

## *Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, системы автоматизации проектирования*

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 681.5; 62-52

DOI 10.30987/2658-6436-2023-1-4-11

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ СТЕНДА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА**

**Виталий Павлович Матлахов<sup>1</sup>, Виктор Александрович Хандожко<sup>2</sup> ✉, Алексей Владимирович Агеенко<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Брянский государственный технический университет, г. Брянск, Россия

<sup>1</sup> jed80@mail.ru

<sup>2</sup> vichandozhko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-5212-0616>

<sup>3</sup> alexeiageenko@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6365-1527>

**Аннотация.** Целью работы является автоматизация стенда, моделирующего технологическое оборудование резервуарных парков нефтепродуктов, включая гидравлическую часть и средства автоматизации управления и контроля, с использованием необходимых аппаратно-программных средств, для проведения исследований работы алгоритмов защит и блокировок, сигнализаций и автоматического управления согласно отраслевым регламентам и требованиям к микропроцессорным системам управления оборудованием опасных производственных объектов. Задачей является создание современной системы контроля уровня и температуры. Методы исследования: использованы метод системного анализа, теория автоматического управления, структурные решения человекомашинных систем, предназначенных для автоматизации производства и интеллектуальной поддержки процессов управления и необходимой для этого обработки данных в организационно-технологических и распределенных системах управления. Результаты исследования: разработана структурная схема стенда на базе известной трехуровневой модели типовой автоматизированной системы управления технологическими процессами для контроля уровня и температуры резервуарного парка. Новизна работы состоит в создании модели автоматизированной системы управления резервуарного парка с распределенной структурой для исследования ее работы. Выводы: предлагаемая автоматизированная система управления стенда системы контроля уровня и температуры является моделью реального резервуарного парка и реализует все базовые функции, связанные с автоматизацией технологических и контрольных операций, что позволяет выполнять исследование ее работы в лабораторных условиях. Она полностью вписывается в каноны проектирования современных автоматизированных систем управления технологическими процессами, что делает ее удачным предметом для изучения в рамках курсов повышения квалификации для слушателей и студентов учебных заведений по направлению «Автоматизированные системы управления нефтепроводного транспорта».

**Ключевые слова:** автоматизация, резервуарный парк, система управления

**Для цитирования:** Матлахов В.П., Хандожко В.А., Агеенко А.В. Автоматизация стенда системы контроля уровня и температуры резервуарного парка // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2023. №1 (19). С. 4-11. doi: 10.30987/2658-6436-2023-1-4-11.

Original article

Open Access Article

### **AUTOMATING THE STAND OF THE LEVEL AND TEMPERATURE CONTROL SYSTEM OF THE TANK FARMS**

**Vitaly P. Matlakhov<sup>1</sup>, Viktor A. Khandozhko<sup>2</sup> ✉, Alexey V. Ageenko<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

<sup>1</sup> jed80@mail.ru

<sup>2</sup> vichandozhko@gmail.com,

<sup>3</sup> alexeiageenko@mail.ru

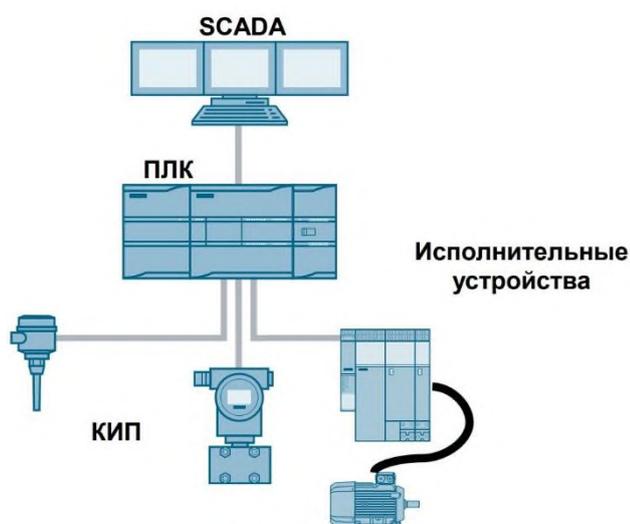
**Abstract.** *The aim of the work is to automate the stand that simulates the technological equipment of oil tank farms, including the hydraulic part and automation tools for controlling and monitoring, using the necessary hardware and software, to study the operation of protection and blocking algorithms, alarms and automatic control in accordance with industry regulations and requirements for microprocessor equipment control systems at hazardous production facilities. The objective is to create a modern level and temperature control system. The research uses the method of system analysis, the theory of automatic control, structural solutions of human-machine systems designed to automate production and intelligent support of control processes and the necessary data processing in organizational, technological and distributed control systems. As a result of the study a block diagram of the stand is developed based on the well-known three-level model of a typical automated process control system for monitoring the level and temperature of the tank farm. The novelty of the work lies in building a model of an automated control system for a tank farm with a distributed structure to study its operation. The findings of the research state that the proposed automated control system of the level and temperature monitoring system stand is a model of a real tank farm and implements all the basic functions associated with automating technological and control operations, which allows studying its work in the laboratory. It fully fits into the terms of designing modern automated process control systems, which makes it a good subject for studying as part of advanced training courses for students of educational institutions in the direction of «Automated control systems for oil pipeline transport».*

