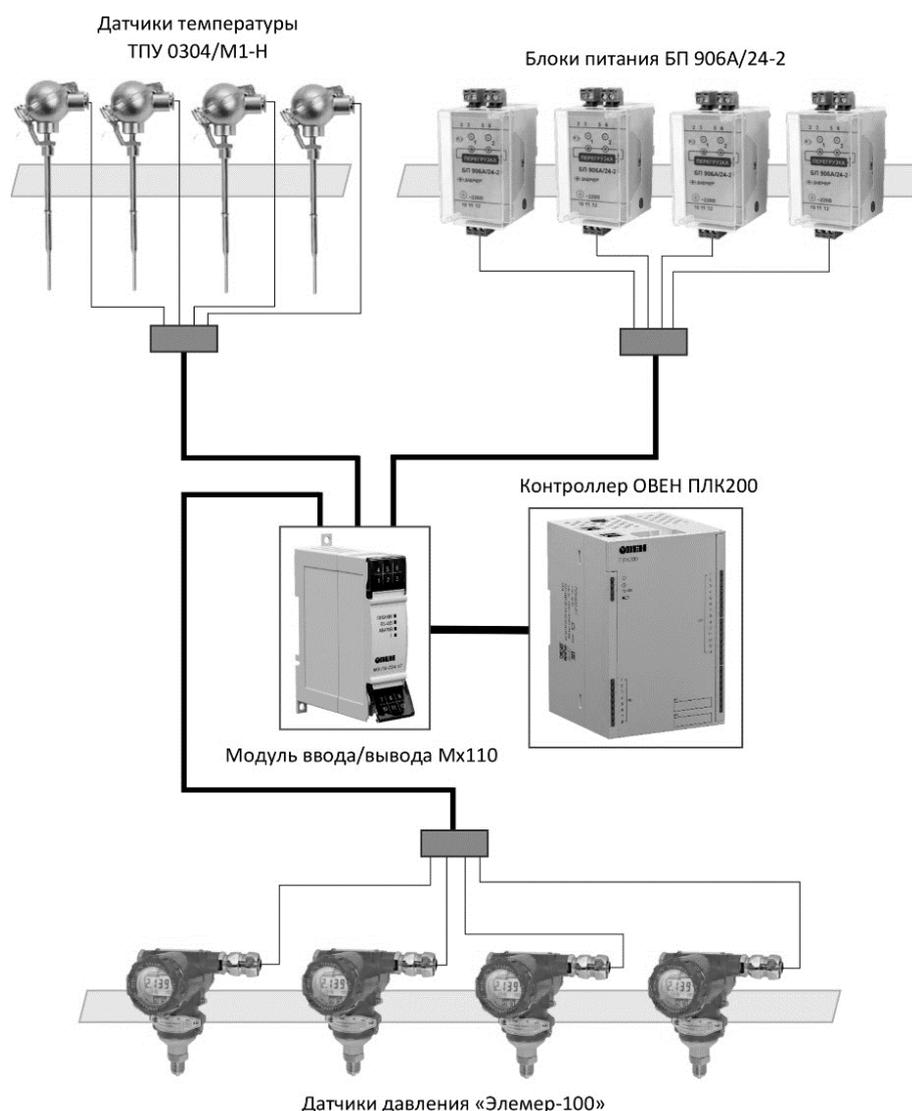
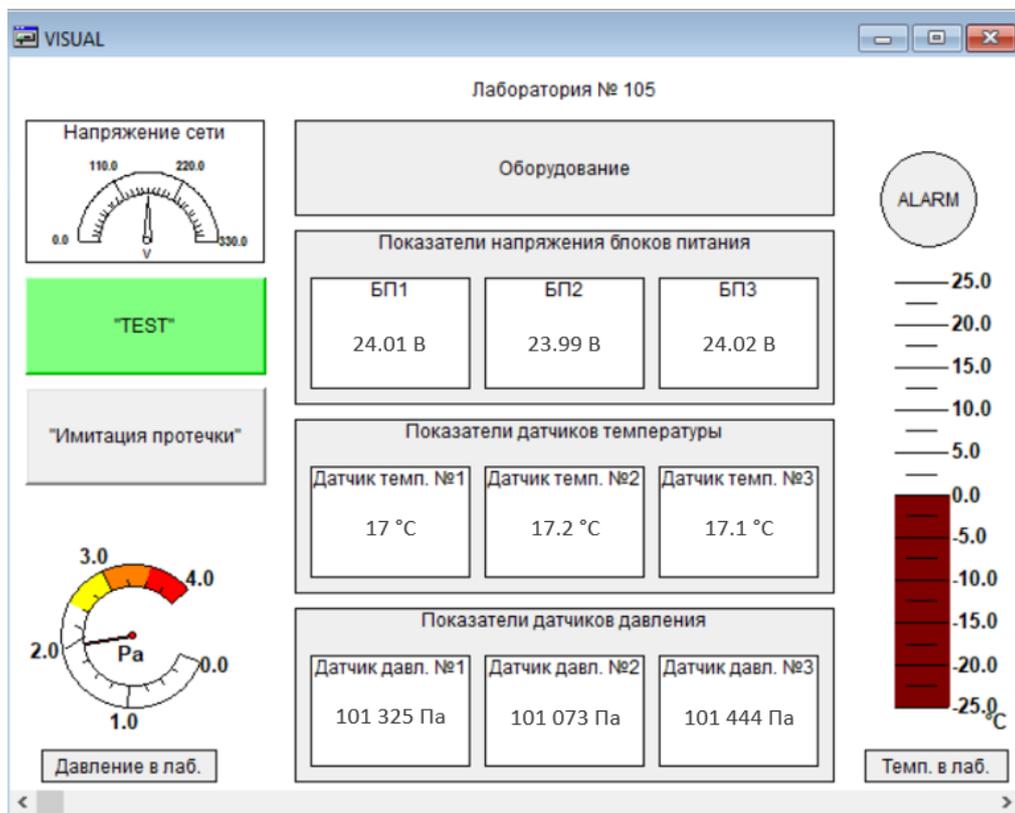


