

Мифтахова Самира Маратовна

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени
Главного маршала авиации А.А. Новикова

Стратьева Дарья Борисовна

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени
Главного маршала авиации А.А. Новикова

Волосюк Дарья Александровна

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени
Главного маршала авиации А.А. Новикова

Сагитов Дамир Ильдарович

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени
Главного маршала авиации А.А. Новикова

Современные технологии автоматизации в электроэнергетике и промышленности

Аннотация. В статье рассмотрены современные технологии автоматизации, применяемые в электроэнергетике и промышленности в условиях цифровой трансформации. Показано, что автоматизация становится одним из ключевых факторов повышения надёжности энергоснабжения, эффективности производственных процессов, снижения технологических рисков и повышения управляемости сложных технических систем. Особое внимание уделено автоматизированным системам управления технологическими процессами, SCADA-системам, цифровым подстанциям, устройствам релейной защиты и автоматики, интеллектуальному учёту, промышленному интернету вещей, цифровым двойникам и технологиям искусственного интеллекта. На основе отраслевых и статистических данных рассмотрены масштабы применения автоматизированных решений в электроэнергетике и промышленности. Отмечено, что высокая доля правильных срабатываний устройств релейной защиты и автоматики подтверждает значимость автоматизированных систем для устойчивости энергосистемы, однако наличие неправильных срабатываний указывает на необходимость дальнейшей модернизации оборудования и развития цифровой диагностики. В промышленности распространение передовых производственных технологий свидетельствует о росте уровня технологической модернизации, но сохраняется разрыв между использованием готовых решений и собственной разработкой технологий. Сделан вывод о том, что перспективы развития автоматизации связаны с внедрением предиктивной диагностики, цифровых двойников, интеллектуальных систем управления, повышением кибербезопасности, развитием отечественных программно-технических решений и подготовкой квалифицированных кадров.

Ключевые слова: автоматизация; электроэнергетика, промышленность, АСУ ТП, SCADA, цифровая подстанция, релейная защита и автоматика, цифровизация, промышленный интернет вещей, цифровой двойник, искусственный интеллект, предиктивная диагностика.

Miftakhova Samira Maratovna

St. Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal
of Aviation A.A. Novikov

Stratieva Darya Borisovna

St. Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal
of Aviation A.A. Novikov

Volosyuk Darya Alexandrovna

St. Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal
of Aviation A.A. Novikov

Sagitov Damir Ildarovich

St. Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal
of Aviation A.A. Novikov

Modern automation technologies in the electric power industry and industry

Abstract. The article discusses modern automation technologies used in the electric power industry and industry in the context of digital transformation. It is shown that automation is becoming one of the key factors in improving the reliability of energy supply, the efficiency of production processes, reducing technological risks and increasing the manageability of complex technical systems. Special attention is paid to automated process control systems, SCADA systems, digital substations, relay protection and automation devices, intelligent accounting, industrial Internet of Things, digital twins and artificial intelligence technologies. Based on industry and statistical data, the scale of application of automated solutions in the electric power industry and industry is considered. It is noted that the high proportion of correct triggers of relay protection and automation devices confirms the importance of automated systems for the stability of the power system, however, the presence of incorrect triggers indicates the need for further modernization of equipment and the development of digital diagnostics. In industry, the spread of advanced manufacturing technologies indicates an increase in the level of technological modernization, but there remains a gap between the use of ready-made solutions and in-house technology development. It is concluded that the prospects for the development of automation are associated with the introduction of predictive diagnostics, digital twins, intelligent control systems, increased cybersecurity, the development of domestic software and hardware solutions and the training of qualified personnel.

Keywords: automation, electric power industry, industry, automated control system, SCADA, digital substation, relay protection and automation, digitalization, industrial Internet of Things, digital twin, artificial intelligence, predictive diagnostics.

Введение

Современное развитие электроэнергетики и промышленности связано с переходом от традиционных систем управления к цифровым и автоматизированным решениям. Наиболее заметно этот процесс проявляется в применении АСУ ТП, SCADA-систем, цифровых подстанций, интеллектуального учёта, релейной защиты и автоматики, промышленного интернета вещей, цифровых двойников и технологий искусственного интеллекта. Эти инструменты позволяют не только повысить точность управления технологическими процессами, но и обеспечить более высокий уровень надёжности, безопасности и энергоэффективности.

