Оригинальная статья / Original article

УДК 347.948.2; 621.311.42

DOI: <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-1-64-74>

Обеспечение безопасности при эксплуатации электрических сетей

© О.М. Кустов

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия*

Резюме: Обеспечение безопасности при эксплуатации электрических сетей основано на исключении несчастных случаев в виде тяжелых травм или смертельного исхода на объектах электросетевого хозяйства. Цель работы – проведение анализа нарушений требований нормативных документов, которые приводят к наступлению тяжелых последствий и летальному исходу при эксплуатации электрических сетей. Расследование несчастных случаев проводится согласно приказам, методикам, положениям и инструкциям министерств и ведомств. Методически они основаны на сборе информации, ее систематизации, обобщении, анализе, сравнении с нормативными требованиями и на формировании санкций. Нарушения эксплуатационного режима, сопряженного со смертельными и тяжелыми несчастными случаями, затрагивают не только профессиональных работников, но и работников жилищных товариществ, а также лиц, потребляющих электроэнергию в личных целях. На основании разделения ответственности на линии электропередачи от производителя до потребителя появляются участки ответственности, выражающейся в гражданском, а в случае трагедии – в уголовном праве. В данном исследовании рассматриваются эти положения. Делается вывод о необходимости разработки единого стандарта содержания объектов электроэнергии и о совершенствовании организации контроля. Приводится анализ причин несчастных случаев и дается заключение о необходимости выработки единых требований к содержанию и эксплуатации объектов электросетевого хозяйства.

Ключевые слова: граница балансовой и эксплуатационной ответственности, несчастный случай, ответственность владельцев энергообъектов, нарушение эксплуатационного режима, экспертиза, доступность опасных зон

Для цитирования: Кустов О.М. Обеспечение безопасности при эксплуатации электрических сетей. XXI век. Техносферная безопасность. 2021;6(1):64–74. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-1-64-74>

Ensuring safety of electric networks

Oleg M. Kustov

*Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia*

Abstract: Ensuring safety of electrical networks is based on the exclusion of severe injuries or deaths at the facilities. The paper analyzes the violation of regulatory acts, which cause severe consequences and deaths. Investigation of accidents is carried out in accordance with orders, methods, regulations and instructions of ministries and departments. Methodologically, they involve the collection, systematization, generalization, analysis, comparison of information with regulatory requirements. Violations of the operating regime causing fatal and serious accidents affect professional workers and employees of housing associations, as well as people who consume electricity for personal needs. On the basis of the division of responsibility for transmission lines from the producer to the consumer, areas of responsibility have been identified. Responsibility is regulated by civil and criminal laws. The article examines their provisions. It is necessary to develop a unified standard for the maintenance of electricity facilities and improve control measures.

Keywords: the boundary of balance and operational liability, causes of accidents, liability of owners of power facilities, violation of operating conditions, expertise, availability of hazardous areas

For citation: Kustov OM. Ensuring safety of electric networks. XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost' = XXI century. Technosphere Safety. 2021;6(1):64–74. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2021-1-64-74>

ВВЕДЕНИЕ

Безопасность электрохозяйства основана на точном и своевременном выполнении технических и технологических требований и условий. Строительство линий электропередач (ЛЭП) и их эксплуатация с отклонением от проектного решения находятся в прямой связи с вероятными негативными последствиями. Нарушение эксплуатационного режима также приводит к несчастным случаям с травмами и гибелью работников электросетевых компаний, сотрудников управляющих компаний и граждан, не связанных с электроснабжением.

Наступление несчастного случая требует детального и последовательного рассмотрения и указания причин, а также выявления ответственных за события лиц. Трудности с установлением виновных заключаются в определении границ балансовой и эксплуатационной ответственности за электрооборудование на месте совершения несчастного случая [1], а также степени ответственности должностных лиц¹.

Расследование несчастных случаев позволяет разработать механизмы для снижения риска повторных событий и выработать риск-ориентированный подход к организации безопасности.

Цель работы – проведение анализа нарушений требований нормативных документов, которые приводят к наступлению тяжелых последствий и летальному исходу при эксплуатации электрических сетей.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования – предприятия энергетики, на примере которых установлены и оперативно описаны несчастные случаи на начальном этапе сбора информации. Данная информация получена от комиссии по расследованию, включая материалы уголовного дела, а также информационные источники свободного доступа. Использованы данные камеральной обработки результатов наблюдения, включающего обработку собранного в ходе осмотра места происшествия материала.

Методы исследования: составление проекта исследовательских работ, реконструкция места осмотра, фотографирование местности и измерение расстояний фотографирования.

Камеральный этап включает в себя окончательную обработку полученных материалов и данных, оценку соответствия точности результатов, выявление дефектов с точки зрения технических нормативов и технических условий, согласование с нормативными правовыми требованиями и технической литературой.

На основании материалов проведен качественный анализ и обобщение результатов. Экспертное исследование основано на сравнении требуемых параметров электросетей и реального состояния на объекте, а также на подготовке технического заключения.

¹Информационно-аналитическая справка по травматизму [Электронный ресурс] // Минэнерго России. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/14846> (24.02.2021).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается динамика увеличения количества различных несчастных случаев на объектах электроэнергетики (рис. 1).

Характер несчастных случаев

- Ряд 1 – количество несчастных случаев
- Ряд 2 – несчастные случаи со смертельным исходом
- Ряд 3 – групповые несчастные случаи

Рис. 1. Динамика несчастных случаев на объектах энергетики

Fig. 1. Dynamics of accidents at energy facilities

В точном цифровом выражении по данным Министерства энергетики России согласно Информационно-аналитической справке по травматизму² количество несчастных случаев (НС) с работниками электросетевых предприятий следующее:

- в 2016 г. – 50 НС, из них 6 со смертельным исходом и 4 групповых;
- в 2017 г. – 56 НС, из них 14 со смертельным исходом и 4 групповых;
- в 2018 г. – 86 НС, из них 9 со смертельным исходом и 5 групповых.
- в 2019 г. – 91 НС, из них 23 со смертельным исходом и 4 групповых;

– в 2020 г. (в первом полугодии) – 31 НС, из них 6 со смертельным исходом и 2 групповых.

Выявлены основные причины несчастных случаев на производстве:

- 1) неудовлетворительная организация производства работ;
- 2) нарушение пострадавшими требований и норм охраны труда;
- 3) личная неосторожность пострадавших;
- 4) неудовлетворительный контроль над работниками со стороны назначенных ответственных лиц;
- 5) неправильное применение средств индивидуальной защиты, спецодежды и спецобуви.

Для определения виновных причины возникновения несчастных случаев можно разделить на технические и дисциплинарные³.

Технические причины травматизма на производстве – любые обстоятельства, связанные с неисправностью зданий, конструкций, сооружений, производственных линий, отдельных узлов и установок, а также средств защиты как индивидуальных, так и коллективных.

К техническим причинам производственного травматизма относят:

- неисправность оборудования (поломка, авария, неожиданно выявившийся дефект и нарушение производственной функции);
- нарушение освещенности рабочего места, звуко-, термо-, токо- и виброизоляции;
- неисправность систем защиты;
- иные неисправности и поломки, напрямую не зависящие от деятельности конкретных лиц.

²Информационно-аналитическая справка по травматизму [Электронный ресурс] // Минэнерго России. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/14846> (24.02.2021).

³Ростовский центр судебных экспертиз [Электронный ресурс] // Ростехэксперт. URL: <https://rostexpert.ru/> (24.02.2021)

Дисциплинарные причины и виновность должностных лиц устанавливается на основе всех материалов по делу. Однако заключение специалиста о причинах произошедшего является одним из главных доказательств в суде.

К дисциплинарным причинам травматизма относят:

- нарушение правил, инструкций и норм по охране труда и технике безопасности;
- несоблюдение должностных и временных приказами по предприятию обязанностей;
- отсутствие или неграмотная организация контроля над техническим состоянием опасных объектов, а также правилами допуска работников;
- игнорирование требований к инструктированию, стажировке и прочим нормам охраны труда на производстве.

Согласно данным Енисейского управления Ростехнадзора⁴, за отчетный период 2018 г. произошло 32 несчастных случая со смертельным исходом, в то время

как за аналогичный период в 2017 г. – 49 (рис. 2).

Причинами несчастных случаев по Сибирскому федеральному округу являются:

- неудовлетворительный контроль администрации;
- невыполнение технических мероприятий;
- неудовлетворительная организация производства работ;
- доступ посторонних лиц;
- невыполнение технических мероприятий, обеспечивающих безопасное выполнение работ в электроустановках;
- неознакомление членов бригады ответственным руководителем работ и производителем работ с требованиями технологической карты;
- отсутствие надзора за выполнением работ с грузоподъемным механизмом в охранной зоне высоковольтной линии (ВЛ), находящейся под напряжением, со стороны ответственного руководителя работ.