Рис. 8. Расположение лабораторного оборудования на стеллаже хранения  
Примечание: составлено авторами.

Внешний вид экрана визуализации системы, запущенной на рабочей станции и удаленном компьютере, представлен на рис. 9. Данный экран содержит показания датчиков

напряжения, датчиков давления, датчиков температуры, кнопку «Тест», кнопку симуляции наличия протечки, индикатор тревоги.



**Рис. 9. Экран визуализации**  
Примечание: составлено авторами.

После подачи питания контроллер обрабатывает сигнал с датчика протечки. Если нажата кнопка «Тест» и датчик протечки не сработал, контроллер подает сигнал на реле, которое осуществляет передачу напряжения на датчики температуры, давления и напряжения с помощью блока питания. Показания датчиков считываются контроллером и передаются на рабочую станцию. Далее эти данные отображаются на рабочей станции с помощью специального экрана визуализации. В случае протечки срабатывает сигнал тревоги ALARM и питание на реле не подается.

Разработанная пилотная версия системы мониторинга лабораторного оборудования прошла успешную апробацию в лаборатории АСУ ТП Сургутского государственного уни-

верситета. Представленное решение показало полное соответствие техническому заданию.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На данном этапе разработки проекта была создана пилотная система для четырех комплектов лабораторного оборудования, в дальнейшем планируется расширить не только их количество, но и номенклатуру. Кроме того, данная разработка может использоваться в качестве элемента обучения специалистов инженерной области. Для этого предполагается интегрировать разработанную E-сетевую модель, имитирующую аварийные ситуации, в автоматизированную систему мониторинга оборудования.

### Список источников

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021). Доступ из СПС «КонсультантПлюс».
2. Златоустов В. А., Горавнева Т. С., Пшеничная К. В. Разработка приложения для функционирования

### References

1. Technical Regulation on Requirements to the Fire Safety : Federal Law No. 123-FZ of 22.07.2008 (Amended on April 30, 2021). Accessed through Law assistance system "Consultant Plus". (In Russian).
2. Zlatoustov V. A., Goravneva T. S., Pshenichnaya K. V. Razrabotka prilozheniia dlia funktsionirovaniia

