

Научная статья**УДК 621.3611:621****DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-22-32**

**Ефременко Владимир Михайлович, Скребнева Евгения Владимировна,
Лебедев Геннадий Михайлович**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

* для корреспонденции: evm.kegpp@kuzstu.ru

АНАЛИЗ ПЕРЕРЫВОВ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ КУЗБАССА

Аннотация.

В условиях усложнения технологического процесса угледобычи, обусловленного значительным ростом производственных мощностей, использованием для транспорта угля конвейерных установок, а также широким применением средств контроля, управления и связи на базе компьютерных технологий, проблема повышения надежности обеспечения шахты электрической энергией становится все более актуальной. Перерывы электроснабжения длительностью более 0,15 с приводят к отказам систем контроля и управления безопасностью, связи, срабатыванию систем электрической защиты, а также систем автоматического управления технологическим процессами добычи угля. При этом следует отметить, что «Правила безопасности в угольных шахтах» (ПБУШ) устанавливают требования ручного включения электроустановок в подземных выработках после срабатывания любой из электрических защит. То есть необходимо найти и устранить причину срабатывания защиты, а только затем произвести включение электроустановки. Все это приводит к увеличению времени восстановления технологического процесса угледобычи и экономическому ущербу.

Однако не всегда перерыв в электроснабжении приводит к катастрофическим последствиям. Так технологический процесс добычи угля может быть прерван, например, для проведения профилактических или ремонтных работ. То же можно сказать и о проведении подготовительных работ. Следует отметить, что в «Правилах устройства электроустановок (ПУЭ) нет четкого (нормативного) определения потребителей первой категории, а также «особой группы» электроприемников на угольной шахте. Некоторые потребители, обеспечивающие безопасность ведения горных работ под землей (вентиляция, водоотлив), допускают некоторый перерыв в электроснабжении, определяемый их спецификой. Например, загазование выработок до предельно допустимой концентрации происходит не сразу, в момент отключения, а по истечении некоторого времени, определяемого интенсивностью газовыделения и объемом выработок. Так согласно ПБУШ (п.147) при переходе с основного на резервный вентилятор (или наоборот) допускается отсутствие вентиляции на время до 10 минут.

Допустимый перерыв в электроснабжении водоотливных установок определяется наличием свободного, к моменту перерыва в электроснабжении, объема водосборников.

Основными и надежными источниками питания являются электрические станции и сети районных энергосистем. Система электроснабжения шахты разделяется на внешнюю питающую сеть и распределительную сеть на поверхности шахты и под землей. В данной статье проведен анализ причин и возможного времени аварий во внешней сети электроснабжения угольных шахт и предложен перечень мероприятий для снижения количества и времени перерывов внешнего электроснабжения угольных шахт.

**Информация о статье****Поступила:**

18 февраля 2025 г.

Одобрена после**рецензирования:**

01 мая 2025 г.

Принята к печати:

05 мая 2025 г.

Опубликована:

05 июня 2025 г.

Ключевые слова:

электроснабжение угольных шахт; причины перерывов электроснабжения; время перерыва

Введение.

Энергосистема Кузбасса [1] является уникальной в Российской Федерации в части количества присоединённых к различным сетевым организациям опасных производственных объектов – угольных шахт, которые согласно Федеральному закону от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», являются опасными объектами I класса. Вентиляция, водоотлив и основные подъемные устройства угольных шахт, согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 4 мая 2012 г. N 442 относятся к категории «неотключаемых» потребителей первой категории [2]. К потребителям особой группы следует отнести электроприемники критической категории (ЭКК, согласно ГОСТ МЭК 62040-3-2009), бесперебойное функционирование которых может быть нарушено с продолжительностью более одного периода промышленной частоты. К данной категории электроприемников на угольных шахтах необходимо отнести: вычислительные комплексы и центры, системы управления технологическими процессами добычи угля, системы контроля атмосферы в подземных выработках, системы связи и сигнализации, пожарной и охранной сигнализации, оборудование медицинских пунктов, аварийное освещение и другие потребители обеспечивающих контроль, управление и безопасность [3].

Особое внимание к надежности электроснабжения угольных шахт обусловлено рядом факторов, основными из которых являются [4, 5]:

- значительная энергоемкость предприятий – мощность трансформаторов ГПП превышает (25 – 30) МВА, при суточном электропотреблении до 500 тыс. кВт·ч;

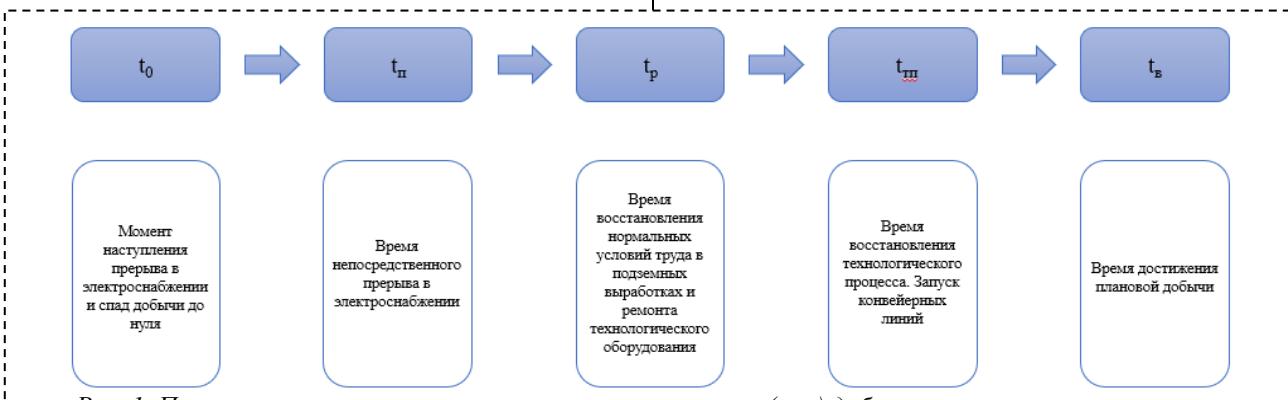
- большие экономические потери, связанные с простором высокопроизводительного технологического оборудования, а также значительными затратами материальных ресурсов и времени при восстановлении технологического процесса добычи угля, даже при кратковременных перерывах в элек-

троснабжении [6];

- необходимостью обеспечения безопасности нахождения людей в подземных выработках;

- широкое внедрение систем автоматизированного управления технологическим процессом добычи, а также контроля над безопасными условиями труда: контроль метана в выработках, уровня воды в водосборниках, количества подаваемого в шахту воздуха, местом нахождения работающих под землей, связь, освещение, диспетчеризация и др.

В настоящее время перерывы электроснабжения угольных шахт являются основной причиной нарушения непрерывности технологического процесса добычи угля и создания опасности для пребывания людей в подземных выработках [7]. В условиях усложнения технологического процесса угледобычи, обусловленного значительным ростом производственных мощностей, использованием для транспорта угля конвейерных установок, а также широким применением средств контроля, управления и связи на базе компьютерных технологий, проблема повышения надежности обеспечения шахты электрической энергией становится все более актуальной. Любые, даже очень редкие и кратковременные нарушения электроснабжения угольных шахт, приводят к длительным расстройствам технологического процесса, остановку производства, сопровождаются недовыпуском продукции предприятий, авариями, как основного, так и вспомогательного оборудования, простоем рабочей силы, а в некоторых случаях могут привести к техногенным катастрофам с масштабными разрушениями и человеческими жертвами. Это объясняется тем, что на современных шахтах для транспортировки угля от забоя на поверхность используются конвейерные линии, состоящие из отдельных конвейеров. На некоторых шахтах количество конвейеров в линии достигает 8 - 10 и более. Пуск в работу такой линии требует значительного времени, особенно если перерыв в электроснабжении наступил внезапно при загруженных конвейерах. В этом



Rис. 1. Процесс восстановления технологического процесса ($t_{\text{б.mn}}$) добычи угля: $t_{\text{б.mn}} = t_n + t_p + t_{mn} + t_b$
Fig. 1. The process of restoring the technological process (t_p) of coal mining: $t_{\text{б.mn}} = t_n + t_p + t_{mn} + t_b$

*Рис.2. Форма сбора информации о технологических нарушениях в системах электроснабжения шахт
Fig.2. The form of collecting information on technological failures in the mine power supply systems*

случае пуск конвейерной линии может достигать нескольких часов.

Как показывает опыт эксплуатации, перерыв в электроснабжении на несколько минут приводит к перерыву угледобычи на 2-3 и более часа. На рис.1 представлен типичный процесс восстановления технологического процесса добычи угля после перерыва в электроснабжении от энергосистемы.

Опыт эксплуатации и проведенные исследования [8, 9] показывают, что шахтные водоотливные и вентиляционные установки обладают некоторой инерционностью по отношению к перерыву электроснабжения, т. е. опасная ситуация, связанная с затоплением или загазованием выработок, наступает не в момент отключения электроэнергии, а через некоторый промежуток времени $t_{п.д.}$.

Методы.

Сведения о состоянии и работе электрооборудования систем электроснабжения угольных шахт фиксируются в специальных журналах и содержат данные о типе и марке электрооборудования, времени наступления отказа, его причины, время восстановления работоспособного состояния. При этом форма документов позволяет проводить обработку информации на ЭВМ.

Анализ технологических нарушений системы электроснабжения угольных предприятий АО «СУЭК-Кузбасс» проводился с использованием Программный комплекс «ЭНЕРГОСЕТИ» по форме, представленной на рис. 2.

В Кемеровской области все шахты снабжаются электрической энергией от электрических подстанций Кузбасской региональной сетевой компании (Кузбассэнерго – РЭС). Системы электроснабжения угольных шахт являются однофункциональными и отличаются сложным характером взаимосвязи между её отдельными элементами и внешней системой электроснабжения [10,11].

Сети внешнего электроснабжения в зависимости от мощности электроприемников шахт, удален-

ности от энергосистемы и времени ввода в эксплуатацию выполнены на напряжение 35, 110 кВ.

Длина линий внешнего электроснабжения составляет 0,6 – 11 км. Линии выполнены в основном на металлических и железобетонных опорах алюминиевым и стальалюминиевым проводом сечением 50 – 185 мм².

Следует отметить, что на шахтах, спроектированных и введенных в эксплуатацию несколько десятков лет назад технически весьма сложно провести реконструкцию с увеличением их мощности до современных требований. При этом возрастает нагрузка на все элементы системы электроснабжения, что с учетом их износа, вследствие длительной эксплуатации, приводит к отказам и соответственно к перерывам электроснабжения. В этом случае необходимо увеличивать мощность питающих трансформаторов и пропускную способность соответствующих линий электропередач, в некоторых случаях, при значительном росте нагрузки, требуется переход на более высокий уровень напряжения.

Наибольшее распространение на шахтах Кузбасса получили схемы электроснабжения с применением ввода на напряжение 35 кВ, а также глубокий ввод на напряжение 110 кВ с установкой трансформаторов 35/6, 110/6 или 110/35/6 кВ на промплощадке шахты [12]. Количество приемных пунктов (ГПП) электроэнергии на шахте определяется мощностью предприятия, размещением электроприемников на территории предприятия и в подземных выработках, требуемой надежностью электроснабжения. ГПП шахт, как правило, устраиваются в виде открытых распределительных устройств с открытой установкой трансформаторов.

Схемы подстанций строятся по следующему принципу:

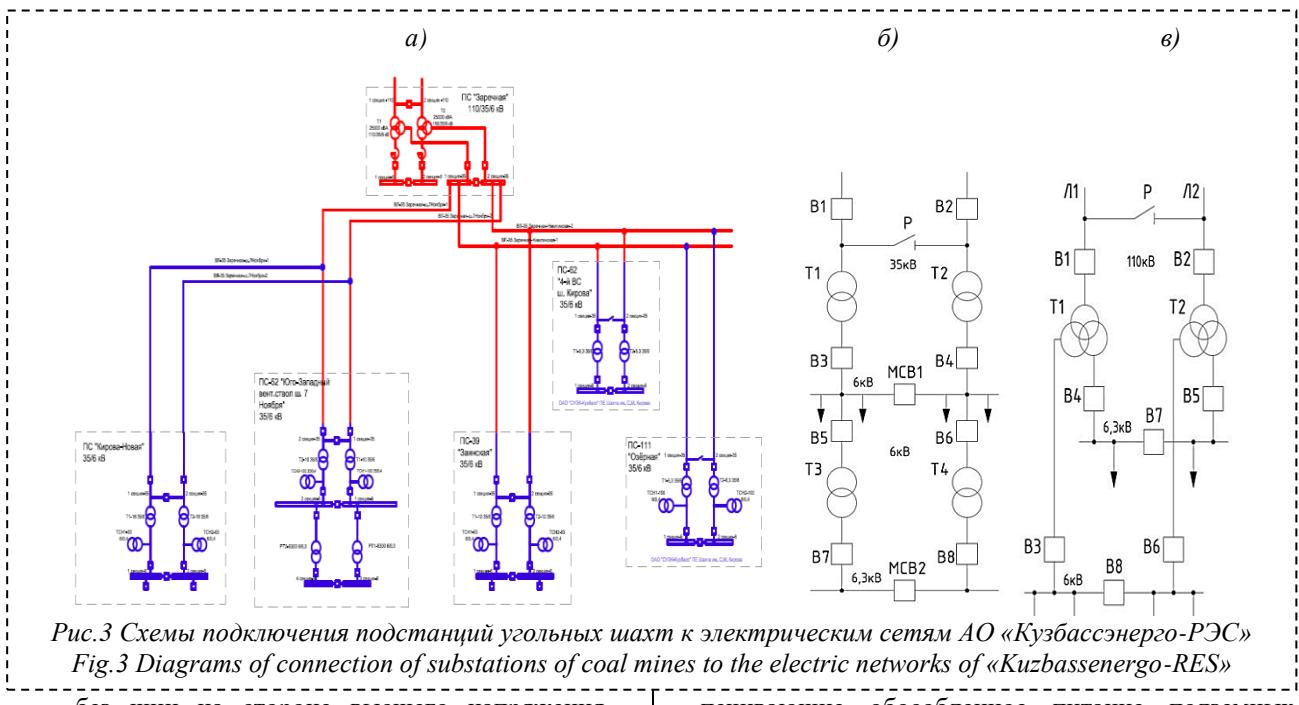


Рис.3 Схемы подключения подстанций угольных шахт к электрическим сетям АО «Кузбассэнерго-РЭС»
Fig.3 Diagrams of connection of substations of coal mines to the electric networks of «Kuzbassenergo-RES»

- без шин на стороне высшего напряжения («блочная» система). При этом устройство автоматического повторного включения (АПВ) установлено на головном выключателе линии подстанции энергосистемы, питающей ГПП шахты. Блочные схемы подстанций просты и экономичны, но при повреждении в линии или трансформаторе автоматически отключаются линия и трансформатор;
- раздельная работа трансформаторов: трансформаторы работают с недогрузкой, так как они выбраны для послеаварийного режима, исходя из условий взаимного резервирования;

- одна секционированная система шин напряжением 6 кВ с устройством автоматического ввода резерва (АВР). Как правило, количество секций – две. Потребители первой категории и особой группы присоединены к обеим секциям шин 6 кВ. При одиночной системе шин повышается надежность питания благодаря сокращению числа коммутаций и снижению ошибок при эксплуатации. Однако на время осмотра или ремонта одной из секций отключается питающий данную секцию трансформатор. Все потребители первой категории и особой группы оказываются подключенными к одному источнику питания и при аварии на рабочем вводе оказываются обесточенными;

- для снижения тока короткого замыкания в распределительной сети шахты применяется реактивирование.

Заявочный принцип технологического присоединения шахт и разрезов ввёл порочную практику повсеместного внедрения «отпаечных» схем присоединения (Рис. 3а), напрямую влияющих на безопасность производства. Так, например, в результате любого воздействия на ВЛ-35 «Заречная – Никитская» произойдет отключение трех подстанций, в том числе подстанции ПС-62, от которой питаны вентиляционные установки шахты имени Кирова.

Для повышения безопасности и надёжности электроснабжения используются схемы ГПП, обес-

печивающие обособленное питание подземных электроприёмников: - применением разделительных трансформаторов с коэффициентом трансформации $K_t=1$ (Рис.3б) или применением модернизированных трёхобмоточных трансформаторов. Одна вторичная обмотка напряжением 6,3 кВ питает шины электроснабжения потребителей поверхности, а другая – 6,6 кВ предназначена для питания подземных потребителей (Рис.3в).

Анализ нарушений в сетях внешнего электроснабжения угольных шахт, показал «слабые места» процессе электроснабжения предприятий [13, 14].

Во-первых, сетевые компании, обеспечивающие электроснабжение шахт, имеют на балансе объекты электросетевого хозяйства с высоким сроком эксплуатации, что снижает уровень надежности электроснабжения. А отсутствие свободных финансовых ресурсов не позволяет предприятиям электросетевому комплексу региона провести глобальную реконструкцию объектов электроснабжения угольных шахт.

Во-вторых, технологическое присоединение угольных шахт не всегда соответствует уровню надежности электроснабжения вследствие того, что категорию надежности электроснабжения выбирает именно потребитель электрической энергии. Снижение категории надежности электроснабжения приводит к вероятности возникновения ситуации, когда электроснабжение предприятия будет прекращено на 24 часа подряд.

В-третьих, проектирование существующих схем внешнего электроснабжения угольных шахт Кузбасса проводилось в середине прошлого века. В настоящее время в регионе кардинально изменились как состав и расположение потребителей электрической энергии, так и потребляемые ими мощности, что не может, не отразится на надежности системы электроснабжения.

В-четвертых, рынок электрической энергии и мощности до настоящего времени слабо регламентирует проблему надежности электроснабжения



угольных предприятий [15]. Так как отсутствуют необходимые нормативно-правовые документы, регламентирующие ответственность сторон по обеспечению и координации действий по надежности, а также ориентиры, стимулирующие поставщиков и потребителей заниматься проблемами надежности электроснабжения.

Анализ аварий на угольных шахтах Кузбасса за несколько лет показал, что полное прекращение электроснабжения шахт происходит не часто. Так за период 2012-2023 год наиболее серьезными нарушениями систем внешнего электроснабжения угольных шахт, которые привели к остановке главных вентиляционных установок, были:

- остановка шести шахт в октябре 2012 года в результате повреждения трансформатора подстанции Западно-Сибирского металлургического комбината;
- остановка вентиляторов проветривания на двух шахтах 16 июля 2013 года в результате отключения трансформатора на ПС Полысаевская-3.
- отключение главного вентилятора проветривания на шахте «Осинниковская» 15 сентября 2013 года по причине нарушения внешнего электроснабжения шахты (эвакуация 278-и человек подземного персонала).
- в январе 2014 года в Ленинск-Кузнецком районе Кемеровской области из-за нарушения электроснабжения в результате обрыва на питающей воздушной линии электропередач произошла остановка главных вентиляторов на семи шахтах и эвакуации более 1000 человек.
- в апреле 2015 года на ПС 220 кВ. Ускатская в результате пожара на автотрансформаторе АТ-2 и отключения АТ-1 произошло полное погашение подстанции Ускатская, в результате чего оказались обесточены девять подстанций 110 кВ. и семь подстанций 35 кВ. Было нарушено электроснабжение двух шахт, персонал которых пришлось эвакуировать. Частично восстановить электроснабжение потребителей удалось только спустя шесть часов. Подстанциям угольных предприятий было разрешено включить фидеры, питающие водоотлив и вентиляцию. Полная ликвидация аварии заняла

порядка 11-ти часов и обошлась без серьезных инцидентов на обесточенных шахтах.

- в июле 2016 года на шахте «им. 7 Ноября» прохождение грозового фронта вызвало кратковременный перерыв в электроснабжении и остановку главного вентилятора.

- в ноябре 2023г в результате ураганного ветра на территории Кузбасса произошло повреждение воздушных линий электропередач. Отключение электроэнергии произошло на девяти шахтах, причем на четырех из них электроэнергия отсутствовала длительное время (более 30 минут) и пришлось выводить людей на поверхность.

Анализ, представленных НИЦ ВостНИИ [16] данных загазований очистных и подготовительных забоев, показал, что по вине перерыва электроснабжения произошло 43 загазования длительностью более 30 минут с концентрацией метана в рудничном воздухе выше 2%. При этом общее число загазований выработок по разным причинам (реверсирование вентиляторов, аварийные остановки ВГП и др.) за этот период составило 467, в том числе длительностью более 30 минут – 286. То есть, загазование по вине перерыва в электроснабжении не превышает 10% (9,2%) от общего числа загазований и 15% с длительностью более 30 мин.

Анализ собранного статистического материала по аварийным отключениям в сетях электроснабжения угольных шахт за период 2017 – 2022 гг. (всего 1159 случаев перерывов электроснабжения) показал, что причинами отключений являются: повреждения оборудования, природные факторы (гроза и ветер), человеческий фактор и попадание в электроустановку посторонних предметов (Рис.4а) [11,14].

Как видно из анализа причин повреждений систем электроснабжения шахт, основной является повреждение оборудования (37% всех причин), а также внешние (природные) воздействия (38%). Из рис. 4а видно, что среди причин технологических нарушений системы электроснабжения угольных шахт 16% занимает человеческий фактор. В эту категорию попадают нарушения, которые вызваны ошибочными действиями оперативного и дежурного персонала, наезды автотранспорта на опоры воз-

душных линий, порывы провода кузовом автотранспорта. При этом необходимо учитывать и тот факт, что и среди остальных причин можно наблюдать влияние человеческого фактора.

К одновременному погашению обоих систем шин, питающих электроустановки шахты, приводит:

- аварийное отключение одной системы шин во время аварийного или планового ремонта другой;
- повреждение одной системы шин или межсекционного выключателя с развитием аварии на обе системы шин;
- ошибки персонала;
- неправильная работа РЗ, приводящая к полному погашению распределительства, в том числе неуспешные АПВ (126 из 213 срабатываний).

Проведенный нами анализ отказов в системе электроснабжения шахт АО СУЭК, показал, что на долю отказов в системах внешнего электроснабжения (ПАО Россети) приходится 5 – 9 % отказов, а остальные отключения происходили в сетях шахты и прочих потребителей, подключенных к подстан-

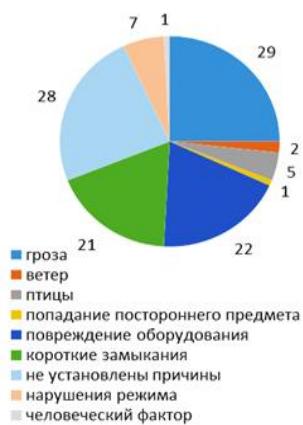


Рис.5. Причины аварий на ВЛ систем электроснабжения угольных шахт

Fig.5. Causes of overhead line accidents in coal mines

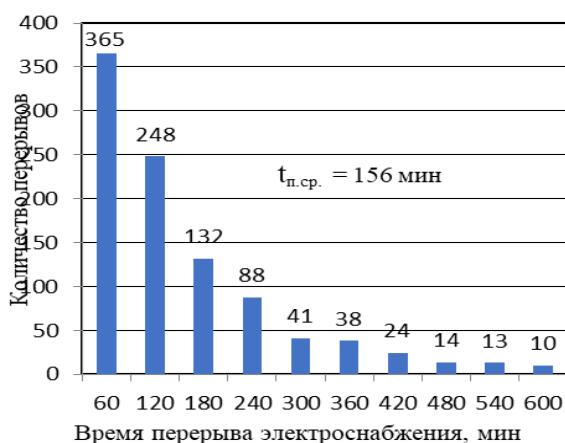


Рис.6. Время перерыва внешнего электроснабжения

Fig.6. The time of interruption of external power supply

циям и сетям шахт (Рис.4б).

Наибольшей надежностью в сетях 35, 110 кВ обладают трансформаторные подстанции, а самым ненадежным звеном электрических сетей являются воздушные линии электропередачи (ЛЭП) [17,18].

Воздушные линии внешнего электроснабжения подвержены внешним воздействиям, приводящим к их повреждению. Как показывают исследования [11, 13], на долю ВЛ приходится более 70% аварий в системах внешнего электроснабжения шахт. Это, в первую очередь, грозовые перекрытия изоляции, ветровая нагрузка и гололед, вибрация и «пляска» проводов, а также механические повреждения опор и изоляторов (при напряжении ЛЭП 6 – 35 кВ). Кроме того, наблюдаются повреждения ЛЭП из-за превышения фактических электрических нагрузок, дефектов изготовления, правил монтажа и эксплуатации. При этом возникают неполнофазные режимы работы, срабатывает соответствующая релейная защита, а также происходит термическое разрушение (пережог) проводов воздушных ЛЭП. В результате чего перерыв в электроснабжении, с учетом времени на восстановление электроснабжения, достигает нескольких часов. Следует отметить, что срок службы некоторых ВЛ достигает 70 и более лет, при нормативном 50 лет для линий на металлических опорах и 30 – 35 лет для ВЛ на деревянных и железобетонных опорах (СТО 5694700-29.240.10.030-2009) [19].

На рис. 5 приведены статистические данные основных причины возникновения аварий на ВЛ, по которым осуществляется электроснабжение угольных шахт. На ВЛ наблюдается превалирование устойчивых отключений. К неустановленным относятся причины, не определяемые устройствами защиты и сигнализации.

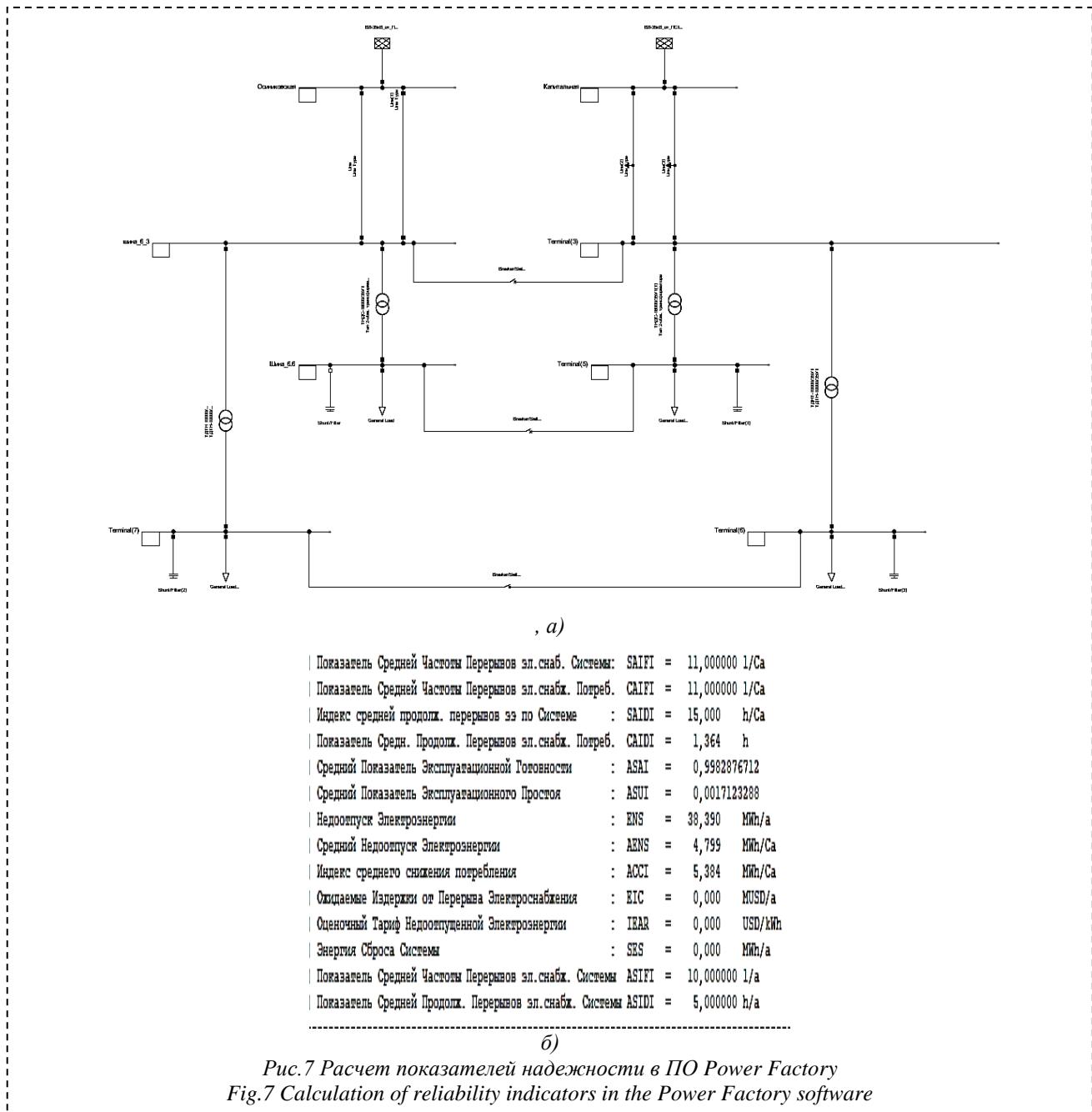
Время возможного перерыва внешнего электроснабжения угольных шахт изменяется от нескольких минут до 10 более часов (Рис.6). Проведенная обработка статистического материала показала, что среднее время перерыва электроснабжения составляет $t=156$ минут (2,6 ч).

Кроме того, для определения времени возможного перерыва электроснабжения были проведены расчеты показателей надежности электроснабжения ряда шахт с использованием программного комплекса PowerFactory, ведущим программным приложением для анализа систем передачи и распределения электрической энергии [20].

Метод расчета надежности системы электроснабжения при помощи программного обеспечения Power Factory заключается в моделировании линий электроснабжения и последующего выполнения предустановленного алгоритма «Анализ надежности».

Исходными данными при таком методе расчета являются данные той шахты, по которой планируется выполнять расчет:

- схема электроснабжения шахты;
- данные об изображенном на схеме оборудовании;
- параметры каждого электроприемника в шахте и на поверхности;



– данные о длине линий электропередачи;
– данные об используемых трансформаторах
– данные о тарифах на электроэнергию.

Первым этапом моделирования системы электроснабжения шахты является построение упрощенная схема электроснабжения шахты в ПО Power Factory (Рис.7а).

Вторым этапом является задание параметров в соответствии с исходными данными в каждом блоке модели.

Третий этап. Снятие показаний.

Результаты расчета и моделирования для шахты выводятся в «Окно результатов» (Рис. 7б).

Обсуждение результатов.

Проведенные исследования места и причин аварий в системах внешнего электроснабжения угольных шахт показали, что время возможного перерыва может достигать нескольких часов. Вследствие этого на шахте может создаться аварийная ситуация, связанная с загазованием или затоплением горных выработок, что в, в свою очередь, приводит не только к угрозе для жизни и здоровью работающих, но и разрушению горных выработок и порче технологического оборудования [21, 22].

Для определения возможного времени перерыва внешнего электроснабжения при отсутствии статистических данных, можно использовать ПО Power Factory. Полученные расчетом данные хорошо согласуются с экспериментальными (статистическими).

Выводы.

Для повышения надежности электроснабжения угольных шахт необходимо:

- проведение своевременного технического аудита и диагностики состояния проводов, грозозащитных тросов, изоляторов, опор и других элементов ВЛ и подстанций системы внешнего электроснабжения шахт;
- повышение качества и уровня эксплуатации электрооборудования, в том числе повышение

требований к уровню квалификации и практической подготовки обслуживающего персонала;

- проведение модернизации и замена элементов системы электроснабжения, чей срок эксплуатации превысил нормативный, на современные высоконадежные;

- применение самонесущих изолированных проводов (СИП-3) на напряжение 35 кВ для ВЛ внешнего электроснабжения, особенно при прохождении трассы в лесной зоне;

- разработать отраслевые регламенты и стандарты по обеспечению надежности электроснабжения угольных шахт с конкретными значениями нормируемых показателей надежности и категорийности электроприемников по надежности;

- применение современных средств релейной защиты и автоматики на базе микропроцессорных элементов, обеспечивающих высокую чувствительность и быстродействие и предотвращающих развитие аварий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Кемеровской области – Кузбасса на 2023 – 2027г. Утверждена распоряжением губернатора Кемеровской области – Кузбасса от 29.04.2022 №78-пр. с.185

2. Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А Методы и средства обеспечения энергетической безопасности промышленных предприятий с непрерывным технологическим циклом // Промышленная энергетика. 2016. № 9. С. 18-22.

3. Кудряшов, Д. С. Некоторые проблемные вопросы электроснабжения угольных предприятий Кузбасса / Д. С. Кудряшов, А. С. Ярош, О. В. Наумов // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 8. – С. 69-71.

4. Разгильдеев Г.И. Классификация потребителей шахт по надежности электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Горный журнал, 1972, № 7. – С. 123- 129.

5. Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А. Проблемы обеспечения энергетической безопасности предприятий минерально-сырьевого комплекса // Записки Горного института. 2016. Т. 217. С. 132-139.

6. Крохалев Б.Г., Челноков Н.Б. Из практики ликвидации затоплений в шахтах // Безопасность труда в промышленности, №7, 1972, с. 48-53

7. Савинкин А.А. Электроснабжение угольных шахт // Уголь Кузбасса №3, 2015. с.54- 56

8. Стрейман В.Э., Шевелев Г.А. Влияние остановки главного вентилятора на газодинамические процессы в пределах выемочного участка. //Труды Днепропетровского филиала Института механики АН УССР, вып.1, 1967.с. 87-92

9. Ютяев Е.П. «Обоснование технологии интенсивной подземной разработки высокогазоносных угольных пластов». Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Кемерово, 2019

10. И.Н. Воротников, И.В. Данченко. Надежность радиальной схемы распределительной сети без секционирования и резервирования // Труды

Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. -№5(44). – С. 247-251

11. Скребнева Е.В. Анализ схем внешнего электроснабжения угольных шахт// Перспективы инновационного развития угольных регионов России [Электронный ресурс]: Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции. – Прокопьевск: филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, 2022. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Загл. с этикетки диска. – 15 экз. с. 96-99

12. Семенов А.П. Анализ схем главных понизительных подстанций шахт Кузбасса // Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая». КузГТУ, Кемерово, 2021. с. 10301.1 –10301.4

13. Захаров С.А., Кудряшов Д.С., Бродт В.А., Паскарь И.Н., Воронин В.А. Анализ аварийности в электрических сетях 6-110 кВ Кузбасской энергосистемы// II Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Экологические проблемы промышленно развитых и ресурсодобывающих регионов: пути решения» 404-1 21-22 декабря 2017 г. КузГТУ, г. Кемерово. с.112-116

14. Захаров С.А., Воронин В.А. Технический аудит сетей внешнего электроснабжения угольных шахт Кемеровской области // Вестник КузГТУ, №1, 2017. с.83-89

15. Ершов М.С. Рекомендации по повышению надежности работы потребителей производственных объектов при авариях в системах централизованного электроснабжения // Территория Нефтегаз. 2012. № 12. С. 88-91.

16. Савинкин, А. А. Электроснабжение угольных шахт [Электронный ресурс] // Научно-проектный центр ВостНИИ. – 2015. – Режим доступа: <http://npc42.ru/pressa/publikacii/ventilyacziya-i-gazootvedenie-shaxtyi-%C2%ABraspadskaya%C2%BB>. – Загл. с экрана.

17. Hui Hwang Goh, Sy yi, Sim, Asad Shaykh, Md.Humayun Kabir, Chin Wan Ling,Qing Shi Chua, Kai Chen Goh. Transmission Line Fault Detection: A Review// Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2017. – 205 с.

18. M. Akbari, P. Khazaee. Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) for Power Transformers// 28th International Power System Conference. – 2013. – 7 с.

19. Кудряшов Д.С. Закон от отрасли отстал. Некоторые проблемные вопросы электроснабжения угольных предприятий Кузбасса // Уголь Кузбасса. – 2015 - № 01 январь-февраль [Электронный ресурс]. URL: <http://www.uk42.ru/index.php?id=426>

20. DIgSILENT PowerFactory, Версия 2021, Руководство Пользователя, ГК РТСофт, Россия, 2021, 821 с.

21. Ефременко В.М., Скребнева Е.В. нормативно-правовая база обеспечения надежного электроснабжения угольных шахт В сборнике: Инновационные перспективы Донбасса. материалы 9-й Международной научно-практической конференции. Донецк, 2023. С. 71-77.

22. Abramovich B.N. The Application of Modern Information Technologies for Power Monitoring and

© 2025 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Ефременко Владимир Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры горных машин и комплексов, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28)

Скребнева Евгения Владимировна, старший преподаватель кафедры электроснабжения горных и промышленных предприятий, старший преподаватель кафедры горных машин и комплексов, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28)

Лебедев Геннадий Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения горных и промышленных предприятий, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28)

Заявленный вклад авторов:

Ефременко Владимир Михайлович – постановка вопроса исследований;

Скребнева Евгения Владимировна – проведение исследований, обработка результатов;

Лебедев Геннадий Михайлович – разработка методики исследований.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-22-32

Vladimir M. Efremenko, Evgeniya V. Skrebneva, Gennady M. Lebedev

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: evm.kegpp@kuzstu.ru

ANALYSIS OF INTERRUPTIONS IN THE EXTERNAL POWER SUPPLY OF COAL-FIRED POWER PLANTS KUZBASS MINES

Abstract.

In the context of the complication of the technological process of coal mining, due to a significant increase in production capacity, the use of conveyor units for coal transportation, as well as the widespread use of control, control and communication tools based on computer technologies, the problem of improving the reliability of the mine's electricity supply is becoming more and more urgent. Power outages lasting more than 0.15 seconds lead to failures of safety monitoring and management systems, communications, activation of electrical protection systems, as well as automatic control systems for coal mining processes. At the same time, it should be noted that the "Safety Rules in Coal Mines" establish the requirements for the manual switching on of electrical installations in underground workings after the operation of any of the electrical protections. That is, it is necessary to find and eliminate the cause of the protection tripping, and only then turn on the electrical installation. All this leads to an increase in the recovery time of the technological process of coal mining and economic damage.

However, a power outage does not always lead to catastrophic consequences. Thus, the technological process of coal mining can be interrupted, for example, for preventive or repair work. The same can be said about the preparatory work. It should be noted that the EIR does not have a clear (normative) definition of consumers of the first category, as well as a "spe-



Article info

Received:

18 February 2025

Accepted for publication:

01 May 2025

Accepted:

05 May 2025

Published:

05 June 2025

Keywords: power supply of coal mines; causes of power outages; break time.

cial group" of electric receivers in a coal mine. Some consumers who ensure the safety of underground mining (ventilation, drainage) allow some interruption in power supply, determined by their specifics. For example, gas contamination of workings to the maximum permissible concentration does not occur immediately, at the time of shutdown, but after some time, determined by the intensity of gas emission and the volume of workings. Thus, according to the PBUSH clause 147, when switching from the main to the backup (or vice versa), it is allowed to have no ventilation for up to 10 minutes.

The permissible interruption in the power supply of dewatering installations is determined by the availability of free volume of water collectors at the time of the interruption in power supply. The main and reliable sources of power supply are power plants and networks of district power systems. The power supply system of the mine is divided into an external supply network and a distribution network on the surface of the mine and underground. This article analyzes the causes and possible time of accidents in the external power supply network of coal mines and suggests a list of measures to reduce the number and time of interruptions in the external power supply of coal mines.

For citation: Efremenko V.M., Skrebneva E.V., Lebedev G.M. Analysis of interruptions in the external power supply of coal-fired power plants Kuzbass mines. Mining Equipment and Electromechanics, 2025; 2(178):22-32 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-22-32, EDN: HJXWDH

REFERENCES

1. Scheme and Program for the Prospective Development of the Electric Power Industry of the Kemerovo Region – Kuzbass for 2023 – 2027. Approved by the Order of the Governor of the Kemerovo Region – Kuzbass dated 29.04.2022 №78-rg. p.185
2. Abramovich B.N., Sychev Yu.A. Methods and Means of Ensuring the Energy Safety of Industrial Enterprises with a Continuous Technological Cycle. 2016. № 9. Pp. 18-22.
3. Kudryashov D. S., Yarosh A. S., Naumov O. V. Nekotorye problemye voprosy elektronnabzheniya ugolnykh predpriyatiy Kuzbassa [Some problematic issues of electric supply of coal enterprises in Kuzbass] / D. S. Kudryashov, A. S. Yarosh, O. V. Naumov // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 2014. – № 8. – P. 69-71.
4. Razgildeev G.I. Classification of Shakh Consumers by Reliability of Electric Power Supply. Mining Journal, 1972, No 7. – P. 123-129.
5. Abramovich B.N., Sychev Yu.A. Problems of ensuring the energy security of mineral resource complex enterprises. 2016. T. 217. Pp. 132-139.
6. Krokhalev B.G., Chelnokov N.B. From the practice of liquidation of flooding in mines // Labor Safety in Industry, No7, 1972, pp. 48-53 Savinkin A.A. Electric Supply of Coal Mines // Coal of Kuzbass No3, 2015. P.54-56
7. Streymann V.E., Shevelev G.A. Influence of the main fan shutdown on gas-dynamic processes within the mining area.// Proceedings of the Dnepropetrovsk branch of the Institute of Mechanics of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, issue 1, 1967 . c.87-92
8. Yutyaev E.P. "Substantiation of the technology of intensive underground mining of high-gas-bearing coal seams". Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences, Kemerovo, 2019
9. Danchenko I.V. Reliability of the radial scheme of the distribution network without sectioning and reservation // I.N. Vorotnikov, I.V. Danchenko // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. – 2013. -№5(44). – P. 247-251
10. Skrebneva E.V. Analysis of schemes of external electric power supply of coal mines // Prospects for innovative development of coal regions of Russia [Elektronnyi resurs]: Sbornik trudov VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Prokopyevsk: branch of KuzGTU in Prokopyevsk, 2022. – 1 electron. wholesale. Disc (CD-R). – Head. from the disc label. – 15 copies, pp. 96-99
11. Semenov A.P. Analysis of schemes of the main lowering substations of Kuzbass mines // Collection of materials of the XIII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation "Young Russia". Editorial Board: K.S. Kostikov (guest editor) [and others]. KuzGTU, Kemerovo, 2021. p. 10301.1 –10301.4
12. Zakharov S.A., Kudryashov D.S., Brodt V.A., Paskar I.N., Voronin V.A. Analysis of accidents in 6-110 kV electric networks of the Kuzbass power system // II All-Russian Youth Scientific and Practical Conference "Environmental Problems of Industrially Developed and Resource-Producing Regions: Solutions" 404-1 December 21-22, 2017 KuzGTU, Kemerovo. pp.112-116
13. Zakharov S.A., Voronin V.A. Technical audit of networks of external power supply of coal mines in the Kemerovo region // Vestnik KuzGTU, No1, 2017. p.83-89.
14. Ershov M.S. Recommendations for improving the reliability of the work of consumers of production facilities in case of accidents in the systems of centralized power supply. 2012. № 12. Pp. 88-91.

15. Savinkin A. A. Elektrosnabzhenie ugodnykh shakht [Electric supply of coal mines]. – 2015. – Rezhim dostupa: <http://npc42.ru/prespa/publikaczii/ventilyacziya-i-gazootvedenie-shaxtyi-%C2%ABraspadskaya%C2%BB>. – Head. from the screen.

16. Hui Hwang Goh, Sy yi, Sim, Asad Shaykh, Md.Humayun Kabir, Chin Wan Ling,Qing Shi Chua, Kai Chen Goh. Transmission Line Fault Detection: A Review// Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2017. – 205 c.

17. M. Akbari, P. Khazaee. Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) for Power Transformers// 28th International Power System Conference. – 2013. – 7 c.

18. Kudryashov D.S. Zakon ot otrassli ot otdel' [The Law from the Industry Lagged Behind]. Some problematic issues of electric power supply of coal

enterprises in Kuzbass // Coal of Kuzbass. – 2015 - No 01 January-February [Elektronnyi resurs].

19. DIgSILENT PowerFactory, Version 2021, User Manual, RTSoft Group of Companies, Russia, 2021, 821 p

20. Efremenko V.M., Skrebneva E.V. Regulatory Framework for Ensuring Reliable Power Supply of Coal Mines In the collection: Innovative Prospects of Donbass. Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference. Donetsk, 2023. Pp. 71-77.

21. Abramovich B.N. The Application of Modern Information Technologies for Power Monitoring and Control in Conditions of Distributed Generation / B.N.Abramovich, V.B.Prochorova, Yu.A.Sychev // Proceeding of the 16th conference of FRUCT association, 27-31 Oct., Oulu (Finland). 2014. P. 3-8. DOI: 10.1109/FRUCT.2014.7000938

© 2025 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Vladimir M. Efremenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mining Machines and Complexes, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 Vesennaya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation)

Evgeniya V. Skrebneva, Senior Lecturer of the Department of Power Supply of Mining and Industrial Enterprises, Senior Lecturer of the Department of Mining Machines and Complexes, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (Russia, 650000, Kemerovo, Vesennaya str., 28)

Gennady M. Lebedev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Power Supply of Mining and Industrial Enterprises, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28, Vesennaya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation)

Contribution of the authors:

Vladimir M. Efremenko – formulation of the research question;

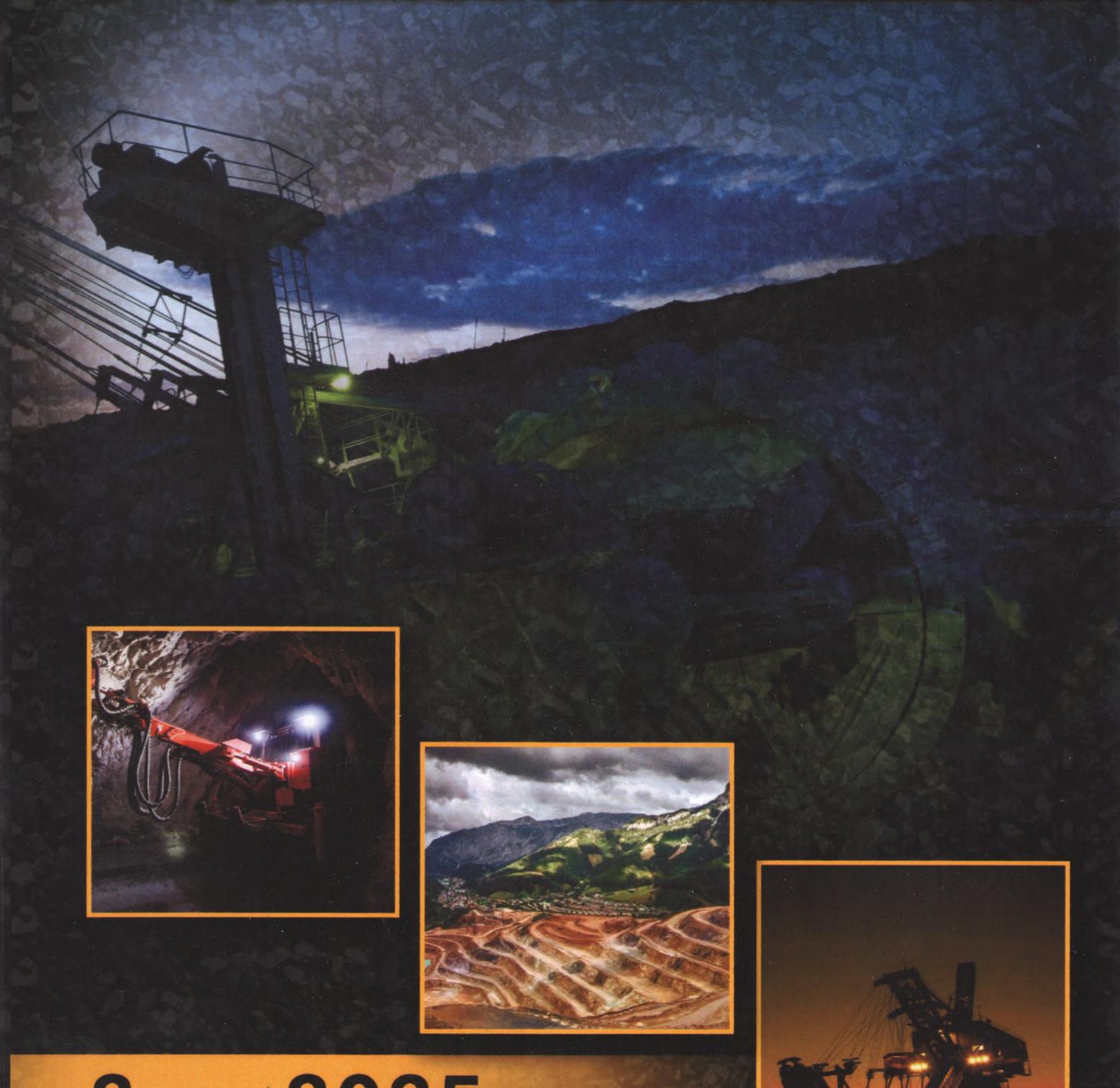
Evgeniya V. Skrebneva – conducting research, processing results;

Gennady M. Lebedev – development of research methodology.

Authors have read and approved the final manuscript.



ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА



2 (178) • 2025

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

12+

2(178)

2025

Основан в 2000 году

Выходит 6 раз в год

ISSN 1816-4528

Главный редактор:
Хорешок А.А., д.т.н., проф.

Зам. гл. редактора:
Лагунова Ю.А., д.т.н., проф.
Кантович Л.И., д.т.н., проф.

Редакционный совет:
Трубецкой К.Н., акад. РАН, д.т.н.
Галкин В.А., д.т.н.
Мерзляков В.Г., д.т.н., проф.
Блюменштейн В.Ю., д.т.н., проф.
Аксенов В.В., акад. АГН, д.т.н.

