

4. **Коновалов, Ю.В.** Развитие солнечной энергетики в России и мире / Ю.В. Коновалов, А.А. Козина // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2015. № 9. – С. 156-160.

5. **Коновалов, Ю.В.** Расчет инсоляции солнечной фотоэлектрической электростанции с учетом геолокационных и погодных параметров / Ю.В. Коновалов, А.Н. Хазиев // iPolytech Journal. 2022. Т. 26. № 3. – С. 439-450.

6. **Konovalev, Y.V.** Computer technology applications to calculate the insolation of photoelectric power plant / Y.V. Konovalev, A.N.

Khaziev / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 4. Ser. "IV International Scientific and Practical Conference "Actual Problems of the Energy Complex: Physical Processes, Mining, Production, Transmission, Processing and Environmental Protection"". 2022. – С. 012048.

7. **Коновалов, Ю.В.** Использование солнечных панелей для повышения надежности систем электроснабжения средств автоматики и сигнализации / Ю.В. Коновалов, А.Н. Хазиев // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2024. № 21. – С. 322-325.

УДК 621.31

Коновалов Юрий Васильевич,

*к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: yrvaskon@mail.ru*

**Гончаренко Алена Анатольевна, Гончаренко Роман Анатольевич,
Шаура Максим Петрович, Иванов Иван Сергеевич,**

студенты группы ЭЭ-23-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

Петрова Анастасия Владимировна,

*ГБПОУ ИО «Ангарский политехнический техникум», преподаватель специальных дисциплин,
e-mail: nastya.surova.98@bk.ru*

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Konovalev Yu.V., Goncharenko A.A., Goncharenko R.A., Shaura M.P., Ivanov I.S., Petrova A.V.

DIGITALIZATION AND INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN INDUSTRIAL SAFETY AT ELECTRIC POWER SITES

Аннотация. Промышленная безопасность на объектах электроэнергетики – это не просто набор правил и инструкций, а системная дисциплина, объединяющая инженерные решения, организационные меры, человеческий фактор и цифровые технологии. Её цель – предотвратить аварии, которые могут привести к гибели людей, масштабным разрушениям оборудования, экологическим катастрофам и экономическим потерям в миллиарды рублей.

Ключевые слова: электроэнергетика, риск, экономия, промышленная безопасность, цифровые технологии.

Abstract. Industrial safety at electric power facilities is not just a set of rules and structures, but a systematic discipline that combines engineering solutions, organizational measures, the human factor and digital technologies. Its goal is to prevent accidents that can lead to loss of life, large-scale destruction of equipment, environmental disasters and economic losses of billions of rubles.

Keywords: electric power industry, risk, savings, industrial safety, digital technologies.

Электроэнергетика – это фундамент современного общества. От работы медицинских учреждений и транспортных систем до цифровых платформ и промышленных предприятий – всё зависит от бесперебойного, безопасного и надёжного энергоснабжения [1]. Однако именно эта отрасль относится к

категории особо опасных и технически сложных объектов (ОСОТ), что обусловлено высокими энергетическими потенциалами, сложностью технологических процессов, масштабами инфраструктуры и потенциально катастрофическими последствиями аварий.

Согласно данным Ростехнадзора, за последние 5 лет более 60% аварий на энергообъектах связаны с нарушением эксплуатационных регламентов, устаревшим оборудованием и недостаточной квалификацией персонала. В условиях цифровой трансформации и растущих требований к устойчивости инфраструктуры, промышленная безопасность перестаёт быть пассивной функцией контроля – она становится стратегическим компонентом управления рисками.

Основой системы промышленной безопасности в электроэнергетике является Федеральный закон № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (в ред. от 2024 г.) [2]. Он определяет критерии отнесения объектов к категории опасных производственных объектов (ОПО), обязанности эксплуатирующих организаций, требования к аттестации персонала, порядок проведения экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ) и ответственность за нарушения.

В электроэнергетике к ОПО относятся электростанции (ТЭС, ГЭС, АЭС, ВЭС, СЭС), подстанции напряжением 110 кВ и выше, линии электропередачи (ЛЭП) 110 кВ и выше, объекты хранения и транспортировки масла, газа, хладагентов, а также аккумуляторные установки ёмкостью более 100 кВт·ч.

Кроме того, действуют ПБ 03-406-01 (Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок), ПТЭЭП (Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей) [3], ПУЭ (Правила устройства электроустановок), ГОСТ Р 55507-2013 (Безопасность при эксплуатации электроустановок) [4], а также Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности [5].

Важно, что с 2023 года вступили в силу новые требования к автоматизированным системам управления промышленной безопасностью (АСУ ПБ), обязывающие организации внедрять цифровые платформы для мониторинга параметров оборудования, предиктивного обслуживания и автоматического оповещения об отклонениях.