- «умной лаборатории» // Современные технологии в теории и практике программирования : сб. материалов науч.-практ. конф. СПб., 2021. С. 187–188.
3. Никифоров О. Ю. Актуальные концепции Интернета вещей // Постулат. 2017. № 4 (18). С. 67.
  4. Гаврилов А. В., Новицкая Ю. В. Умная учебная лаборатория автоматизации проведения лабораторных работ // Компьютер. инструменты в образовании. 2016. № 6. С. 20–32.
  5. Новицкая Ю. В., Семенов Е. И., Гаврилов А. В. Модель представления знаний о событиях для системы мониторинга // Робототехника и искусственный интеллект : материалы IX Всерос. науч.-технич. конф. с междунар. участием (РИИ-2017). Красноярск : Литера-принт, 2017. С. 182–187.
  6. Новицкая Ю. В., Семенов Е. И., Гаврилов А. В. Гибридная архитектура системы мониторинга умной учебной лаборатории // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : материалы IV Всерос. Пospelovской конф. с междунар. участием / под ред. А. В. Колесникова. Калининград : Изд-во Балтийского федер. ун-та им. Иммануила Канта, 2018. С. 281–288.
  7. Гаврилов А. В., Новицкая Ю. В. Система мониторинга умной учебной лаборатории // Робототехника и искусственный интеллект : материалы VII Всерос. науч.-технич. конф (РИИ-2015). Железногорск : СФУ, 2015. С. 177–182.
  8. Жук А. А., Яроцкая А. А. Умная лаборатория // КИП и автоматика: обслуживание и ремонт. 2021. № 2. С. 29–33.
  9. Аверин А. И. Интеллектуальное управление домом. «Умный дом» // European Science. 2015. № 4 (5). С. 5–7.
  10. Braginsky M. Ya., Tarakanov D. V., Tsapko S. G. Hierarchical Analytical and Simulation Modelling of Human-Machine Systems with Interference // J Phys: Conf Ser. 2017. Vol. 803. P. 012026.
- “umnoi laboratorii” // Sovremennye tekhnologii v teorii i praktike programmirovaniia : Proceedings of the Research-to-Practice Conference. St. Petersburg, 2021. P. 187–188. (In Russian).
3. Nikiforov O. Yu. Urgent Concepts of the Internet of Things // Postulat. 2017. No. 4 (18). P. 67. (In Russian).
  4. Gavrillov A. V., Novitskaya Yu. V. Smart School Laboratory for Automation of Laboratory Works // Computer Tools in Education. 2016. No. 6. P. 20–32. (In Russian).
  5. Novitskaya Yu. V., Semenov E. I., Gavrillov A. V. Model of Pseudophisic Logic for Describing of Events on Developing Programming Language Is Suggested // Robototekhnika i iskusstvennyi intellekt : Proceedings of the IX All-Russian Research-to-Practice Conference with International Participation (RAI-2017). Krasnoyarsk : Litera-print, 2017. P. 182–187. (In Russian).
  6. Novitskaya Yu. V., Semenov E. I., Gavrillov A. V. Gibridnaia arkhitektura sistemy monitoringa umnoi uchebnoi laboratorii // Gibridnye i sinergeticheskie intellektualnye sistemy : Proceedings of the IV All-Russian Pospelovsk Conference with International Participation / Ed. A. V. Kolesnikov. Kaliningrad : Publishing House Immanuel Kant Baltic Federal University, 2018. P. 281–288. (In Russian).
  7. Gavrillov A. V., Novitskaya Yu. V. Event Monitoring System of Smart School Laboratory // Robototekhnika i iskusstvennyi intellekt : Proceedings of the VII All-Russian Research-to-Practice Conference (RAI-2015). Zheleznogorsk : Siberian Federal University, 2015. P. 177–182. (In Russian).
  8. Zhuk A. A., Yarotskaya A. A. Smart Laboratory // KIP i avtomatika: obsluzhivanie i remont. 2021. No. 2. P. 29–33. (In Russian).
  9. Averin A. I. Intelligent Management of the House. Smart House // European Science. 2015. No. 4 (5). P. 5–7. (In Russian).
  10. Braginsky M. Ya., Tarakanov D. V., Tsapko S. G. Hierarchical Analytical and Simulation Modelling of Human-Machine Systems with Interference // J Phys: Conf Ser. 2017. Vol. 803. P. 012026.

#### Информация об авторах

**М. Я. Брагинский** – кандидат технических наук, доцент.

**Д. В. Тараканов** – кандидат технических наук, доцент.

#### Information about the authors

**M. Ya. Braginsky** – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor.

**D. V. Tarakanov** – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor.