

Анализ путей обеспечения надёжности и безопасного функционирования электрифицированного технологического оборудования в системах жизнедеятельности

Павел Сергеевич Орлов¹, Роман Владимирович Шкрабак², Владимир Степанович Шкрабак², Вадим Васильевич Морозов¹, Степан Александрович Бобков¹, Алексей Вячеславович Гусев²

¹ФГБОУ ВО «Ярославский государственный аграрный университет», г. Ярославль, Россия.

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», г. Санкт-Петербург-Пушкин, Россия

e-mail: ps2009ysam@mail.ru

Аннотация. Авторами показан период развития энергетики в СССР и современной России с пятидесятих годов прошлого века, за который был пройден путь сплошной электрификации страны. Произошла замена вакуумной электроники и применяемых электромеханических устройств на полупроводниковые. Обеспечена миниатюризация систем управления, повышена надежность функционирования электрооборудования (путем многократного дублирования цепей управления, внедрением сверхбольших экономичных интегральных схем). Это подтверждают все пользователи смартфонов. На основе анализа травматизма и несчастных случаев подтверждена возможность дальнейшего снижения травматизма а работающих, в том числе предложенными авторскими решениями. Анализом проблем энергосбережения при эксплуатации дизель-генераторов выяснены возможные пути снижения потребления топлива при эксплуатации электрооборудования предприятий. Отмечается, что наиболее эффективным методом энергосбережения является использование в качестве топлива стационарных дизельных электростанций природного газа. При эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники и транспорта наиболее эффективным методом энергосбережения является применение в качестве топлива сжиженного пропан - бутана, активно внедряемого в современную практику. Снижают потребление энергии современные электротехнологии учета эксплуатации мобильной техники. Показаны и недостатки большинства современных приборов автоматизированного сбора информации по учету потребленной энергии.

Ключевые слова: электрифицированное оборудование; этапы становления; функционирование; надёжность; безопасность; пути совершенствования.

Для цитирования: Орлов П. С., Шкрабак Р. В., Шкрабак В. С., Морозов В. В., Бобков С. А., Гусев А. В. Анализ путей обеспечения надёжности и безопасного функционирования электрифицированного технологического оборудования в системах жизнедеятельности // Аграрный научный журнал. 2023. № 11. С. 181–187. [http: 10.28983/asj.y2023i11pp181-187](http://10.28983/asj.y2023i11pp181-187).

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Analysis of ways to ensure the reliability and safe operation
of electrified technological equipment in life systems**

Pavel S. Orlov¹, Roman V. Shkrabak², Vladimir S. Shkrabak², Vadim V. Morozov¹, Stepan A. Bobkov¹, Alexey V. Gusev²

¹FSBEI HE “Yaroslavl State Agrarian University”, Yaroslavl, Russia

²St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg-Pushkin, Russia

e-mail: ps2009ysam@mail.ru

Abstract. The authors show the period of energy development in the USSR and modern Russia since the fifties of the last century, during which the path of continuous electrification of the country was passed. Vacuum electronics and used electromechanical devices were replaced with semiconductor ones. The miniaturization of control systems has been ensured, the reliability of the operation of electrical equipment has been increased (by repeated duplication of control circuits, the introduction of ultra-large economical integrated circuits).





This is confirmed by all smartphone users. Based on the analysis of traumatism and accidents, the possibility of further reducing the traumatism of workers, including the proposed author's solutions, was confirmed. By analyzing the problems of energy saving during the operation of diesel generators, possible ways to reduce fuel consumption during the operation of electrical equipment of enterprises have been clarified. It is noted that the most effective method of energy saving is the use of stationary diesel power plants of natural gas as fuel. When operating mobile agricultural machinery and transport, the most effective method of energy saving is the use of liquefied propane-butane as a fuel, which is actively introduced into modern practice. Modern electrical technologies for accounting for the operation of mobile equipment reduce energy consumption. The shortcomings of most modern devices for automated collection of information on the accounting of consumed energy are also shown.