В научной литературе последних лет цифровизация энергетики рассматривается как один из ключевых факторов модернизации отрасли. Так, И. А. Максимцев и соавторы отмечают, что цифровизация становится одним из основных направлений развития мировой энергетики, меняя подходы к управлению энергосистемами и взаимодействию между производителями, сетевыми организациями и потребителями [1]. О. Б. Иваненко рассматривает цифровую трансформацию российской электроэнергетики как процесс, обусловленный спецификой отрасли, высокой капиталоемкостью инфраструктуры и необходимостью повышения управляемости энергосистемы [2]. В работах, посвящённых цифровым подстанциям, подчёркивается, что автоматизированные системы управления становятся основой для мониторинга, защиты и управления оборудованием в режиме, приближенном к реальному времени [3]. Отдельное внимание исследователи уделяют

развитию систем РЗА, поскольку именно они обеспечивают быстрое выявление аварийных режимов и отключение повреждённых элементов сети [4].

Промышленная автоматизация в современных исследованиях чаще всего рассматривается через призму концепции Индустрии 4.0. А. А. Афанасьев связывает перспективы цифровой трансформации промышленности в России с внедрением интеллектуальных производственных систем, роботизации, цифрового моделирования и анализа данных [5]. В научных публикациях также подчёркивается, что переход к автоматизированному производству требует не только технического обновления оборудования, но и развития отечественных программных решений, подготовки кадров и обеспечения кибербезопасности промышленных систем.

Вместе с тем внедрение современных технологий автоматизации сопровождается рядом нерешённых вопросов. К ним относятся высокая стоимость модернизации, износ действующей инфраструктуры, сложность интеграции новых цифровых решений с существующими системами, требования к информационной безопасности, дефицит квалифицированных специалистов и необходимость технологической независимости [3-4]. В электроэнергетике эти проблемы имеют особое значение, поскольку автоматизированные системы должны обеспечивать не только экономическую эффективность, но и непрерывность, устойчивость и безопасность технологических процессов.

В связи с этим цель статьи состоит в рассмотрении современных технологий автоматизации в электроэнергетике и промышленности, определении их значения для повышения надёжности и эффективности технологических процессов, а также выявлении основных проблем их внедрения.

Материалы и методы

Материалами исследования послужили отраслевые отчёты, статистические данные и научные публикации, посвящённые вопросам автоматизации, цифровизации и интеллектуального управления в электроэнергетике и промышленности. В работе использованы данные АО «СО ЕЭС» о функционировании устройств релейной защиты и автоматики в ЕЭС России за 2024 г., материалы о стратегии цифровой трансформации группы «Россети», статистика НИУ ВШЭ о применении передовых производственных технологий в российских организациях.

Методологическую основу исследования составили общенаучные методы анализа, синтеза, сравнения и обобщения. Также в работе применён статистический метод, с помощью которого были рассмотрены количественные показатели развития автоматизации. Использование данных методов позволило комплексно рассмотреть современные технологии автоматизации и определить их значение для повышения надёжности и эффективности электроэнергетики и промышленности.

Результаты и обсуждение

Автоматизация в электроэнергетике и промышленности развивается не как отдельное техническое направление, а как основа перехода к более устойчивым и управляемым системам. Наиболее выражено это проявляется в электроэнергетике, где автоматические системы непосредственно связаны с надёжностью энергоснабжения, предотвращением аварийных режимов и обеспечением живучести энергосистемы.

Одним из показательных примеров является работа устройств релейной защиты и автоматики. По данным АО «СО ЕЭС», за период с 1 января по 31 декабря 2024 г. в ЕЭС России было зафиксировано 68 996 случаев срабатывания устройств РЗА. Из них 66 385 срабатываний, или 96,22 %, признаны правильными [6]. Отчёты были сформированы на основании анализа работы более 150 тыс. устройств РЗА [6]. Эти данные позволяют сделать вывод о высокой роли автоматизированных защит в поддержании устойчивости энергосистемы. РЗА рассматриваются как ключевой механизм предотвращения аварий, функциональная направленность которого заключается в обеспечении оперативного выявления повреждений и в реализации отключения неисправных участков электрической сети.

Для оценки состояния автоматизации в электроэнергетике и промышленности осуществлен анализ статистических и отраслевых данных, сгруппированных по трем направлениям, а именно функционирование устройств релейной защиты и автоматики в ЕЭС России, цифровая трансформация электросетевого комплекса и применение передовых технологий в промышленности, при этом фиксируется, что указанные показатели демонстрируют влияние процессов автоматизации на надежность энергосистемы, на управление сетевой инфраструктурой и на технологическое развитие производственного сектора (табл. 1). 1).

Таблица 1 — Показатели функционирования устройств РЗА в ЕЭС России за 2024 г.

Показатель	Значение	Значение для исследования
Количество проанализированных устройств РЗА	более 150 тыс.	Показывает масштаб применения автоматизированных систем защиты в электроэнергетике
Общее число срабатываний устройств РЗА	68 996	Характеризует интенсивность работы автоматических защит в энергосистеме
Количество правильных срабатываний	66 385	Подтверждает высокий уровень корректной работы устройств РЗА
Доля правильных срабатываний	96,22 %	Свидетельствует об эффективности автоматизированных систем защиты
Основные причины неправильной работы	износ оборудования, дефекты вторичных цепей, несвоевременная замена аппаратуры	Указывает на необходимость цифровой диагностики и модернизации оборудования

Источник: составлено авторами на основании данных АО «СО ЕЭС» [6].

Данные таблицы 1 показывают, что устройства релейной защиты и автоматики являются одним из ключевых элементов обеспечения устойчивости энергосистемы. Высокая доля правильных срабатываний подтверждает эффективность действующих автоматизированных защит. Вместе с тем наличие неправильных срабатываний показывает, что дальнейшее развитие автоматизации должно быть связано не только с внедрением новых цифровых решений, но и с совершенствованием технического обслуживания, диагностикой состояния оборудования и своевременной заменой устаревших устройств.

После оценки роли релейной защиты и автоматики целесообразно рассмотреть более широкий уровень цифровизации электроэнергетики — стратегию цифровой трансформации электросетевого комплекса, основные показатели которой представлены в таблице (табл. 2).

Таблица 2 — Цифровая трансформация электросетевого комплекса на примере группы «Россети»

Показатель	Значение	Значение для исследования
Период реализации стратегии цифровой трансформации	2024–2027 гг.	Отражает актуальный этап цифровизации электросетевого комплекса
Прогнозный горизонт	до 2030 г.	Показывает долгосрочный характер технологического развития

Количество проектов	255	Подтверждает масштаб внедрения цифровых и автоматизированных решений
Количество функциональных направлений	12	Свидетельствует о комплексном подходе к цифровизации
Основные направления	оперативно-технологическое управление, эксплуатация оборудования, развитие сети, проектирование, взаимодействие с потребителями, информационная безопасность	Показывает переход от локальной автоматизации к единой цифровой системе управления

Источник: составлено авторами по материалам ПАО «Россети» [7].

Как видно из таблицы (табл. 2), цифровизация электросетевого комплекса охватывает не только технические процессы, но и организационные, управленческие и клиентские направления. Это означает, что автоматизация постепенно переходит от управления отдельными объектами к формированию единой цифровой среды, в которой данные используются для мониторинга, прогнозирования, принятия решений и повышения надёжности работы сетевой инфраструктуры. Автоматизация промышленности развивается достаточно активно: передовые производственные технологии применяются более чем в 15 тыс. организаций (табл. 3). Однако доля организаций, которые самостоятельно занимаются разработкой новых технологий, остаётся значительно ниже.

Таблица 3 — Передовые производственные технологии в России в 2024 г.

