Оригинальное практическое исследование
УДК 62-52, 681.516.42
DOI: 10.46418/3033-7852_2026_3_3_37–43

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ЛИНИИ ОБЕЗЖИРИВАНИЯ И ПРОМЫВКИ

Никита Александрович Гончаров, Александр Игоревич Кушнеров

Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия

© Гончаров Н. А., Кушнеров А. И., 2026

Автор-корреспондент: Н. А. Гончаров, e-mail: goncharovnikitaspb@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты разработки системы управления автоматизацией линии обезжиривания и промывки алюминиевой ленты на прокатном производстве в контексте задачи ресурсной эффективности прокатных производств. В процессе холодной прокатки алюминиевых заготовок на их поверхности гарантированно оседают остатки технологических смазочно-охлаждающих жидкостей и мелкая металлическая пыль. Недостаточная автоматизация этапа химической подготовки поверхности приводит к перерасходу химических реагентов, выносу агрессивных компонентов в промывную воду и образованию токсичных стоков, а также повышает риск возникновения неисправимого брака продукции при последующих этапах обработки. Проведен детальный анализ существующей системы управления, выявивший ключевые недостатки: ручное дозирование моющих средств, ручной контроль температуры и отсутствие непрерывного мониторинга водородного показателя (pH) и электропроводности растворов. Для решения указанных проблем спроектирована двухуровневая система автоматизации на базе программируемого логического контроллера ОВЕН ПЛК210–01 и панели оператора ОВЕН СП310-Р. Программная часть реализована в среде CODESYS 3.5 с использованием языков стандарта МЭК 61131–3 (LD, FBD, ST). Разработан цифровой ПИД-регулятор с алгоритмами фильтрации сигналов и ограничения интегрального насыщения, обеспечивающий стабилизацию температуры и уровня жидкости в ваннах объемом 10 м³. Созданный HMI-интерфейс обеспечивает визуализацию мнемосхем, ведение трендов и журналов аварий. Внедрение предложенных решений позволило исключить человеческий фактор, снизить удельный расход пара, воды и моющих концентратов, а также свести к минимуму объемы образования жидких отходов.

Ключевые слова: автоматизация, прокатное производство, алюминиевая лента, обезжиривание и промывка, ПИД-регулятор, CODESYS 3.5, ОВЕН ПЛК210, HMI, импортозамещение

Для цитирования: Гончаров Н. А., Кушнеров А. И. Разработка системы управления для линии обезжиривания и промывки // Технология и энергетика. 2026. № 3 (3). С. 37–43. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_3_3_37–43.

DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR A DEGREASING AND RINSING PRODUCTION LINE

Nikita Alexandrovich Goncharov, Alexander Igorevich Kushnerov

Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author: N. A. Goncharov, e-mail: goncharovnikitaspb@gmail.com

ABSTRACT

This article presents the results of the development of an automation control system for the aluminium strip degreasing and rinsing line in rolling production, in the context of resource efficiency in rolling operations. During cold rolling of aluminium stock, residual lubricating-cooling fluids and fine metal dust are deposited on its surface without fail. Inadequate automation of chemical surface preparation results in overconsumption of chemicals, the transfer of aggressive components into rinsing water, and the generation of toxic wastewater. It also raises the risk of irremediable product defects during downstream processing. A detailed review of the existing control system identified three key gaps: manual detergent dosing, manual temperature control, and no continuous pH or conductivity monitoring. To overcome these problems, we designed a two-level automation system using the OWEN PLC210–01 programmable logic

controller and the OWEN SP310-R operator panel. The software was implemented in the CODESYS 3.5 environment using IEC 61131–3 standard languages (LD, FBD, ST). A digital PID controller was developed with signal filtering and integral anti-windup algorithms, providing temperature and liquid level stabilization in 10 m³ baths. The HMI interface that was created provides for the visualization of mimic diagrams, the maintenance of trends, and alarm journals. The implementation of the proposed solutions eliminated the human factor, reduced the specific consumption of steam, water, and cleaning concentrates, and minimized the volume of liquid waste generated.