**Keywords:** automation, tank farm, control system

**For citation:** Matlakhov V.P., Khandozhko V.A., Ageenko A.V. Automating the stand of the level and temperature control system of the tank farms. Automation and modeling in design and management, 2023, no. 1 (19). pp. 4-11. doi: 10.30987/2658-6436-2023-1-4-11.

## Введение

Архитектура современных автоматизированных систем управления (АСУ) технологическими процессами часто вписывается в классическую трехуровневую модель, предложенную фирмой Siemens (рис. 1). Верхний уровень представлен автоматизированными рабочими местами (АРМ) оператора или диспетчера, отображающими условными мнемоническими обозначениями состояние технологического оборудования и параметры технологического процесса. Аппаратная часть верхнего уровня представлена рабочими станциями, транспортная система – сеть Ethernet. При большом количестве видеоокон для масштабирования области вывода информации устанавливают несколько видеомониторов. Для этого используют KVM-переключатели.



**Рис. 1. Трехуровневая модель типовой АСУТП:**

ПЛК – программируемый логический контроллер; КИП – контрольно-измерительные приборы

*Fig. 1. Three-level model of a typical process control system:  
PLC – programmable logic controller; KIP – instrumentation*

Программная платформа верхнего уровня – операционная система Windows, реже – Linux. Прикладное программное обеспечение имеет все признаки типовой SCADA-системы: механизмы информационной безопасности, визуализация мнемосхем, журнал событий, тренд аналоговых сигналов, карты уставок и др.

На среднем уровне технологическим процессом управляют ПЛК, панельные ПЛК и панели оператора. Транспортная система реализована с помощью промышленных сетей, например, Modbus RTU или Modbus TCP. Программное обеспечение представлено системным (операционные системы реального времени) и прикладным (алгоритм технологического процесса) видами. Особое место занимают интеллектуальные датчики, автономные модули ввода/вывода и электроприводы, занимающие промежуточное положение между нижним и средним уровнями.

Нижний (полевой) уровень занимают датчики и исполнительные механизмы с автоматикой.

Данная классификация имеет следующие достоинства:

- 1) типизация по условиям эксплуатации;
- 2) типизация по функциональному признаку;
- 3) типизация по аппаратной реализации;
- 4) типизация по квалификации обслуживающего персонала.

### **Автоматика стенда**

Автоматизированная система управления стендового оборудования резервуарного парка для нефтепродуктов, описанного в [1], построено на основе данной модели (рис. 2).

В результате автоматизации стенда реализован сбор данных о технологических параметрах, управление технологическим оборудованием стенда, а также защита стенда при переполнении и опорожнении емкостей. Данные функции реализуются с помощью контроллера ПЛК 160.

Особенностью автоматизации резервуарного парка является необходимость автоматизации товарно-учетных операций путем автоматизации расчета объема и массы продукта в резервуарах РП, средней температуры продукта в емкости. В стенде данную функцию выполняет контроллер Гамма-8МА на основании информации от датчиков, расположенных на нижнем уровне.