Показатель	Значение	Значение для исследования
Организации, использующие передовые производственные технологии	более 15 тыс.	Показывает распространение автоматизированных решений в промышленности
Доля организаций, использующих ППТ	почти 25 %	Свидетельствует о заметном уровне технологической модернизации
Организации, разрабатывающие новые ППТ	916	Показывает ограниченный масштаб собственной разработки технологий
Доля организаций-разработчиков	1,4 %	Указывает на разрыв между применением и разработкой технологий
Количество разработанных ППТ	2,7 тыс.	Характеризует развитие отечественной технологической базы
Наиболее распространённые направления	производство, обработка, транспортировка и сборка — 32,8 %; промышленные вычисления и большие данные — 16,4 %;	Показывает связь промышленной автоматизации с цифровыми данными, проектированием и

	проектирование и инжиниринг — 15,2 %; производственные информационные системы и автоматизация управления — 12,3 %	управлением производством
--	--	------------------------------

Источник: составлено авторами по данным ИСИЭЗ НИУ ВШЭ [8].

Это свидетельствует о том, что для дальнейшего развития промышленной автоматизации необходимо не только расширять внедрение готовых решений, но и усиливать отечественную научно-технологическую базу, развивать промышленное программное обеспечение и готовить специалистов для работы с цифровыми системами управления.

В целом результаты анализа показывают, что автоматизация в электроэнергетике и промышленности имеет выраженное практическое значение. В электроэнергетике она обеспечивает устойчивость энергосистемы, корректную работу защит и повышение управляемости электросетевой инфраструктуры. В промышленности автоматизированные технологии становятся основой модернизации производственных процессов, цифрового проектирования, обработки данных и повышения эффективности управления.

Фиксируется совокупность проблем, выступающих в качестве сдерживающего фактора процесса автоматизации, которая в наиболее общем виде детерминируется через износ эксплуатационного парка оборудования, необходимость проведения модернизации РЗА, наличествующие сложности интеграции новых цифровых решений, возрастание требований к обеспечению информационной безопасности, а также через дефицит прикладных технологий и квалифицированных кадров.

В результате проведенного анализа формулируются направления совершенствования автоматизации в электроэнергетике и промышленности, при этом в качестве приоритетного определяется переход к предиктивной диагностике, базирующейся на систематизированном сборе и многоаспектном анализе данных о состоянии РЗА, подстанционного оборудования, трансформаторов и выключателей, что обеспечивает возможность выявления предаварийных признаков на докритических стадиях и снижение вероятности некорректной работы соответствующих систем.

Второе направление развития выступает в виде масштабирования применения цифровых двойников объектов, использование которых предоставляет возможность моделирования режимов эксплуатации, прогнозирования аварийных сценариев, оценки последствий принимаемых решений и совершенствования процедур технического обслуживания, при этом в условиях усложнения структур функционирования инфраструктуры цифровые двойники рассматриваются как потенциальная методологическая основа для реализации интеллектуального управления инфраструктурой.

Внедрение технологий искусственного интеллекта и машинного обучения рассматривается как приоритетное направление развития автоматизированных систем управления, при котором осуществляется прогнозирование нагрузки, фиксируется выявление аномалий, производится оптимизация энергопотребления, осуществляется анализ аварийных ситуаций и предоставляется поддержка процесса принятия решений в эксплуатационной среде, при этом обеспечение соответствующего уровня ответственности и безопасности подлежит институционализированному контролю со стороны квалифицированных специалистов ввиду высокой степени ответственности энергетических и промышленных объектов.

Создание единой цифровой среды управления на основе стандартизированных данных и совместимых протоколов обмена представляется критически важной задачей, направленной на обеспечение интеграции АСУ ТП, SCADA, РЗА, систем интеллектуального учета, систем технического обслуживания и корпоративных

информационных платформ в единую управляемую систему, при которой достигается переход от локальной автоматизации к комплексной цифровой трансформации энергетической и промышленной инфраструктуры через унификацию форматов данных и обеспечение совместимости коммуникационных протоколов.

Укрепление кибербезопасности, обеспечение поддержки отечественных программных решений и формирование системы подготовки квалифицированных кадров рассматриваются как необходимые условия развития автоматизации, поскольку указанные направления детерминируют устойчивость цифровой трансформации и способствуют снижению сопутствующих рисков, следовательно дальнейшее развитие автоматизации подлежит включению внедрения новых технологических решений и созданию условий, обеспечивающих их надежное долгосрочное использование.

Заключение

Анализом зафиксировано существенное влияние современных технологий автоматизации на электроэнергетику и промышленность. В электроэнергетике в указанном аспекте данное влияние проявляется в повышении надежности энергосистем, в выявлении аварийных режимов, в совершенствовании управления сетями и в снижении доли человеческого фактора. В промышленности автоматизация рассматривается как основа модернизационных процессов, направленных на повышение производительности, на внедрение цифрового проектирования и на рационализацию использования ресурсов.

Вместе с тем дальнейшее развитие автоматизации требует решения ряда задач, связанных с модернизацией оборудования, внедрением предиктивной диагностики, развитием цифровых двойников, обеспечением кибербезопасности и расширением отечественной технологической базы. Наиболее перспективным направлением является переход от локального внедрения отдельных цифровых решений к комплексным интеллектуальным системам управления, способным объединять мониторинг, анализ данных, прогнозирование и поддержку принятия решений.

Список источников

1. Максимцев И.А., Костин К.Б., Онуфриева О.А. Современные тенденции развития цифровизации в мировой энергетике // Вопросы инновационной экономики. – 2023. – Т. 13, №. 2. – С. 1087-1104.
2. Иваненко О. Б., Головкина Е. В. Цифровая трансформация российской электроэнергетики: перспективы и ограничения // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, № 11. – С. 5063-5076. – DOI: 10.18334/erpp.13.11.119863. – EDN SAGZBN.
3. Подгурская И. Г., Павленко Е. М. Автоматизированные системы управления цифровыми подстанциями // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2025. – №. 109. – С. 78-81.
4. Зацепина В. И., Сороченко П. А. Разработка модели системы релейной защиты и автоматизации цифровой подстанции // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2023. – Т. 19, № 2(72). – С. 29-37. – DOI: 10.53015/18159958_2023_19_2_29. – EDN HVMJWZ.
5. Афанасьев А. А. Индустрия 4.0: к вопросу о перспективах цифровой трансформации промышленности в России // Вопросы инновационной экономики. – 2023. – Т. 13, №. 3. – С. 1427-1446. – DOI:10.18334/vinec.13.3.117880
6. Системный оператор представил результаты функционирования устройств релейной защиты и автоматики в ЕЭС России за 2024 год / АО «СО ЕЭС». 13.03.2025. – URL: <https://www.so-ups.ru/news/press/press-release-view/news/27021/> (дата обращения: 15.05.2026).
7. Принята новая Стратегия цифровой трансформации Группы «Россети» / ПАО «Россети». 17.09.2024. – URL: <https://rosseti.ru/press-center/news/prinyata-novaya-strategiya-tsifrovoy-transformatsii-gruppy-rosseti/> (дата обращения: 15.05.2026).

8. Репина А. А. Передовые технологии для производства: сделано в России / Институт статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ. 09.06.2025. – URL: <https://issek.hse.ru/news/1054368610.html> (дата обращения: 15.05.2026).

Сведения об авторах

Мифтахова Самира Маратовна – студент бакалавриата, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова», г. Санкт-Петербург, Россия

Стратьева Дарья Борисовна – студент бакалавриата, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова», г. Санкт-Петербург, Россия

Волосюк Дарья Александровна – студент бакалавриата, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова», г. Санкт-Петербург, Россия

Сагитов Дамир Ильдарович – доцент кафедры №13 «Системы Автоматизированного Управления», кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова», г. Санкт-Петербург, Россия

Information about the authors

Miftakhova Samira Maratovna – Bachelor's degree student, St. Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A.A. Novikov, St. Petersburg, Russia

Darya Borisovna Stratieva – Bachelor's degree student, St. Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A.A. Novikov, St. Petersburg, Russia

Darya Aleksandrovna Volosyuk – Bachelor's degree student, St. Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A.A. Novikov, St. Petersburg, Russia

Sagitov Damir Ildarovich – Associate Professor of Department No. 13 "Automated Control Systems", Candidate of Technical Sciences, St. Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A.A. Novikov, St. Petersburg, Russia