Keywords: electrified equipment; stages of formation; functioning; reliability; safety; ways of improvement

For citation: Orlov P. S., Shkrabak R. V., Shkrabak V. S., Morozov V. V., Bobkov S. A., Gusev A. V. Analysis of ways to ensure the reliability and safe operation of electrified technological equipment in life systems // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(11):181–187. (In Russ.). [http: 10.28983/asj.y2023i11pp181-187](http://10.28983/asj.y2023i11pp181-187).

Введение. На основе анализа производственного травматизма во всех видах экономической деятельности России с 2011 по 2021 г. установлено, что, несмотря на сокращение травматизма на производстве по стране с 43,6 тыс. до 21,6 тыс. чел. в год (почти в 2 раза за этот период), количество травм со смертельным исходом снизилось только в 1,5 раза (с 1,82 тыс. чел. в 2011 г. до 1,21 тыс. чел. в 2021 г.). Но в агропромышленном комплексе, строительстве, при добыче и переработке полезных ископаемых этот показатель традиционно остается самым высоким, в том числе по травмам с летальным исходом [1, 2]. По данным Росстата, в более чем 490 тыс. строительных организаций в 2020 г. было занято более 6 млн чел. Но кроме этого, трудно назвать сейчас любой вид деятельности из структур ОКВЭД, где не используется электроэнергия, включая и бытовую сферу, где бы ежегодно не происходило электропоражений. Следует отметить, что показатель травматизма со смертельным исходом в энергетике с 2012 по 2022 г. от электротравм снизился с 132 чел. в год до 33 чел. в год, т.е. в 4 раза [1, 2].

Такая ситуация закономерна, поскольку в энергетической отрасли с напряжением выше 1000 В всегда работали высококлассные специалисты Московской и Ленинградской школ, энергетики, окончившие Ивановский, Московский энергетические институты или Ленинградский политехнический институт.

Методика исследований. Шестидесятые годы прошлого века ознаменовались в СССР появлением телевидения, холодильников, стиральных машин, электрических утюгов и счетчиков электрической энергии в домах и квартирах. Была отменена плата за пользование радиоприемников и телевизоров. Страна переходила на стандарт напряжения 0,4/0,23 кВ, введенный в начале в освобожденных от фашистов территориях еще в 1944 г. В это время в СССР разработаны и серийно выпущены точечные, а затем и плоскостные полупроводниковые транзисторы. В магазинах «Радио» для радиолюбителей продавались наборы деталей для самостоятельной сборки трехлампового супергетеродинного радиоприемника. В журнале «Вожатый» описывается устройство электротрактора, созданного на базе трактора ДТ54, где вместо 54-сильного дизеля был установлен трехфазный асинхронный электродвигатель с фазным ротором, запитанный трехфазным напряжением по кабелю. Для детей и юношества выпускается журнал «Моделист-конструктор» с описанием простейших релейных схем «присутствия» для включения и выключения освещения. Чисто литературный «толстый» детско-юношеский журнал «Пионер» рассказывает, как сделать наушники на пьезоэлементах для прослушивания передач по радиотрансляционной сети. Страна готовит население к эре автоматизации.

Объект исследований – условия труда при эксплуатации электрифицированного технологического оборудования. Методика исследования – критический анализ травматизма при эксплуатации электромеханического технологического оборудования и разработка мероприятий по повышению надежности электроснабжения потребителей электрической энергии в целях предупреждения травматизма работающих.



Результаты исследований. Необходимость обеспечения надежности и безопасности функционирования электрифицированного технологического оборудования встала перед энергетиками и производителями сразу после внедрения электроэнергии в производство. Почти вся энергетика Российской Федерации объединена энергосистемами, повышающими надежность электроснабжения потребителей. Постоянно ведется совершенствование и повышение надежности и безопасной эксплуатации электрических сетей. Все возводимые линии электропередач напряжением 0,4/0,23; 6 и 10 кВ выполняются самонесущим изолированным проводом. Мэр г. Москвы «спрятал» все линии связи и электроснабжения под землю, а в целях снижения аварийности уличного транспорта, травматизма и гибели пассажиров и пешеходов выдвинул идею увеличить освещенность улиц столицы в 2 раза!

Энергетики первыми перешли на рискориентированный подход к предупреждению травматизма. Кроме того, все действия энергетиков четко прописаны в инструкциях по эксплуатации энергосетей, которые в подавляющем большинстве случаев проложены надземным способом, что позволяет эксплуатирующему персоналу легко ориентироваться в источниках опасности для людей. Тем не менее, вероятность травматизма работников и находящихся в районе аварийной ситуации граждан остается, особенно в условиях дефицита времени (при ликвидации аварий, подобных случившейся в торговом центре в Москве 26.07.2023 г., когда оперативно не смогли отключить горячую воду, хлеставшую из лопнувшего трубопровода).

Аналогичная авария, но без травматизма, произошла в Байконуре осенью 1991 г. При ремонте трубопровода горячей воды после врезки вентиля с нарушением технологии сварки, положительных результатов гидравлических испытаний трубопровода, нанесения теплоизоляции ночью разошелся горизонтальный сварной шов шовно-сварной трубы диаметром 700 мм вследствие стресс-коррозии на длине 300 мм.

Причины аварий и травматизма работников в 93 % случаев – нарушение ими правил охраны труда и должностных инструкций; а у руководителей – нарушение должностных инструкций (80 % случаев) и нарушение положения о системе управления охраной труда (20 % случаев), также ведущих к травматизму различной степени тяжести [3, 4]. Другой причиной является человеческий фактор, именно потому, что до 93 % несчастных случаев случаются по вине работников, нарушающих правила охраны труда и должностные инструкции по различным причинам.

Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве [1] на 1000 работающих с 2011 по 2021 г. сократилось с 2,1 до 1,1 чел. (в 1,9 раза). Из них со смертельным исходом с 0,086 до 0,060 (в 1,4 раза). Это свидетельствует о проведенной необходимой работы по сокращению травматизма и о наличии потенциальной возможности дальнейшего снижения производственного травматизма [2].

Следует учитывать, что существуют разные мотивы и возможности сбережения энергии и повышения надежности энергообеспечения. Известно, что подогрев питьевой воды для поения животных позволяет экономить корма, так как организму животного не требуется тратить энергию на разогрев выпитой животным воды с температуры 4 °С до температуры пищеварительного тракта животного чуть выше 37 °С. Для сохранения температуры питьевой воды один из руководителей сельхозпредприятия в Костромской области при реконструкции коровника проложил водопровод питьевой воды в верхней, более энергонасыщенной (теплой) части коровника, а для уменьшения теплопотерь выполнил теплоизоляцию этого трубопровода, повышая надежность и безопасность его функционирования.

Часто в проектах систем вентиляции животноводческих помещений для поддержания оптимальных значений влажности и газового состава воздуха работа системы вентиляции и отопления происходит в режиме рециркуляции, когда поступающий в помещение свежий воздух предварительно подогревается в теплообменнике уходящим «отработанным» теплым, обеспечивая необходимый воздухообмен и экономию энергии.

В целях снижения расхода энергии руководитель сельхозпредприятия в Ярославской области не сортирует картофель перед закладкой на хранение. Сортировка картофеля производится по



мере необходимости его потребления. На корм скоту расходуется мелкий картофель, а кондиционный идет на продажу. Хранение картофеля производится в складском помещении высотой 10 м и шириной 18 м, оборудованном необходимой вентиляцией, обогревом и датчиками температуры и влажности, расположенными по высоте и по площади помещения. Вентиляционные ходы смонтированы поперек помещения. Картофель при хранении не мнется, так как крупные фракции «расклиниваются» всегда имеющимся картофелем мелких фракций, равномерно расположенными в бурте. Предложенная технология уборки урожая и хранения картофеля практически исключает неквалифицированный ручной труд и снижает до минимума потери урожая картофеля, повышая энергоэффективность сельскохозяйственного производства.

На протяжении длительного времени во всем мире используют рекуперативный подогрев дутьевого воздуха при выплавке чугуна и стали, когда для экономии топлива и повышения температуры дутья используют предварительный подогрев дутьевого воздуха в периодически действующих рекуператорах, когда высокотемпературные, покидающие доменную или мартеновскую печь газы, нагревают огнеупорную насадку до высокой температуры, а затем высокотемпературная насадка отдает свою энергию дутьевому воздуху, разогревая его до высокой температуры, обеспечивая экономичность проведения технологического процесса получения чугуна или стали.

Рекуперативный нагрев воздуха нашел применение и в рекуперативных подогревателях воздуха непрерывного цикла, выпускаемых серийно, в которых медленно вращающийся пучок огнеупорной проволоочной формы керамической насадки высокой теплоемкости подогревается до высокой температуры факелом газообразного или жидкого топлива, горящем в газоход с удаляемым из помещения воздухе. При последующем перемещении горячего пучка насадки по радиусу во впускной газоход воздух разогревается высокотемпературной насадкой и по газоходу попадает в обогреваемое офисное помещение.

В целях сокращения потребляемых энергоресурсов городской автотранспорт страны постепенно, но достаточно уверенно переходит на сравнительно дешевый и более экологичный сжиженный газ пропан – бутан, в том числе и на речном водном транспорте.

Внедрение системы ГЛОНАС позволило точно определять местонахождение городских и междугородних транспортных средств и технологического оборудования сельского хозяйства, планировать и учитывать проведение мероприятий по обслуживанию техники. Чипирование крупного рогатого скота позволило автоматизировать учет продуктивности скота и несколько снизить расход кормов. Применение квадрокоптеров в сельском хозяйстве позволяет производить периодический «облет» производственных площадей в целях определения условий произрастания посевов, продуктивности растений и времени их созревания.

Применение синхронных двигателей вместо более дешевых асинхронных позволяет поддерживать cosφ системы близким к 1 в автоматическом режиме и практически исключить реактивные потери и снизить расход электрической энергии на работу навозоуборочного оборудования, насосов холодной и горячей воды [5]. Этот прием широко используется при бурении скважин и очень редко в сельском хозяйстве. Для этого синхронные двигатели марок СДН при напряжении питания 6,3 кВ и двигатели марок СЗ при напряжении питания 0,4 кВ при загрузке по активной мощности P (0,9–0,7) могут генерировать «опережающую» конденсаторную реактивную мощность в диапазоне $K_3 Q_{CD}$ (1,9–1,15).

Замена подогрева молока воздействием ультразвука исключает повышение температуры молока с 36 до 100 °С (а при пастеризации до 120–130 °С) и последующее его охлаждение в танках для его хранения при $t = 4$ °С, затрачивая энергию на оба процесса.

Следует отметить, что не все сельскохозяйственные предприятия запитаны от двух независимых источников электроснабжения, поэтому они вынуждены в случае перерыва электроснабжения использовать дизель-генераторы, которые отличаются высокой стоимостью. А перерыв электроснабжения сельских потребителей более трех часов критичен недоотпуском продукции и выбраковкой животных дойного стада и птицы.



Областной перинатальный центр Ярославля, расположенный по Тутаевскому шоссе, запитан от двухцепной трехфазной воздушной линии напряжением 10,0 кВ питающей двухтрансформаторную подстанцию перинатального центра 10,0/0,4/0,23 кВ. Двухцепная воздушная линия 10,0 кВ проложена параллельно двум двухцепным воздушным линиям 110,0 кВ. Между двухцепной воздушной линией 10,0 кВ и двухтрансформаторной подстанцией центра проложена километровая подземная двухкабельная вставка. В качестве третьего независимого источника питания используется газопоршневой дизель-генератор напряжением 0,4/0,23 кВ, питающий операционные и аварийное освещение больницы.

Все больницы города имеют подземные резервные емкости хранения воды и соответствующее насосное оборудование для проведения санитарных и противоэпидемических мероприятий. Качество воды в емкостях поддерживается в соответствии с требованиями санитарных норм.

Академический драматический театр им. Волкова Ярославля питается от двух независимых источников электроэнергии кабельными линиями электропередач напряжением 0,4/0,23 кВ. Кроме того, для обеспечения плавного изменения напряжения осветительной аппаратуры имеются батареи щелочных железо-никелевых аккумуляторов, эксплуатируемых в буферном режиме.

Общественные здания, в которых при проведении мероприятий собирается большое количество людей, как и театры, также имеют запасы воды для пожаротушения.

У мощных потребителей, критичных к перерыву синусоиды при переключении от одного источника питающего напряжения на резервный, предусматривался резервный массивный генератор, крутящийся на холостом ходу, дизель которого подключался к генератору электромагнитной муфтой. В случае исчезновения питающего напряжения магнитная муфта соединяла вал генератора и дизеля. Температура масла дизеля и охлаждающей жидкости (антифриза) в радиаторе поддерживалась равной 80 °С. Рейка насоса высокого давления была установлена на 1000 оборотов в минуту и дизель сразу «выходил» на номинальные обороты, обеспечивая неразрывность синусоиды питающего напряжения.

В Рыбинске технологическо-отопительную котельную моторного завода с тремя форсированными энергетическими котлами 50/39–Ф, отапливаемую природным газом производительностью по 39 т пара в час давлением 50 кгс/см², загрузили паровой турбиной для выработки более дешевой, чем в Россетях, электроэнергии для питания электромеханического станочного парка завода. Но только после строительства и введения в эксплуатацию на Ярославской Тенинской котельной «пикового» энергоблока с парогазовыми котлами снизило расходы на электроэнергию, потребляемую областью, ранее покупаемую у Ярэнерго.

На Ярославском керамическом заводе используют два газопоршневых дизель-генератора, работающих на природном газе, вырабатывающих более дешевую, чем в Россетях, электроэнергию для питания технологического оборудования предприятия и отапливающих его производственные помещения.

Полная электрификация Марийской ССР закончилась на год раньше, чем Ярославской области, после завершения реконструкции трехфазной двухпроводной системы электроснабжения «два провода – земля». В это время там разворачивалась дивизия РВСН с твердотопливными ракетами. К каждой стартовой позиции подходило по 2 подземных фидера трехфазного тока напряжением 6,0 кВ к двухтрансформаторной подстанции. В оголовке каждой шахты были установлены батареи щелочных герметичных никель – кадмиевых аккумуляторов напряжением 110 В емкостью 800 А–час, работающих в буферном режиме. На командном пункте полка монтировалась резервная дизельная электростанция.

Первая электростанция в Ярославле построена рядом с современным Бутусовским парком, введена в эксплуатацию в 1900 г. и была предназначена для питания трамвая, улиц, по которым проходил трамвайный маршрут, и трех площадей. Сегодня в Ярославской области функционирует в общей сложности 11 ТЭЦ и 3 гидроэлектростанции Угличская, Рыбинская и Хоробровская, на реке Нерль Переславского района [8].



Электрификация сел Ярославской области началась в 1920 г. со строительства малой ГЭС на реке Шахе и закончилась через 50 лет [8].