Рис. 2. Динамика травматизма со смертельным исходом за 2013–2019 гг.

Fig. 2. Dynamics of fatal injuries in 2013–2019.

⁴Анализ несчастных случаев на энергоустановках, подконтрольных органам Ростехнадзора [Электронный ресурс] // Енисейское управление Ростехнадзора. URL: <http://enis.gosnadzor.ru/info/analys/> (24.02.2021)

На объектах электросетевой энергетики травмируются не только работники электрических сетей, но и сотрудники управляющих компаний и граждане, не связанные с электрохозяйством. Данная категория несчастных случаев, как правило, не расследуется органами Государственной инспекции по труду, так как не является производственной травмой. Органы Ростехнадзора расследуют несчастные случаи с гражданами, не являющимися работниками энергетики, но решение о необходимости расследования конкретного несчастного случая принимает руководитель. Ростехнадзор, как правило, не расследует подобные случаи. Данные несчастные случаи требуют проведения независимого экспертного исследования.

Наиболее опасными объектами электросетевой энергетики по данным Минэнерго РФ⁵ являются: ЛЭП, распределительные щиты и трансформаторные подстанции (ТП).

Важной задачей при установлении ответственных за эксплуатацию объектов энергетики является установление границы ответственности субъектов потребления электроэнергии.

Границей балансовой и эксплуатационной ответственности между сетевой и управляющей компаниями, как правило,

служит ТП точки поставки⁶.

Трансформаторные подстанции находятся во владении электросетевых компаний, а от подстанции электроэнергию подает управляющая компания до точки присоединения к электрической сети потребителя.

Точкой присоединения является линия раздела объектов электроэнергетики между владельцами по признаку собственности или владения на ином предусмотренном федеральными законами основании, определяющая границу эксплуатационной ответственности за состояние и обслуживание электроустановок по передаче электрической энергии между сетевой организацией и потребителем услуг, в интересах которого заключается договор об оказании услуг по передаче электрической энергии.

Потребитель (гражданин, пользователь электроэнергии) принимает на себя ответственность на границе своего частного участка.

Схема подключения потребителей от ТП аналогична Европейской схеме по стандартам МЭК 60364-5-52⁷ и отличается схемы, принятой в Северной Америке, где ТП обслуживает один дом или небольшую группу домов согласно стандарту Национального электромон-

⁵Информационно-аналитическая справка по травматизму [Электронный ресурс] // Минэнерго России. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/14846> (24.02.2021).

⁶Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам администратора торговой системы оптового рынка и оказания этих услуг и Правил технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям: постановление Правительства РФ от 27.12.2004 N 861. (ред. от 02.03.2021) [Электронный ресурс] // Консультант-плюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51030/ (24.02.2021).

⁷МЭК (IEC) 60364-5-52 (E). International standard [Электронный ресурс] // webstore.iec.ch. URL: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60364-1%7Bed5.0%7Den_d.pdf (24.02.2021).;

Electrical installation guide [Электронный ресурс] // Technical solutions Schneider electric. URL: <https://www.schneider-electric.com/en/work/products/product-launch/electrical-installation-guide> (24.02.2021).

тажного кодекса США, состоящего из 140 статей⁸ [1–3, 6, 7]. Данный факт позволяет провести границу ответственности с учетом принадлежности ТП собственнику непосредственного жилого здания.

За 2017–2018 гг. на территории Иркутской области и Забайкальского края зафиксирован ряд несчастных случаев с участием малолетних со смертельным исходом. Проведенные экспертные электротехнические исследования выявляют причины наступления негативных событий. Следует отметить одинаковую причину происшествий – беспрепятственный доступ в помещение ТП и приближение к токоведущим сетям. В соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок (ПУЭ)⁹, безопасность обслуживающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться выполнением мер защиты предусмотренных мероприятий:

- соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей или путем закрытия, ограждения токоведущих частей;

- применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям.