Кроме того, на стенде данный контроллер выполняет функцию связи датчиков нижнего уровня с контроллером ПЛК 160. Интеллектуальные датчики, установленные на стенде, поддерживают собственный протокол компании «Альбатрос». Благодаря использованию контроллера Гамма-8МА технологические параметры передаются на контроллер ПЛК 160 с использованием открытого протокола Modbus RTU.

При наполнении и опорожнении резервуаров существует необходимость контролировать верхнюю и нижнюю границы уровня. При достижении верхней границы микропроцессорная система выдает команду на остановку насоса подкачки и закрытие задвижки, при достижении нижней границы – команду на остановку насоса откачки и закрытие задвижки. Для контроля граничных значений уровня используется сигнализатор уровня СУР-8, который состоит из датчика положения уровня ДПУ8 и вторичного преобразователя ПВС8. Работа чувствительного элемента основана на магнитострикционном эффекте. Положение границ срабатывания настраивается с помощью линейки переключателей. Определение положения поплавка датчика (ниже нижней границы, между границами или выше верхней границы) основано на различных частотах сигнала, генерируемого передатчиком и воспринимаемого приемником. Встроенный в датчик микроконтроллер дополнительно может определить обрыв, отказ датчика, отсутствие поплавка и неверно заданные уставки срабатывания. Блок ПВС8 обеспечивает искробезопасное питание датчика, индикацию положений уровня жидкости и выдачу управляющих воздействий. На лицевой части ПВС8 установлена светодиодная индикация нижней и верхней границ срабатывания. Для передачи сигналов на управляющий контроллер используются четыре ключа, по два на каждый предельный уровень.

# Верхний уровень

Администратор Гамма-8МА



АРМ инженера

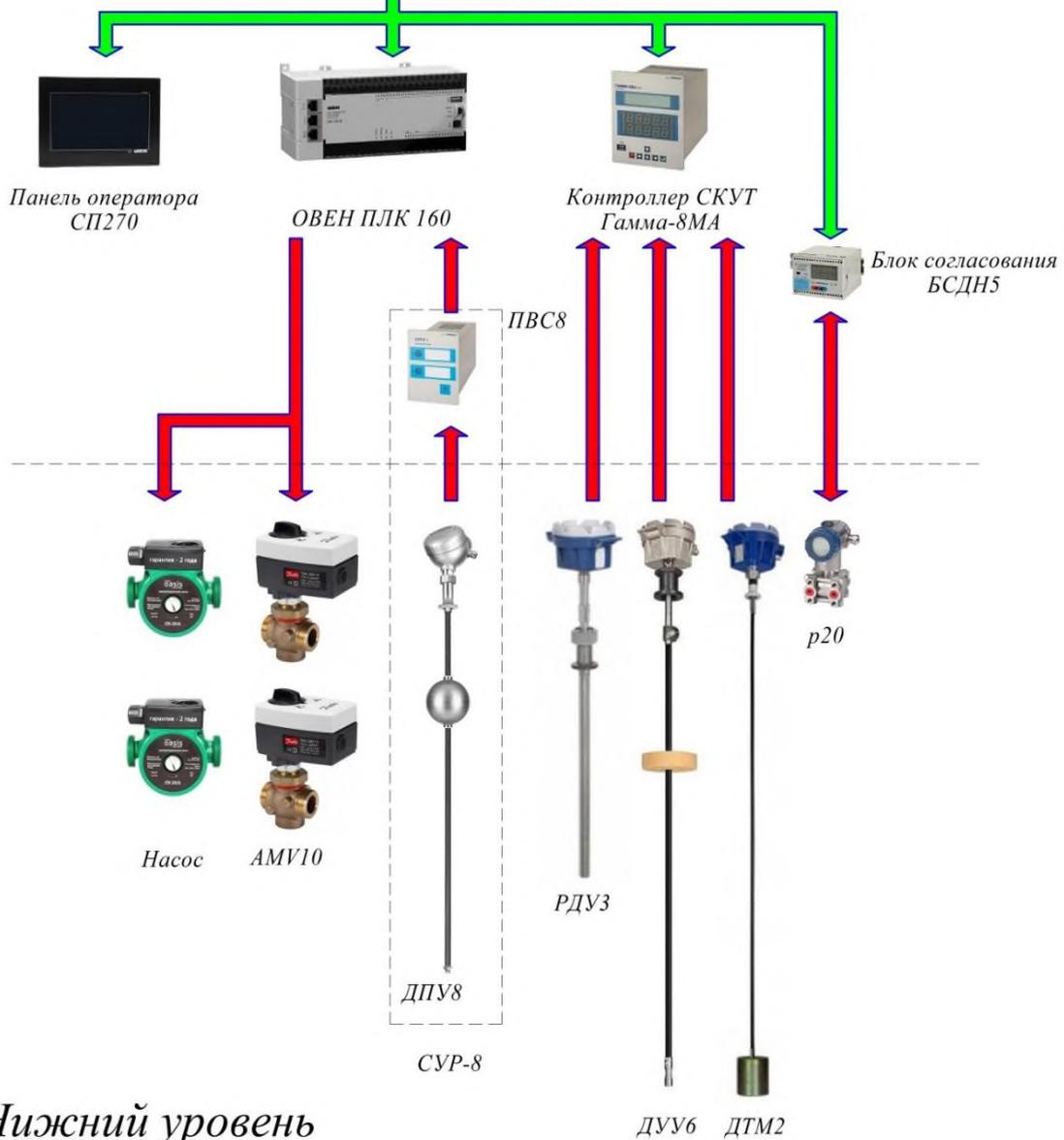
USB

# Средний уровень



Преобразователь интерфейса

Modbus RTU



# Нижний уровень

Рис. 2. Структурная схема стенда автоматизации резервуара нефтепродуктов

Fig. 2. Structural diagram of the oil products tank automation stand

Для выполнения товарно-учетных операций необходимо также контролировать уровень и объем нефтепродукта. Для этих целей используют радиоволновый уровнемер РДУЗ, который позволяет непрерывно измерять уровень. Для расчета и индикации объема в резервуаре совместно с датчиком используют контроллер Гамма-8МА, в который предварительно загружается таблица калибровки резервуара. Измерение уровня продукта производится радиолокационным методом. Частотно-модулированный СВЧ сигнал излучается в направлении к поверхности продукта и, отразившись от него, принимается приемным блоком уровнемера (рис. 3).

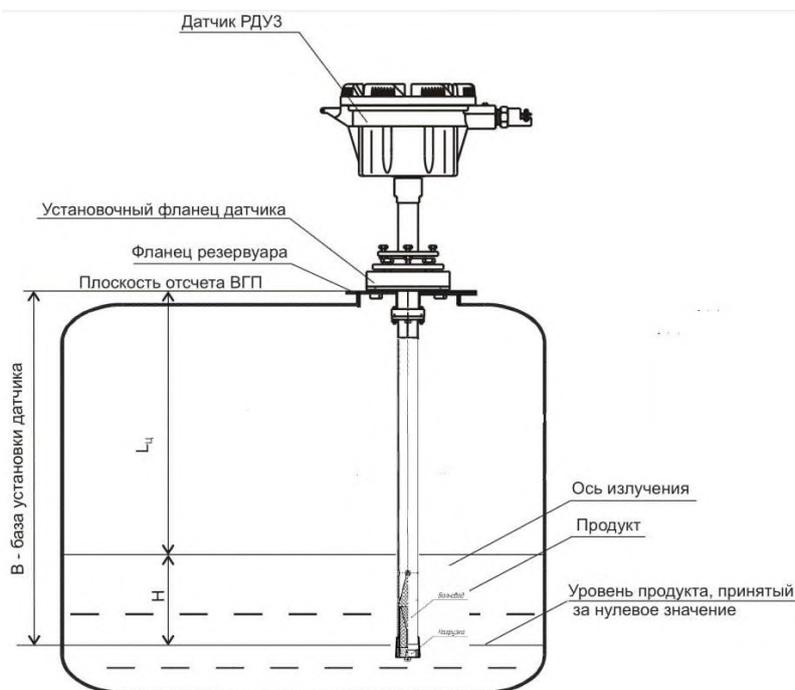


Рис. 3. Принципиальная схема работы датчика РДУЗ на резервуаре  
 Fig. 3. Schematic diagram of the operation of the RDU3 sensor on the tank

Верхняя граница продукта (ВГП) пропорциональна разности частот принятого и излучаемого сигналов [2]:

$$L_{ц} = S \cdot F, \quad (1)$$

где  $L_{ц}$  – ВГП, м;  $F$  – разность частот, Гц;  $S$  – коэффициент пересчета, м/Гц.