Вопросы совершенствования и обеспечения надёжности рассматриваемого оборудования в решающей степени имеют отношение к обороноспособности страны. При становлении в СССР в шестидесятые годы прошлого века войск стратегического назначения для обороны страны стартовые позиции б[оборудовались защитными электрозаграждениями, питаемыми напряжением порядка 380 В в дежурном режиме и порядка 1000 В в боевом режиме, применявшимися инженерными частями Красной армии с 1941 года в боях при обороне Москвы. Кроме того, на стартовых позициях создаваемых войск эксплуатировалось энергонасыщенное заправочное оборудование. Это потребовало увеличения мощности электрических сетей и перехода с трехфазных сетей высокого напряжения «два провода – земля» на трехфазные трехпроводные сети.

Продолжая решение проблемы совершенствования электроснабжения потребителей, ученые, аспиранты и сотрудники Ярославской государственной сельскохозяйственной академии совместно с учеными Санкт-Петербургского аграрного университета разработали устройство для симметричного распределения однофазной нагрузки по фазам трехфазной сети [6]. Устройство облегчает учет электрической энергии, исключает перекося напряжений по фазам трехфазной сети и в силу обратимости электрических машин исключает питание трехфазных асинхронных машин несимметричным напряжением, появление противовращающих моментов, перегрузку электрических машин и выход их из строя по этим причинам, а также устройство восстановления полнофазного напряжения в четырехпроводной сети 0,4/0,23 кВ» [7]. Эти инновационные решения способствуют обеспечению надёжности и безопасности электрифицированного технологического оборудования структур ОКВЭД страны.

Заключение. Приведенный анализ путей обеспечения надёжности и безопасности функционирования электрифицированного технологического оборудования позволяет отметить практически ежегодное положительное влияние принимаемых профессионалами мер по решению производственных задач во всех видах жизнедеятельности, включая АПК, транспорт, строительство и др. Несмотря на монополию производства электроэнергии, что вполне оправдано в целом, ряд предприятий повышают эффективность производства за счёт использования энергии отработавших «рабочих тел» с ненулевым энергосодержанием. Анализ КПД технологических процессов и производств подтверждает, что значительная часть генерируемой энергии выбрасывается в атмосферу с отработавшими газами двигателей, воздуха систем вентиляции, влияя на экологию и энтропию. Отметим, что нуждаются в решении и организационные вопросы, касающиеся, к примеру, следующего: из 8 способов передачи данных о потребленной энергии 2 канала связи – платные для потребителя, а 3 – с батарейным питанием, в которых при частых запросах энергоснабжающей организацией о потребленной энергии потребителем периодически, через 2–3 месяца, будут происходить «посадки» батареи питания. Это знают все обладатели «лентяек» для управления телевизором. А отсутствие данных о потребленной энергии позволяет энергоснабжающей организации без уведомления отключать электроснабжение потребителя. Платные каналы связи, даже с государственным контрольным пакетом акций, всегда стремятся подключить потребителю дорогие и ненужные ему услуги. Это знают все обладатели мобильных телефонов.

Проанализировав рассмотренные решения по повышению надёжности и безопасной эксплуатации систем электроснабжения, отметим возможность их внедрения для повышения надёжности электроснабжения и снижения травматизма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ несчастных случаев на энергоустановках, подконтрольных органам Ростехнадзора. URL: http://szap.gosnadzor.ru/activity/energonadzor/nesc_sluch/ (дата обращения 6.04.2023).
2. Шкрабак Р.В., Мурашов А.О., Давлятшин Р.Х., Орлов П.С., Рузанова Н.И., Шкрабак В.С. Электротравматизм в структурах ОКВЭД страны: источники, причины, последствия и инновационные пути

его динамического снижения и ликвидации // Известия Международной академии аграрного образования выпуск. 2023. № 67. С. 164–172.

3. Основные причины поражения электрическим током в быту и на производстве. URL: <https://dzgo.ru/blog/prichiny-bytovogo-elektrotravmatizma.html> (дата обращения 6.04.2023).