Keywords: automation, rolling production, aluminum strip, degreasing and washing, PID controller, CODESYS 3.5, OWEN PLC210, HMI, import substitution

For citation: Goncharov N. A. and Kushnerov A. I. (2026) 'Development of a control system for a degreasing and rinsing production line', Technology and Energy, no. 3(3), pp. 37–43. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_3_3_37–43.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях развитие тяжелой и цветной металлургии тесно связано с принципами рационального использования сырья и энергоносителей [1, 2]. В процессе холодной прокатки алюминиевых лент на их поверхности неизбежно остаются следы технологических смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) и мелкодисперсная металлическая пыль [3]. Отсутствие глубокой и качественной очистки перед последующими технологическими переделами — в частности, перед отжигом, нанесением защитных лаков или покраской — приводит к образованию неисправимого брака (появлению пригорающих пятен нагара, отслаиванию лакокрасочных покрытий) [4].

Традиционно участки обезжиривания и промывки характеризуются высокой степенью инерционности, а также значительным потреблением тепловой энергии, чистой умягченной воды и агрессивных моющих концентратов. При ручном или полуавтоматическом управлении регулирование параметров (температуры, уровня и концентрации растворов) осуществляется дискретно или на основе периодических лабораторных анализов [5]. Это вызывает температурные колебания, перерасход пара и систематическое перерегулирование подающих клапанов [6]. Дополнительным вызовом является необходимость обеспечения технологического суверенитета промышленного сектора и отказ от зарубежных управляющих комплексов (например, Siemens) в пользу отечественных программно-аппаратных платформ [7, 8].

Целью работы является проектирование и разработка автоматизированной системы управления линией обезжиривания и промывки алюминиевой ленты на базе отечественного оборудования, обеспечивающей стабилизацию параметров очистки, снижение экологической нагрузки и экономию ресурсов [9, 10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования выступает технологический комплекс подготовки поверхности алюминиевых лент на прокатном производстве. Линия включает в себя секцию обезжиривания и последовательные ванны промывки. Рабочий объем каждой ванны составляет около 10 м³. Технологический регламент предусматривает запуск и наполнение ванн до уровня 600 мм, что соответствует объему 8 м³ (80% от полного заполнения) [1, 3].

Для подогрева растворов до рабочих температур используются встроенные теплообменники с подачей греющего пара через регулирующие клапаны. В таблице приведены основные технологические параметры процесса обезжиривания и промывки.

В рамках модернизации разработана двухуровневая структура АСУ ТП:

1. Нижний и средний уровни: первичные датчики уровня (LT), давления (PI, PE), температуры (TE), кондуктометры (QT) и pH-метры. В качестве головного контроллера выбран отечественный ПЛК210–01 компании «ОВЕН» (Master сети), работающий в связке с модулями расширения

Таблица. Технологические параметры и контролируемые величины линии обезжиривания и промывки
Table. Process parameters and controlled variables of the degreasing and rinsing line

Технологическая зона	Рабочий диапазон температур, °C	Рекомендуемая (уставка), °C	Контролируемые параметры
Ванна обезжиривания	55–75	65	Уровень (LT), температура (TE), pH, проводимость (QT)
Ванна промывки	60–80	70	Уровень (LT), температура (TE), давление подачи (PI)

ввода-вывода MB210 (Slave) по протоколу Modbus TCP (Ethernet).

2. Верхний уровень (HMI): сенсорная панель оператора ОВЕН СП310-Р, запрограммированная в среде «Конфигуратор СП300».

Программное обеспечение контроллера разработано в среде CODESYS 3.5. Для построения алгоритмов использована комбинация языков стандарта МЭК 61131–3: дискретная логика, аварийные блокировки и режимы работы реализованы на языке лестничных диаграмм (LD) и Structured Text (ST), а непрерывное ПИД-регулирование — на языке функциональных блоковых диаграмм (FBD) [11, 12]. Ниже на рисунках 1 и 2 представлены функционально-технологическая схема системы, а также структурная схема из визуализации HMI.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе выполнения работы в среде CODESYS 3.5 на языке функциональных блоковых диаграмм (FBD) и Structured Text (ST) была разработана программная структура контроллера ОВЕН ПЛК210–01 [13, 14]. Ключевым модулем программного обеспечения является дискретный ПИД-регулятор с встроенным алгоритмом скользящего среднего для фильтрации аналоговых сигналов с датчиков температуры. Блок-схема управляющего алгоритма представлена на рисунке 3.