Согласно ПУЭ, ограждения и оболочки должны быть надежно закреплены и иметь достаточную механическую прочность. Выход за ограждение или вскры-

тие оболочки должны быть возможны только при помощи специального ключа или инструмента либо после снятия напряжения с токоведущих частей. При невозможности соблюдения этих условий должны быть установлены промежуточные ограждения со степенью защиты не менее IP 2X, удаление которых также должно быть возможно только при помощи специального ключа или инструмента. Согласно п. 3.18. ГОСТ 14695-80⁹ двери в комплексную трансформаторную подстанцию должны без заеданий поворачиваться на шарнирах на угол не менее 95°, иметь замки и ручки. Ручки могут быть съемными или совмещенными с ключом или защелкой. Согласно п. 3.19. ГОСТ 14695-80¹⁰ замки дверей устройства высокого напряжения и распределительное устройство низкого напряжения должны запираются ключами с разными секретами. В соответствии с требованиями ГОСТ 5089-2011¹¹, замки ТП по характеризующим охраняемым свойствам (секретность, надежность (безотказность), прочность, стойкость к криминальному вскрытию (взлому)) должны быть исполнены по 3-4 классу для запирающих защитных конструкций с дополнительными или с особыми требованиями.

Однако данное требование выполняется только на 50%. В период реформирования энергетической системы сетевые компании приняли на баланс ТП,

⁸National Electrical Code (NEC) [Электронный ресурс] // Electrical Construction and Maintenance Magazine, Conductors for General Use. URL: <http://ecmweb.com/nec/code-basics/conductors-for-general-use-20110901> (24.02.2021)

⁹Об утверждении глав Правил устройства электроустановок: приказ Минэнерго России от 08.07.2002 № 204 [Электронный ресурс] // Техэксперт. URL: <http://docs.cntd.ru/document/45607245> (24.02.2021).

¹⁰ГОСТ 14695-80. Подстанции трансформаторные комплектные мощностью от 25 до 2500 кВ·А на напряжение до 10 кВ. Общие технические условия (с Изменениями N 1-5) [Электронный ресурс] // Техэксперт. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-14695-80> (24.02.2021)

¹¹ГОСТ 5089-2011. Замки, защелки, механизмы цилиндрические. Технические условия. Введ. 01.01.2013. [Электронный ресурс] // Техэксперт. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-5089-2011> (24.02.2021)

выпущенные во времена СССР, к которым не предъявлялись данные требования. Около 80% ТП в регионах эксплуатируются более 25 лет.

Замки на входных дверях ТП, как правило, не имеют требуемую степень секретности (рис. 3), что не обеспечивает требования организации недоступности. Здания ТП не оборудованы системой уравнивания потенциалов.

Рис. 3. Навесной замок без степени секретности

Fig. 3. Padlock without a degree of secrecy

По экспертному исследованию навесной замок относится к 1-му классу защиты. Его охранные свойства низкие и не соответствуют требованиям ГОСТ 5089-2011 «Замки, защелки, механизмы цилиндрические. Технические условия», поскольку время вскрытия замка составило 30 сек.

Распределительные системы не оборудованы защитой, автоматическое отключение работает только на перегрузку сети, устройства и приборы в здании ТП не заземлены. В зданиях ТП встречаются токопроводящие полы без соединения с заземляющим контуром (рис. 4).

Проверка ТП производится визуальным контролем со снятием показаний приборов учета общей токовой нагрузки для обеспечения потребителей, правила и регламент проверки состояния не соответствует рекомендациям СТО 56947 007-29.240.10.030-2009¹².

Рис. 4. Металлические листы в здании ТП без соединения с заземляющим контуром

Fig. 4. Metal sheets in the TP building without connection to the ground loop

¹²СТО 56947007-29.240.10.030-2009. Методические указания по проведению периодического технического освидетельствования электротехнического оборудования ПС ЕНЭС [Электронный ресурс] // Техэксперт. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200088725> (24.02.2021).

В соответствии с требованиями «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации»¹³, на каждом энергообъекте должен быть организован постоянный и периодический контроль (осмотры, технические освидетельствования, обследования) технического состояния энергоустановок (оборудования, зданий и сооружений). Определены уполномоченные за их состояние и безопасную эксплуатацию лица, а также назначен персонал по техническому и технологическому надзору и утверждены его должностные функции.

В соответствии с ПТЭЭП¹⁴ все технологические системы, оборудование, здания и сооружения, в том числе гидросооружения, входящие в состав энергообъекта, должны подвергаться периодическому техническому освидетельствованию.

Проведенные экспертные исследования по фиксации, камеральной обработке и качественному анализу причинно-следственных связей выявили общие нарушения эксплуатационного режима. В настоящее время контроль над состоянием ТП возложен на собственников сетей, а надзор – на Минэнерго и территориальные органы Ростехнадзора. Отмечается несогласованность действий эксплуатирующих организаций по организации контроля над установками энергообъектов в соответствии с большим количеством требований нормативно-организационных документов без указания конкретных обязательных условий. Многообразие документооборота снижа-

ет уровень обязательности исполнения.