Значение уровня продукта  $H$ , м, определяется по формуле (2):

$$H = B - L_{ц}, \quad (2)$$

где  $B$  – база установки датчика, м.

Абсолютная основная погрешность измерения уровня зависит от исполнения датчика и достигает  $\pm 1$  мм. Приведенная основная погрешность составляет  $\pm 0,1$  %.

Многопараметрический датчик ДУУ6 выполняет ряд измерений:

- уровня нефтепродукта (абсолютная дополнительная погрешность  $\pm 2$  мм на  $10$  °С);
- уровня подтоварной воды (абсолютная дополнительная погрешность  $\pm 10$  мм на  $10$  °С);
- избыточного давления в газовой подушке вместимости (абсолютная погрешность  $\pm 51$  Па);
- гидростатического давления нефтепродукта (абсолютная погрешность  $\pm 20,4$  Па);
- температуры в 5 точках (абсолютная погрешность  $\pm 0,5$  °С).

Чувствительный элемент для измерения уровня использует магнитострикционный эффект. Для измерения давления используется пьезорезистивные мостовые ячейки измерения давления. Для измерения температуры используются цифровые интегральные термометры. Измеряемые параметры в цифровом виде передаются от микроконтроллера ДУУ6 на кон-

троллер Гамма-8МА для математической обработки, индикации и передачи на верхний уровень.

Обычно объем резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов составляет от 10 тыс. м<sup>3</sup> и более при высоте стенки более 9 м. В таких условиях нефтепродукты имеют разную температуру на разных уровнях в резервуаре, чем объясняется необходимость ее измерения. Для измерения температуры используется многоточечный датчик ДТМ2. Его характеристики аналогичны характеристикам ДУУ6.

Для измерения давления в нижних слоях нефтепродукта установлен датчик p20. Принцип работы датчика основан на тензорезистивном эффекте. В ячейке измерения давления дополнительно измеряется температура, что в совокупности с внешними резисторами позволяет внести температурную компенсацию в результат измерения. Погрешность при +20 °С в процентах от заданного диапазона достигает 0,1 %.

Электроприводы AMV10 служат для открытия и закрытия секующих задвижек резервуаров. Для защиты от перегрузок приводы имеют концевые моментные выключатели.

Насосы циркуляционные трехскоростные ОАЗИС служат для наполнения контрольных емкостей стенда.

На среднем уровне сбор данных с датчиков осуществляет специализированный контроллер системы контроля уровня и температуры (СКУТ) Гамма-8МА. Контроллер имеет модульную структуру и состоит из блока питания, ячейки индикации и двух-трех модулей ввода/вывода. Ячейка индикации является основным узлом и выполняет ряд функций [6]:

- опрос модулей ввода/вывода и обработку полученной с них информации;
- кнопочный параметров данных и настроек и их индикация на ЖК-индикаторе;
- хранение параметров настроек прибора и подключённых датчиков в энергонезависимой памяти;
- ведение и хранение архива измеряемых параметров в энергонезависимой памяти;
- обмен информацией с узлом интерфейса связи блока питания;
- интерфейс с внешним USB FLASH накопителем.

Модули ввода/вывода вырабатывают искробезопасные напряжения для питания датчиков, обеспечивают гальваническую изоляцию и нормализацию сигналов. Дополнительно они формируют сигналы на токовые выходы и ключи контроллера.

Блок питания вырабатывает вторичные напряжения для контроллера и содержит узел интерфейса RS-485 для работы в промышленной сети Modbus.

Алгоритмы расчета контроллера зависят от типа подключенного датчика [6].