Разработанный алгоритм обеспечивает плавный выход температуры технологических растворов в ваннах обезжиривания (65 °С) и промывки (70 °С) на заданные уставки без существенного перерегулирования и с точностью поддержания ±0,5 °С.

Для обеспечения оперативного управления и контроля технологического процесса в среде «Конфигуратор СП300» создан человеко-машинный интерфейс (HMI) для сенсорной панели ОВЕН СП310-Р. На рисунках 4 и 5 представлены ключевые экраны, на которых отображаются в реальном времени текущие значения уровней, температур, показания pH-метров и других, а также анимация работы насосного оборудования и положение регулирующих клапанов подачи пара.

Информационный блок верхнего уровня включает также подсистемы архивирования данных и аварийной сигнализации. На рисунке 6 представлен экран

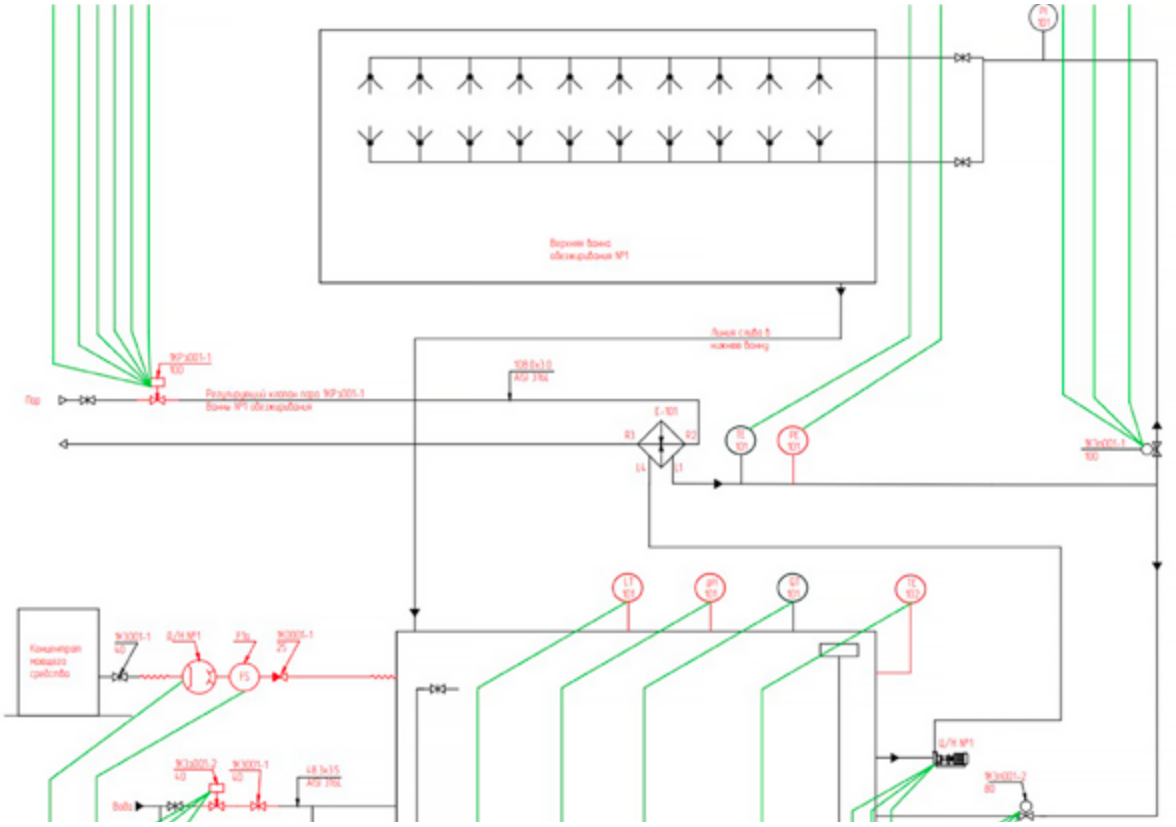


Рисунок 1. Функционально-технологическая схема системы
Figure 1. Functional and technological scheme of the system

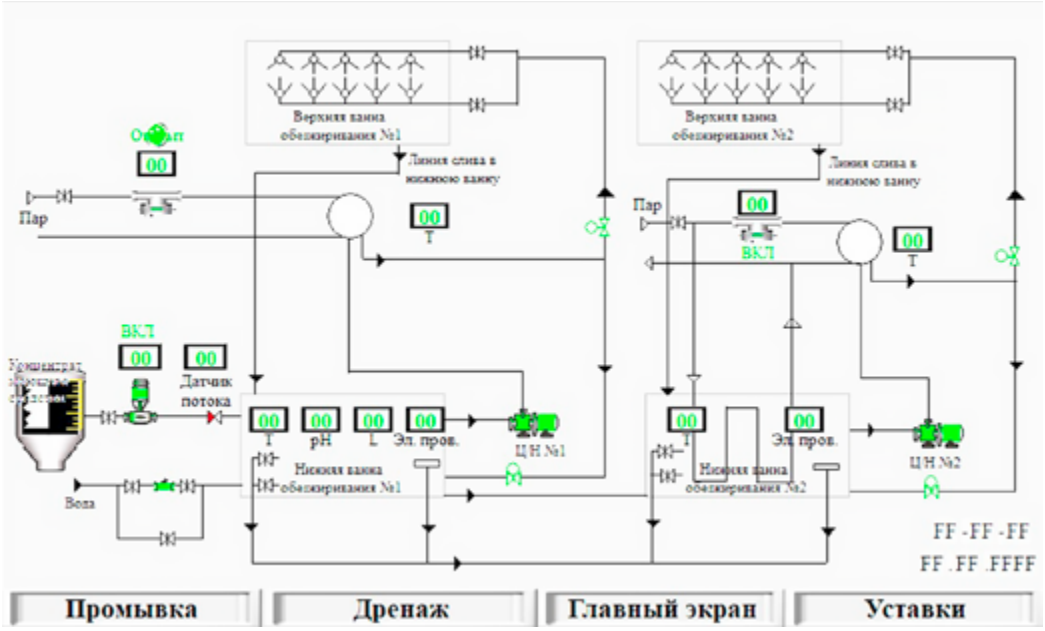


Рисунок 2. Структурная схема системы
Figure 2. Block diagram of the system

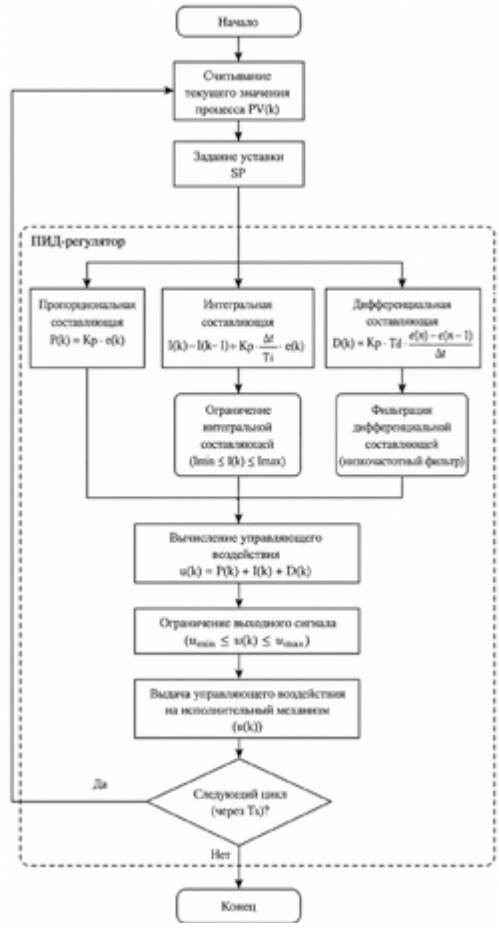


Рисунок 3. Блок-схема алгоритма ПИД-регулирования
Figure 3. Flowchart of the PID control algorithm

мониторинга трендов и журнала событий. Ведение непрерывного графического анализа параметров pH и электропроводности позволило своевременно корректировать дозирование моющих реагентов и объемы подпитки свежей умягченной водой, что сократило образование токсичных жидких стоков.