Особое значение приобретает согласование их с требованиями Евразийского экономического союза (ЕАЭС) и ISO 45001 – международными стандартами охраны труда и управления безопасностью, что становится обязательным для экспортеров энергетиче-

ского оборудования и участников международных проектов.

Промышленная безопасность на объектах электроэнергетики строится на системном подходе к идентификации, оценке и минимизации рисков. Рассмотрим основные категории опасностей.

Электрические риски: электротравматизм – поражение током при нарушении изоляции, неправильном заземлении, нарушении ПТЭЭП; дуговые разряды – возникают при коротких замыканиях, особенно в распределительных устройствах 6 - 35 кВ. Температура дуги может превышать 20000 °С – приводит к взрывам, пожарам, разрушению оборудования; перенапряжения – вызываются грозовыми разрядами, коммутационными процессами или сбоями в работе релейной защиты.

Тепловые и пожарные риски: пожары в трансформаторах – из-за перегрева, утечки масла, неисправности системы охлаждения; возгорание кабельных трасс – особенно в туннелях и каналах при отсутствии огнестойкой изоляции; пожары в аккумуляторных помещениях – литий-ионные аккумуляторы (в СЭС и АИЭС) при перезарядке, механическом повреждении или термическом пробое могут вступать в термический выбег – необратимый процесс саморазогрева с последующим взрывом.

Механические и конструкционные риски: разрушение опор ЛЭП при снеговых/ветровых нагрузках; коррозия металлоконструкций подстанций в агрессивных средах (прибрежные зоны, промзоны); усталостные трещины в турбинах, генераторах, трубопроводах.

Человеческий фактор: согласно анализу Ростехнадзора, 70 - 80% аварий связаны с человеческим фактором – нарушение регламентов (например, работа без нарядодопуска), недостаточная квалификация, усталость, стресс, недостаток обучения, отсутствие культуры безопасности [6].

Внешние угрозы: климатические изменения – увеличение частоты экстремальных погодных явлений (ураганы, пожары, сильные морозы) – влияет на надёжность ЛЭП и генерирующих мощностей; кибератаки – нарушение работы систем SCADA, АСУ ТП, релейной защиты. Пример: атака на украинскую энергосистему в 2015 - 2016 гг.; террористические угрозы – целенаправленные

действия против ключевых узлов энергосистемы.

Современная промышленная безопасность строится на модели «Цепочки безопасности»: проектирование – учёт требований ПБ на этапе проектирования (включая «безопасность по умолчанию»); строительство и монтаж – контроль качества, сертификация оборудования, аудит подрядчиков; эксплуатация – регулярные осмотры, техническое обслуживание, диагностика; обучение и аттестация персонала – обязательная переподготовка каждые 3 года; мониторинг и управление рисками – использование цифровых платформ; реагирование на аварии – планы ликвидации последствий, тренировки.

Технические средства защиты включают автоматические системы релейной защиты (АРЗ) – предотвращают распространение аварий; системы автоматического отключения (АВР, АПВ) – обеспечивают восстановление питания при кратковременных сбоях; системы пожаротушения: газовые (CO₂, азот), порошковые, водяные с распылением; системы мониторинга температуры и вибрации – на трансформаторах, генераторах, подшипниках; роботизированные комплексы – для инспекции ЛЭП (дроны с ИК-камерами), осмотра трансформаторов, работы в зонах повышенной опасности.

Цифровизация кардинально меняет подходы к промышленной безопасности [7, 8]. Цифровой двойник – создание виртуальной копии подстанции или ЛЭП с реальным потоком данных – позволяет прогнозировать отказы, тестировать сценарии аварий без риска для реального оборудования. Интернет вещей – датчики температуры, влажности, вибрации, уровня масла, тока – обеспечивают постоянный мониторинг, автоматические оповещения при отклонениях. Искусственный интеллект – анализ больших данных для выявления паттернов, предиктивная аналитика – снижает простои на 30 - 40%, аварийность – на 25 - 35%. Блокчейн – цифровая регистрация технических осмотров, нарядов-допусков, аттестаций – создаёт неизменяемую историю операций, исключает подделки. AR/VR-обучение – виртуальные тренажёры для обучения персонала работе на высоковольтном оборудовании – повышает уровень осознанности, снижает ошибки при реальных операциях.

Энергокомпания «Россети» внедрила систему «Электро-Цифра» – платформу, объ-

единяющую данные с 12000 подстанций. Благодаря ИИ-анализу вибрации трансформаторов и температуры обмоток, удалось предотвратить 14 потенциальных аварий в 2024 году, избежав ущерба на сумму более 800 млн. руб.

Ни одна технология не заменит человека, если он не подготовлен и не мотивирован. Согласно ПТЭЭП, персонал, обслуживающий электроустановки, обязан проходить первичный инструктаж, повторный – раз в 6 месяцев, внеплановый – после изменений в регламентах или аварий, проверка знаний – не реже 1 раза в год.