Программируемый логический контроллер ПЛК 160 реализует алгоритм прикладной программы управления блокировкой резервуарного парка и выполняет функцию мастера в сети Modbus, опрашивая панель оператора, контроллер Гамма-8МА и блок согласования БСДН5. Программное обеспечение для ПЛК 160 разработано с использованием среды CodeSys 2.3 на языке LD. Дискретные входы ПЛК 160 индицируют состояние секующих задвижек (сигналы «Клапан 1 ОТКРЫТ», «Клапан 1 ЗАКРЫТ», «Клапан 2 ОТКРЫТ», «Клапан 2 ЗАКРЫТ»), нижний и верхний уровни в контрольной емкости (сигналы блока СУР-8). Дискретные выходы ПЛК 160 управляют включением/выключением насосов и открытием/закрытием клапанов.

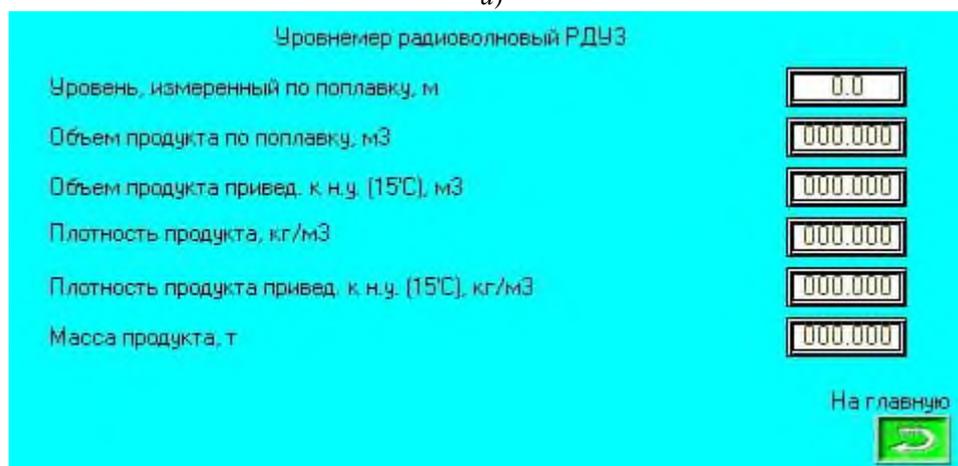
Блок согласования БСДН5 датчика давления p20 преобразует HART-интерфейс в RS-485 с протоколом Modbus.

Панель оператора СП270 работает в режиме ручного дистанционного управления (рис. 4). На главном видеоэкране (рис. 4, а) отображаются кнопки управления и индикаторы состояния секующих задвижек и насосов. В нижней части экрана представлено окно навигации по подключенным датчикам. Экран для измерения и вычисления параметров РДУЗ показан на рис. 4.

Промышленная сеть среднего уровня Modbus RTU реализована на базе интерфейса RS-485. Для связи с верхним уровнем используется преобразователь интерфейса Uport1150 с выходом USB.



а)



б)

**Рис. 4. Видеозкраны панели оператора:**

а – главный экран; б – экран для измерения и вычисления РДУ3

**Fig. 4. Operator panel video screens:**

а – main screen; б – screen for measuring and calculating RDU3

Защиты реализованы в алгоритме программного обеспечения среднего уровня. Для дистанционного ручного управления служит панель оператора СП270.

## Результаты

Предлагаемая автоматизированная система управления стенда системы контроля уровня и температуры является моделью реального резервуарного парка и реализует все базовые функции, связанные с автоматизацией технологических и контрольных операций, что позволяет выполнять исследование ее работы в лабораторных условиях. Она полностью вписывается в каноны проектирования современных автоматизированных систем управления технологическими процессами, что делает ее удачным предметом для изучения в рамках курсов повышения квалификации для слушателей и студентов учебных заведений по направлению «Автоматизированные системы управления нефтепроводного транспорта».

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Матлахов В.П., Хандожко В.А. Стенд систем и средств автоматизации оборудования резервуарных парков нефтепродуктов // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. 2021. №8 (105). С. 38-45.
2. РДУ3\_РЭ изм. 26. URL: [https://albatros.ru/upload/iblock/22a/rdu3\\_re-izm26.pdf](https://albatros.ru/upload/iblock/22a/rdu3_re-izm26.pdf) (дата обращения 19.07.2022).