Внедрение разработанного программно-аппаратного комплекса на базе отечественного оборудования позволило полностью исключить влияние человеческого фактора при регулировании параметров, снизить удельный расход греющего пара на 12–15 % и оптимизировать расход химических концентратов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы была разработана двухуровневая автоматизированная система управления линией обезжиривания и промывки алюминиевой ленты на базе отечественного аппаратного и программного обеспечения.

Ключевыми результатами проведенного исследования и разработки стали: проектирование функциональной структуры и комплекса технических средств нижнего и среднего уровней на базе ПЛК ОВЕН ПЛК210–01 и модулей ввода-вывода серии МВ210, связанных по протоколу Modbus TCP, а также создание программного обеспечения в среде CODESYS 3.5 с использованием языков МЭК 61131–3 (ST, FBD, LD), включающего алгоритмы цифровой фильтрации сигналов, дискретного



Рисунок 4. Главный экран
Figure 4. Main screen

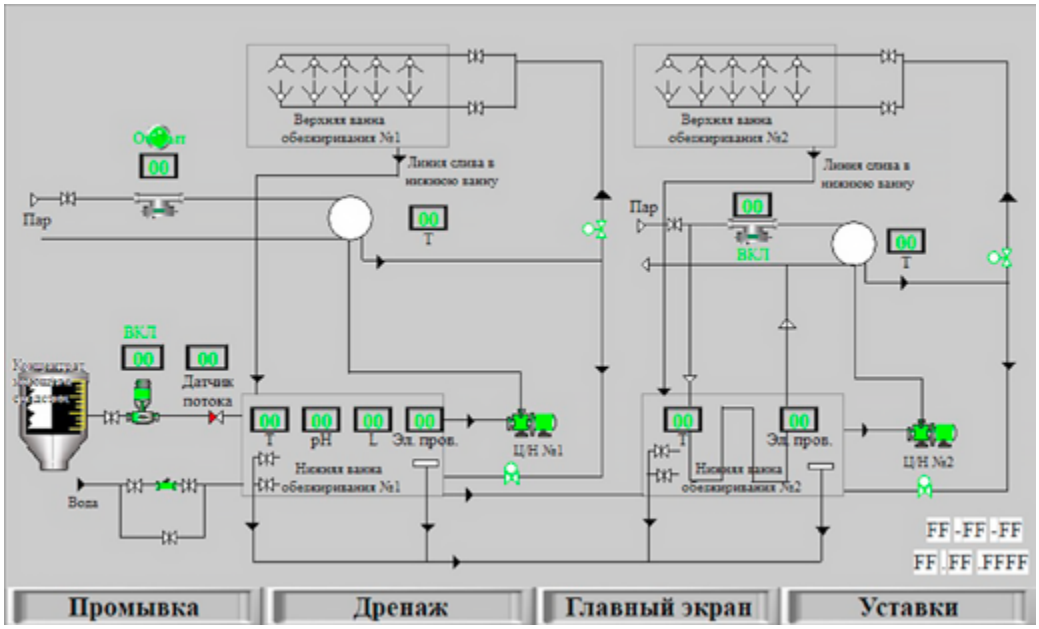


Рисунок 5. Экран визуализации линии обезжиривания
Figure 5. Visualization screen of the degreasing line

ПИД-регулирования и защиты от интегрального насыщения (anti-windup). Разработанный алгоритм обеспечивает поддержание заданной температуры растворов с точностью до ±0,5 °С.

Кроме того, в среде «Конфигуратор СП300» был разработан человеко-машинный интерфейс (HMI) для сенсорной панели ОВЕН СП310-Р, обеспечивающий наглядное отображение мнемосхем, ведение непрерывных трендов и функционирование подсистемы аварийных сообщений. Переход на непрерывный контроль pH и электропроводности растворов позволил оптимизировать дозирование моющих реагентов, исключить влияние человеческого фактора, снизить удельный расход греющего пара на 12–15% и минимизировать объем образования токсичных сточных вод.