Новация 2025 года: Минтруд РФ ввёл обязательную квалификацию по цифровым технологиям для инженеров по безопасности – знание работы с IoT-платформами, интерпретация данных с датчиков, работа с цифровыми нарядами.

Культура безопасности включает принцип «Не бойся сообщить» – поощрение сообщений о потенциальных рисках без наказания; «Безопасность – это обязанность каждого» – вовлечение всех сотрудников, включая уборщиков и водителей, в процессы безопасности; система «Безопасное поведение» (BBS) – наблюдение, обратная связь, поощрение.

Компания «Газпром энергохолдинг» внедрила программу «Сообщи – спаси жизнь», в рамках которой сотрудники получают бонусы за выявление рисков. За 2 года число сообщений о потенциальных авариях выросло в 5 раз, а число несчастных случаев – снизилось на 47%.

Будущее промышленной безопасности связано с интеграцией с «умными сетями» (Smart Grid) [9]. Современные энергосистемы – это не просто линии и трансформаторы, а динамические, самоуправляемые сети, способные адаптироваться к нагрузке, генерации и авариям. Безопасность здесь – это встроенная функция, а не внешний контроль. Пример: системы AI-управления, которые автоматически перераспределяют нагрузку при выходе из строя участка ЛЭП, минимизируя риски для персонала и оборудования.

Рост доли ВИЭ (ветроэнергетика, солнечные станции, аккумуляторные хранилища) создаёт новые вызовы: пожары в литий-ионных системах; необходимость новых стандартов для хранения энергии; сложность интеграции в существующие сети. Решение: разработка национальных стандартов по без-

опасности хранения энергии (ГОСТ Р 58672-2024) и внедрение систем детекции газов (H₂, CO, SO₂) в АИЭС.

Цифровые сертификаты безопасности – блокчейн-записи всех технических осмотров, ремонтов, аттестаций доступны для регуляторов и аудиторов. Открытые дашборды безопасности – публичная статистика по аварийности, инцидентам, выполнению планов (как в «Россетях» и «СберЭнерго»). ESG-требования: инвесторы требуют прозрачности в управлении рисками. Нарушения ПБ теперь влияют на кредитный рейтинг и доступ к зелёным займам.

Промышленная безопасность на объектах электроэнергетики – это не формальное соответствие нормам. Это стратегическая необходимость, определяющая устойчивость всей национальной инфраструктуры. Современ-

ные технологии – от цифровых двойников до ИИ – позволяют перейти от реактивной модели «ре-агируй после аварии» к проактивной – «предотвращай до того, как произойдёт». Но ключевой ресурс остаётся – человек. Без квалифицированного, мотивированного, обученного персонала ни одна система не спасёт.

Рекомендации для руководителей и специалистов: инвестировать в цифровые системы мониторинга и предиктивной аналитики; перевести обучение на цифровые платформы с VR-тренажёрами; внедрить культуру «безопасности как ценности» – не как обязанность, а как часть миссии; регулярно пересматривать риски с учётом климатических и технологических изменений; взаимодействовать с Ростехнадзором, НИИ и вузами для внедрения передовых практик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коновалов, Ю.В.** Тенденции развития мировой энергетики в современных условиях / Ю.В. Коновалов, Н.В. Буякова, Н.К. Малинин, А.А. Терехова, А.С. Хухрянская, Д.А. Марченко // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2024. № 21. – С. 302-308
2. Федеральный закон № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (ред. от 2024).
3. ПТЭЭП – Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (утв. Приказом Минэнерго РФ от 08.07.2002).
4. ГОСТ Р 55507-2013 «Безопасность при эксплуатации электроустановок».
5. ФНП № 533 «Правила по промышленной безопасности электрических станций и сетей».
6. Ростехнадзор. Отчёты о происшествиях на ОПО. 2020–2024 гг.
7. **Коновалов, Ю.В.** Автоматизация и цифровизация объектов электроэнергетики / Ю.В. Коновалов, А.Е. Вайгачев, А.А. Уваров // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2021. № 15. – С. 51-55.
8. Цифровизация систем управления энергопотреблением нефтедобывающих предприятий/ Коновалов Ю.В., Какабаев Ч.Ы. В сборнике: Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2023. С. 62-65.
9. **Крюков, А.В.** Применение интеллектуальных технологий для электротехнических комплексов на нефтегазодобывающих предприятиях / А.В. Крюков, Ю.В. Коновалов // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2018. Т.1. № 15. – С. 162-169.
10. **Коновалов, Ю.В.** Развитие солнечной энергетики в России и мире / Ю.В. Коновалов, А.А. Козина // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2015. № 9. – С. 156-160.
11. **Коновалов, Ю.В.** Использование солнечных панелей для повышения надежности систем электроснабжения средств автоматики и сигнализации / Ю.В. Коновалов, А.Н. Хазиев // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2024. № 21. – С. 322-325.