## References:

1. Matlakhov V.P., Khandozhko V.A. Stand of Systems and Means of Automation of Equipment for Tank Farms of Oil Products. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2021;8(105):38-45.
2. Level Meter Radio Wave RDU3\_RE rev. 26 [Internet]. 2021 [cited 2022 Jul 19]. Available from: [https://albatros.ru/upload/iblock/22a/rdu3\\_re-izm26.pdf](https://albatros.ru/upload/iblock/22a/rdu3_re-izm26.pdf)

3. АЛББАТРОС, Датчики уровня ультразвуковые ДУУ6. URL: [https://albatros.pro-solution.ru/wp-content/uploads/2018/04/ATS\\_DUU6\\_RE.pdf](https://albatros.pro-solution.ru/wp-content/uploads/2018/04/ATS_DUU6_RE.pdf) (дата обращения 19.07.2022).

4. Балин Н., Демченко А., Лавров М. Система управления резервуарными парками переработки и хранения нефтепродуктов // Современные технологии автоматизации. 2001. №2. С. 24-31.

5. Ахьяров А.В., Шарафиев Р.Г., Фёдоров В.Н. Разработка автоматизированной системы управления резервуарным парком // Евразийский союз ученых (ЕСУ). 2019. №5(86). С. 42-44.

6. АЛББАТРОС, Контроллер микропроцессорный ГАММА - 8МА. [https://albatros.pro-solution.ru/wp-content/uploads/2018/04/ATS\\_GAMMA-8MA\\_RE.pdf](https://albatros.pro-solution.ru/wp-content/uploads/2018/04/ATS_GAMMA-8MA_RE.pdf) (дата обращения 19.07.2022).

3. ALBATROS. Ultrasonic Level Sensors DUU6 [Internet]. 2021 [cited 2022 Jul 19]. Available from: [https://albatros.pro-solution.ru/wp-content/uploads/2018/04/ATS\\_DUU6\\_RE.pdf](https://albatros.pro-solution.ru/wp-content/uploads/2018/04/ATS_DUU6_RE.pdf)

4. Balin N., Demchenko A., Lavrov M. Control System for Tank Farms for Processing and Storage of Oil Products. Modern Automation Technologies. 2001;2:24-31.

5. Akhyarov A.V., Sharafiev R.G., Fedorov V.N. Development of Automated System Management of a Reservoir Park. Eurasian Union of Scientists (ESU). 2019;5(86):42-44.

6. ALBATROS. Microprocessor Controller GAMMA-8MA [Internet]. 2021 [cited 2022 Jul 19]. Available from: [https://albatros.pro-solution.ru/wp-content/uploads/2018/04/ATS\\_GAMMA-8MA\\_RE.pdf](https://albatros.pro-solution.ru/wp-content/uploads/2018/04/ATS_GAMMA-8MA_RE.pdf)

#### **Информация об авторах:**

##### **Матлахов Виталий Павлович**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные технологические системы» Брянского государственного технического университета

##### **Хандожко Виктор Александрович**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные технологические системы» Брянского государственного технического университета, ORCID 0000-0002-5212-0616

##### **Агеенко Алексей Владимирович**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные технологические системы» Брянского государственного технического университета, ORCID 0000-0002-6365-1527

#### **Information about authors:**

##### **Matlakhov Vitaly Pavlovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Automated Technological Systems» of Bryansk State Technical University

##### **Khandozhko Viktor Alexandrovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Automated Technological Systems» of Bryansk State Technical University, ORCID: 0000-0002-5212-0616

##### **Ageenko Alexey Vladimirovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Automated Technological Systems» of Bryansk State Technical University, ORCID: 0000-0002-6365-1527

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 15.11.2022; одобрена после рецензирования 16.12.2022; принята к публикации 23.12.2022.**

**The article was submitted 15.11.2022; approved after reviewing 16.12.2022; accepted for publication 23.12.2022.**

**Рецензент** – Маркин Н.И., кандидат технических наук, доцент, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева.

**Reviewer** – Markin N.I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Orel State University named after I.S. Turgenev.