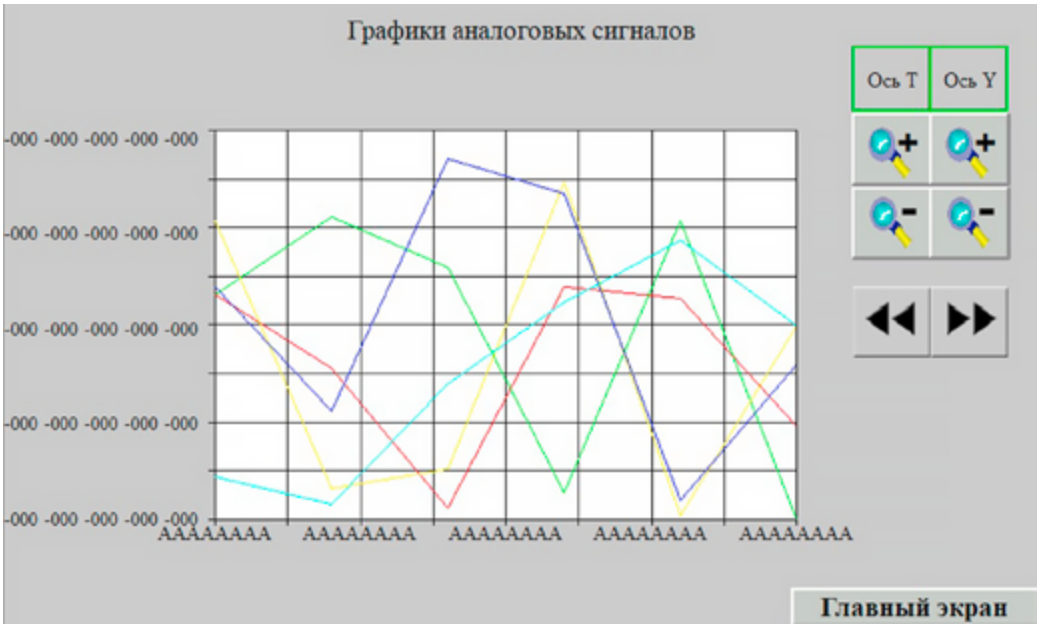


Рисунок 6. Экран трендов технологических параметров
Figure 6. Trend screen of technological parameters

Реализованные технические решения полностью соответствуют требованиям импортозамещения, обеспечивая ресурсосбережение и высокую надежность технологического процесса прокатного производства.

Список литературы

1. Лахтин Ю. М., Металловедение и термическая обработка металлов: 5-е изд., перераб. и доп. Москва.: АльянсС, 2015. 448 с.
2. Федоров Ю. Н. Справочник инженера по АСУТП. Проектирование и разработка / Ю. Н. Федоров. 3-е изд. М.: Инфра-Инженерия, 2022. 929 с.
3. ГОСТ 34.601–90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. — Взамен ГОСТ 24.601–86; введ. 1992-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1990. 9 с.
4. Деменков Н. П., Васильев Г. Н. Управление техническими системами: учебник. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. 577 с.
5. Шишов О. В. Программируемые логические контроллеры: учеб. пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2026. 461 с.
6. Контроллеры программируемые логические серии ПЛК210: каталог продукции / Компания ОВЕН. Москва. URL: https://owen. ru/catalog_pdf (дата обращения: 23.03.2026).
7. Петров И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / И. В. Петров. М.: СОЛОН-Пресс, 2016. 255 с.
8. МЭК 61131–3. Программируемые контроллеры. Часть 3. Языки программирования. Международный стандарт. 2013.
9. Денисенко В. В. Пид регуляторы: принципы построения и модификации. URL: https://www. reallab. ru/images/editor/downloads/articles/Denisenko_PID_07.pdf (дата обращения 11.04.2026).
10. Костров Б. В., Кистрин А. В., Ефимов А. И. Технологии физического уровня передачи данных. Москва: Курс, 2020. С. 218.
11. Соловьев А. ПИД-регулятор: принцип работы, сферы применения, преимущества и недостатки / А. Соловьев. URL: https://kedrsolutions. ru/blog/pid-regulyatory-principy-raboty (дата обращения: 01.04.2026).
12. Денисенко В. В. Пид регуляторы: принципы построения и модификации. URL: https://www. reallab. ru/images/editor/downloads/articles/Denisenko_PID_07.pdf (дата обращения 11.04.2026).
13. Локтев Д. А., Локтев А. А. Возможность определения усталости оператора путем обработки серии его изображений // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2021. № 6. С. 29–36.
14. Истомин А. Л., Кобозев В. Ю., Кривов М. В., Колмогоров А. Г. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика, 2025. С. 7–16.