Самоконтроль собственников (сетевых компаний) является слабоэффективным. Согласно ПТЭЭП¹⁴, руководитель самостоятельно утверждает график периодического контроля, не всегда соответствующий типовым рекомендациям. В настоящее время единого требования к периодичности проверок, перечню обязательных контрольных мероприятий, регламенту и частоте осмотров не существует.

Требования к техническим параметрам состояния энергообъектов установлены и имеют обязательный характер. Вопрос заключается в состоянии и содержании.

Анализ причин несчастных случаев позволяет сделать вывод о необходимости разработки и утверждении обязательного единого стандарта организации периодического контроля, так как методические рекомендации не имеют обязательного характера и внедрения риск-ориентируемого подхода.

Обязательный характер практического применения должен четко содержать обязательные позиции регламента:

- периодический контроль соответствия смонтированной электроустановки и технологии выполнения электромонтажных работ проекту и нормативной документации;

- измерение сопротивления изоляции, проверка электрической прочности соединений и конструктивных элементов;

- проверка надежности срабатывания аппаратов защиты при системе питания

¹³ Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации" (с изменениями и дополнениями): приказ Минэнерго РФ от 19 июня 2003 г. N 229 [Электронный ресурс] // Гарант: информационно-правовое обеспечение. URL: <https://base.garant.ru/186039/> (24.02.2021).

¹⁴ Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП): приказ Минэнерго России от 13.01.2003 N 6 (ред. от 13.09.2018) [Электронный ресурс] // Консультант-плюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40861/ (24.02.2021).

ТП и непрерывности защитных проводников;

- проверка состояния заземляющего устройства в соответствии с актом освидетельствования;
- проверка расцепителей перегрузки и короткого замыкания;
- проверка соответствия коэффициента трансформации и характеристики намагничивания данным изготовителя;
- проверка работоспособности системы комплексной защиты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе изложены основные причины несчастных случаев на объектах электросетевого хозяйства и представлены выводы электротехнических экспертиз.

Единые требования электробезопасности к техническому состоянию объектов электрохозяйства представлены в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ).

Требования по обеспечению безопасного содержания и эксплуатации

объектов энергетики каждое министерство и ведомство разрабатывает исходя из требований собственных производств.

Новый документ «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок»¹⁵ указывает на общие требования организации безопасности, но не регламентирует порядок и периодичность контроля.

В настоящее время не существует единого регламента об организации технической эксплуатации, периодического контроля и надзора.

Данный документ должен установить твердые сроки и порядок производства осмотра и проверки технического состояния, требуется введение риск-ориентированного подхода к каждому объекту электрохозяйства не только для организации контроля государственных надзорных служб, но и для обеспечения постоянного контроля допустимого уровня безопасности.

Список литературы

1. Бакеев А. Акт разграничения балансовой принадлежности электрических сетей – правовая природа и назначение [Электронный ресурс] // ЭнергоВОПРОС.ru. URL: <https://energovopros.ru/issledovania/2322/2330/31382/> (24.02.2021).
2. Keller K.J. Electrical Safety Code. Manual. A Plain Language Guide to National. Electrical Code, OSHA, and NFPA 70E [Электронный ресурс] // URL: <https://www.pdfdrive.com/electrical-safety-code-manual-a-plain-language-guide-to-national-electrical-code-osh-a-and-nfpa-70e-e185700495.html> (24.02.2021).
3. Балаганский А.О., Захаренко С.Г., Малахова Т.Ф., Захаров С.А. Электробезопасность в низко-

- вольтных сетях и её оценка // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. № 1. С. 67–74.
4. Мироненко Я.В. Обеспечение безопасности на объектах электроэнергетической отрасли. Обзор существующих угроз и средств защиты от них // Алгоритм безопасности. 2017. № 3. С. 72–75.
5. Петров Г.М. К вопросу обеспечения электробезопасности в электрических сетях с различными режимами нейтрали // Горный информационно-аналитический бюллетень «Электрификация и энергосбережение». М.: Горная книга, 1990. С. 384–391.
6. Файн Б.И., Мозговая О.О. Исследование опыта Великобритании по прогнозированию развития

¹⁵Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок: приказ Минтруда и социальной защиты Российской Федерации от 15.12.2020 № 903Н [Электронный ресурс] // Контури-норматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=381010> (24.02.2021)

электросетевого комплекса [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. Т. 8. № 6. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/30EVN616.pdf> (24.02.2021).