4. Зайдель Х.Э., Коган–Далин В.В., Крымов В.В., Морозов Д.Н., Сергеев В.Г., Цепляева М.С., Шатуновский В.Л., Шнейберг Я.А. Электротехника / под ред. В.Г. Герасимова. М., 1985. 480 с.

5. Порошин А.А., Удавцова Е.Ю., Бобринев Е.А. Оценка уровня пожарной опасности на объектах промышленности // Безопасность труда в промышленности. 2020. С. 12–17.

6. Орлов П.С., Голдобина Л.А., Шкрабак В.С., Казилровка Н.Р., Орлов С.П., Парамонов С.А., Челышев К.А. Устройство для симметричного распределения однофазной нагрузки по фазам трехфазной сети. Патент РФ № 2506676 H02J3/00. Бюл. № 4 от 10.02.14.

7. Орлов П.С., Шкрабак В.С., Морозов В.В., Шешунова Е.В., Бобков С.А., Крудю О.Н. Устройство восстановления полнофазного напряжения в 4-х проводной сети 0,4/0,23 кВ. Патент РФ на изобретение № 2761430 от. 08.12.2021 г. Бюл. № 34 от 22.09.2001 г. по заявке на патент 2021100104/07(000159) от 11.01.2021

8. Энергетика Ярославской области. URL: <https://energybase.ru/region/yaroslavskaya-oblast> (дата обращения 18.08.2023).

REFERENCES

1. Analysis of accidents at power plants controlled by Rostekhnadzor. URL: http://szap.gosnadzor.ru/activity/energonadzor/nesc_sluch/ (Accessed 04/06/2023).

2. Shkrabak R.V., Murashov A.O., Davlyatshin R.Kh., Orlov P.S., Ruzanova N.I., Shkrabak V.S. Electrical injuries in the structures of the OKVED of the country: sources, causes, consequences and innovative ways of its dynamic reduction and elimination. *Proceedings of the International Academy of Agricultural Education*. 2023; 67: 164-172. (In Russ.).

3. The main causes of electric shock in everyday life and at work. URL: <https://dzgo.ru/blog/prichiny-bytovogo-elektrotravmatizma.html> (Accessed 04/06/2023).

4. Zaidel Kh.E., Kogan-Dalin V.V., Krymov V.V., Morozov D.N., Sergeev V.G., Tseplyaeva M.S., Shatunovsky V.L., Shneiberg Ya.A. Electrical engineering / ed. V.G. Gerasimov. Moscow, 1985. 480 p. (In Russ.).

5. Poroshin A.A., Udavtsova E.Yu., Bobrinev E.A. Assessment of the level of fire danger at industrial facilities. *Labor safety in industry*. 2020: 12–17. (In Russ.).

6. Orlov P.S., Goldobina L.A., Shkrabak V.S., Kazilovka N.R., Orlov S.P., Paramonov S.A., Chelyshev K.A. A device for the symmetrical distribution of a single-phase load over the phases of a three-phase network. RF patent No. 2506676 H02J3/00. Bull. No. 4 dated 10.02.14. (In Russ.).

7. Orlov P.S., Shkrabak V.S., Morozov V.V., Sheshunova E.V., Bobkov S.A., Krudu O.N. Full-phase voltage recovery device in a 4-wire network 0.4 / 0.23 kV. RF patent for invention No. 2761430 dated. 08.12.2021 Bull. No. 34 dated September 22, 2001 according to patent application 2021100104/07(000159) dated January 11, 2021

8. Energy industry of the Yaroslavl region. URL: <https://energybase.ru/region/yaroslavskaya-oblast> (Accessed 18.08.2023)].

Статья поступила в редакцию 14.06.2023; одобрена после рецензирования 26.06.2023; принята к публикации 13.07.2023. The article was submitted 14.06.2023; approved after reviewing 26.06.2023; accepted for publication 13.07.2023.