References

1. Lakhtin Yu. M. (2015) Metal Science and Heat Treatment of Metals: 5th edn., revised and enlarged. Moscow: Al'yansS. 448 p.
2. Fedorov Yu. N. (2022) Handbook of the Automation and Control Systems Engineer. Design and Development. 3rd edn. Moscow: Infra-Inzheneriya. 929 p.
3. GOST 34.601–90 (1990) Information Technology. Set of Standards for Automated Systems. Automated Systems. Stages of Creation. Instead of GOST 24.601–86; introduced 1992-01-01. Moscow: Izd-vo standartov. 9 p.
4. Demenkov N. P. and Vasil'ev G. N. (2013) Control of Technical Systems: Textbook. Moscow: Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana. 577 p.
5. Shishov O. V. (2026) Programmable Logic Controllers: Textbook. Moscow: NITs INFRA-M. 461 p.
6. OVEN Company (2026) Programmable Logic Controllers of the PLK210 Series: Product Catalogue. Moscow. Available at: https://owen. ru/catalog_pdf (Accessed: 23 March 2026).
7. Petrov I. V. (2016) Programmable Controllers. Standard Languages and Techniques of Applied Design. Moscow: SOLON-Press. 255 p.
8. IEC 61131–3 (2013) Programmable Controllers. Part 3. Programming Languages. International Standard.
9. Denisenko V. V. PID Controllers: Principles of Construction and Modifications. Available at: https://www. reallab. ru/images/editor/downloads/articles/Denisenko_PID_07.pdf (Accessed: 11 April 2026).
10. Kostrov B. V., Kristrin A. V. and Efimov A. I. (2020) Technologies of the Physical Layer of Data Transmission. Moscow: Kurs. P. 218.
11. Solov'ev A. P. ID Controller: Principle of Operation, Fields of Application, Advantages and Disadvantages. Available at: https://kedrsolutions. ru/blog/pid-regulyatory-princ ipy-raboty (Accessed: 1 April 2026).
12. Denisenko V. V. PID Controllers: Principles of Construction and Modifications. Available at: https://www. reallab. ru/images/editor/downloads/articles/Denisenko_PID_07.pdf (Accessed: 11 April 2026).
13. Loktev D. A. and Loktev A. A. (2021) 'The ability to determine operator fatigue by processing a series of their images', Instruments and systems. Control, monitoring, diagnostics, no. 6, pp. 29–36.
14. Istomin A. L., Kobozev V. Yu., Krivov M. V. and Kolmogorov A. G. (2025) Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics, pp. 7–16.

Информация об авторах

Гончаров Никита Александрович, *студент, Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна; 198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4; e-mail: goncharovnikitaspb@gmail.com.*

Кушнеров Александр Игоревич, *старший преподаватель кафедры прикладной математики и информатики, начальник экологического компьютерного центра, Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна; 198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4; SPIN-код: 1281–6294, Author ID: 674824, ORCID: 0000-0001-5891-5172; e-mail: kushnerov.a.i@yandex.ru.*

Information about the authors

Goncharov Nikita Alexandrovich, *student, Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design; 4 Ivan Chernykh Str., Saint Petersburg, 198095, Russia; e-mail: goncharovnikitaspb@gmail.com.*

Kushnerov Alexander Igorevich, *Senior Lecturer at the Department of Applied Mathematics and Informatics, Head of the Ecological Computer Center, Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design; 4 Ivan Chernykh Str., Saint Petersburg, 198095, Russia; SPIN code: 1281–6294, Author ID: 674824, ORCID: 0000-0001-5891-5172; e-mail: kushnerov.a.i@yandex.ru.*