7. Electrical Substation: Equipment, Types, Components & Functions. Study Electrical [Электронный ресурс] // Study Electrical, Inc. URL: <https://studyelectrical.com/> (24.02.2021).

8. Parmar J. Safety Clearance Recommendations for Transformer [Электронный ресурс] // Electrical engineering portal. URL: <https://electrical-engineering-portal.com/> (24.02.2021).

9. Sorini A., Staroswiecki E. Cybersecurity for the

Smart Grid // The Power Grid: Smart, Secure, Green and Reliable. 2017. P. 233–252.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805321-8.00008-2>

10. Farzaneh V., Tenbohlen S. Statistical Failure Analysis of European Substation Transformers [Электронный ресурс] // 6. ETG-Fachtagung Diagnostik elektrischer Betriebsmittel 2014: Conference. Failure Analysis (November 2014). URL:

<https://www.researchgate.net/publication/272088767> (24.02.2021).

References

1. Bakeev A. The act of delineating the balance sheet ownership of electric networks-legal nature and Purpose. Available from:

<https://energovopros.ru/issledovania/2322/2330/31382/> [Accessed 24th February 2021] (In Russ.)

2. Keller KJ. Electrical Safety Code. Manual. A Plain Language Guide to National. Electrical Code, OSHA, and NFPA 70E Available from:

<https://www.pdfdrive.com/electrical-safety-code-manual-a-plain-language-guide-to-national-electrical-code-osh-a-and-nfpa-70e-e185700495.html> [Accessed 24th February 2021].

3. Balagansky AO, Zakharenko SG, Malakhova TF, Zakharov SA. Electrical safety in low-voltage networks and its assessment. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2017;1:67–74. (In Russ.)

4. Mironenko YaV. Ensuring safety at the facilities of the electric power industry. review of existing threats and means of protection against them. *Algoritm bezopasnosti*. 2017;3:72–75. (In Russ.)

5. Petrov GM. On the issue of ensuring electrical safety in electrical networks with different neutral modes // Mining information and analytical bulletin "Electrification and energy saving". Moscow: Gorna-

ya Kniga; 1990. p. 384–391. (In Russ.)

6. Fayn BI, Mozgovaya OO. The study of the electricity network development planning in Great Britain. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. 2016;8:6. Available from: <http://naukovedenie.ru/PDF/30EVN616.pdf> [Accessed 24th February 2021] (In Russ.)

7. Electrical Substation: Equipment, Types, Components & Functions. Study Electrical. *Study Electrical, Inc*. Available from: <https://studyelectrical.com/> [Accessed 24th February 2021].

8. Parmar J. Safety Clearance Recommendations for Transformer. *Electrical engineering portal*. Available from: <https://electrical-engineering-portal.com/> [Accessed 24th February 2021].

9. Sorini A, Staroswiecki E. Cybersecurity for the Smart Grid. *The Power Grid: Smart, Secure, Green and Reliable*. 2017:233–252.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805321-8.00008-2>

10. Farzaneh V, Tenbohlen S. Statistical Failure Analysis of European Substation Transformers. 6. *ETG-Fachtagung Diagnostik elektrischer Betriebsmittel 2014: Conference. Failure Analysis* (November 2014). URL:

<https://www.researchgate.net/publication/272088767> (24.02.2021).

Сведения об авторах

Кустов Олег Михайлович,

кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, ✉ e-mail: kustovoleg@mail.ru

Information about the authors

Oleg M. Kustov,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of industrial ecology and safety life activity, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St, 664074 Irkutsk, Russia, ✉ e-mail: kustovoleg@mail.ru

Заявленный вклад автора

Автор выполнил исследовательскую работу, на основании полученных результатов провел обобщение, подготовил рукопись к печати.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

*Поступила в редакцию 15.01.2021.
Одобрена после рецензирования 02.03.2021.
Принята к публикации 08.03.2021.*

Contribution of the authors

The author performed the research, made a generalization on the basis of the results obtained and prepared the copyright for publication.

Conflict of interests

The author declares no conflicts of interests.

The final manuscript has been read and approved by the author.

*The article was submitted 15.01.2021.
Approved after reviewing 02.03.2021.
Accepted for publication 08.03.2021.*