Редакционная коллегия:
Андреева Л.И., д.т.н.
Аннакулов Т.Ж., к.т.н., доц.
Воронова Э.Ю., д.т.н., проф.
Галкин В.И., д.т.н., проф.
Глебов А.В., к.т.н.
Жабин А.Б., д.т.н., проф.
Зырянов И.В., д.т.н.
Ляхомский А.В., д.т.н., проф.
Певзнер Л.Д., д.т.н., проф.
Петров В.Л., д.т.н., проф.
Семёкина И.Ю., д.т.н., проф.
Тоиров О.З., д.т.н., проф.
Трифанов Г.Д., д.т.н., проф.
Хазанович Г.Ш., д.т.н., проф.
Юнгмайстер Д.А., д.т.н., проф.

Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Адрес учредителя, издателя и редакции:
650000, Россия, Кемеровская область,
г. Кемерово, ул. Весенняя 28

Технический редактор:
Останин О.А.

Дизайн обложки, компьютерная верстка: Бородин Д.А.

Телефон редакции:
+7 (384-2) 39-63-14

Email: gormash@kuzstu.ru
Сайт: <http://gormash.kuzstu.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

Леонова Ю.Ю., Негадаев В.А. Рациональный подход к выбору устройства компенсации реактивной мощности.....	3
Ян Янь, Чичерин И.В., Лицзюнь Чжао, Чанцзюань Лонг, Игнатьева Е.А. Разработка алгоритмов распознавания в системе управления приводами робота для сбора чайных листьев.....	12
Ефременко В.М., Скребнева Е.В., Лебедев Г.М. Анализ перерывов внешнего электроснабжения угольных шахт Кузбасса.....	22
ГОРНЫЕ МАШИНЫ	
Левашова Е.Е. Изменение структуры ремонтного цикла пальцев карьерного экскаватора	33
Афендиков Н.Г., Тыртычный С.В. Экспериментальные исследования разрушения горной породы группой резцов с различными смещениями их вдоль линий резания	40
Черных В.Г., Отроков А.В., Гринько Д.А., Гринько А.А., Миронова А.О., Богатырев А.Р. Определение параметров надежностно-ориентированного технического обслуживания автосамосвалов угольного разреза	50
Черных В.Г., Отроков А.В., Гринько Д.А., Гринько А.А., Миронова А.О., Богатырев А.Р. Разработка методических подходов к идентификации рисков неисправностей и отказов и определения их критичности для карьерных самосвалов	59
Черных В.Г., Отроков А.В., Гринько Д.А., Гринько А.А., Миронова А.О., Богатырев А.Р. Разработка блок схемы процессов риск-ориентированной системы ТОиР применительно к горнодобывающим предприятиям	69
Ефременков А.Б., Никитин Е.И., Пашков Д.А., Нозирзода Ш.С. Разработка математической модели формирования полувыпуклой геликоидной формы ножа исполнительного органа геохода	78
Марат Р.Т., Масляков Н.С., Маметьев Л.Е. Математическая модель комплексной оценки качества реверс-инжиниринга деталей на примере запасных частей погрузочно-доставочной машины.....	89

Позиция редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых материалов.

Полнотекстовый доступ к электронной версии журнала на сайте www.elibrary.ru
Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
Издание соответствует коду 58.14.1 ОКПД 2 ОК 034-2014 (КПЕС 2008)

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций – регистрационный номер ПИ № ФС77-76284 от 19 июля 2019 г.

Журнал включен в Перечень ВАК РФ – ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук по направлениям (технические науки):

- 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)
- 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы (технические науки)
- 2.8.8. Геотехнология, горные машины (технические науки)

Дата выхода в свет: 05.06.2025. Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Отпечатано на МФУ. Уч.-изд. л. 12,25. Тираж 70 экз. Заказ 68. Цена свободная

Адрес типографии: Издательский центр КузГТУ
650000, Россия, Кемеровская область, г. Кемерово, ул. Д.Бедного, 4а

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL
**MINING EQUIPMENT
AND ELECTROMECHANICS**

GORNOE OBORUDOVANIE I ELEKTROMEKHANIKA

12+

2(178)
2025

Founded in 2000

Issued 6 times a year

ISSN 1816-4528

Editor-in-chief:

Khoreshok A. A., Dr. Sc., prof.

Deputy editor-in-chief:

Lagunova, Yu. a., prof.

Kantowicz L. I., Dr. Sc., prof.

Editorial board:

Trubetskoy K. N., Acad. RAS, Dr. Sc.
Galkin V. A., Dr. Sc.
Merzlyakov V. G., Dr. Sc., prof.
Blumenstein V.Yu., Dr. Sc., prof.
Aksenov V. V., Akad. AMS, Dr. Sc.

Editorial Team:

Andreeva L. I., Dr. Sc.
Annakulov T.J., PhD, assoc. prof.
Voronova E.Yu., Dr. Sc., prof.
Galkin V. I., Dr. Sc., prof.
Glebov A.V., Ph. D.
Zhabin A. B., Dr. Sc., prof.
Zyryanov I. V., Dr. Sc.
Lakomski A. V., Dr. Sc., Prof.
Pevzner L. D., Dr. Sc., prof.
Petrov V. L., Dr. Sc., prof.
Semykina I. Yu., Dr. Sc., prof.
Toirov O.Z., Dr. Sc., prof.
Trifanov G. D., Dr. Sc., prof.
Khazanovich G. Dr. Sc., prof.
Jungmeister D. A., Dr. Sc., prof.

Founder and publisher:

T. F. Gorbachev Kuzbass state technical university

**Address of the founder, the publisher
and the Editorial office:**

Russia, 650000, Kemerovo region,
Kemerovo, 28 Vesennaya str.

Technical editor:

Ostaniin O. A.

**Cover design,
computer layout:** Borodin D. A.

Tel.: +7 (384-2) 39-63-14

Email: gormash@kuzstu.ru

Website: <http://gormash.kuzstu.ru>

CONTENTS

ELECTROTECHNICAL COMPLEXES AND SYSTEMS

- Leonova Yu.Yu., Negadaev V.A. A rational approach to choosing a reactive power compensation device 3
Yan Yang, Chicherin I.V., Lijun Zhao, Chanjuan Long, Ignatieve E.A. Development of recognition algorithms in the control system of robot drives for plucking tea 12
Efremenko V.M., Skrebneva E.V., Lebedev G.M. Analysis of interruptions in the external power supply of coal-fired power plants Kuzbass mines 22

MINING MACHINES

- Levashova E.E. Change in the repair cycle of excavator fingers 33
Afendikov N.G., Tyrytchny S.V. Experimental research of rock destruction by a group of cutters with different their displacements along the cutting lines 40
Chernyh V.G., Otkrov A.V., Grinko D.A., Grinko A.A., Mironova A.O., Bogatyrev A.R. Determination of parameters of reliability-oriented maintenance of coal mine dump trucks 50
Chernyh V.G., Otkrov A.V., Grinko D.A., Grinko A.A., Mironova A.O., Bogatyrev A.R. Development of methodological approaches to identify the risks of malfunctions and failures and determine their criticality for mining dump Trucks 59
Chernyh V.G., Otkrov A.V., Grinko D.A., Grinko A.A., Mironova A.O., Bogatyrev A.R. Development of a flowchart of the processes of a risk-based MRO system applied to mining enterprises 69
Efremenkov A.B., Nikitin E.I., Pashkov D.A., Nozirzoda Sh.S. Development of a mathematical model for the formation of a semi-convex helicoid shape of the knife of the executive body of the geokhod 78

The editorial position does not always coincide with the point of view of the authors of the published materials.

Full-text access to the electronic version of the journal is on website www.elibrary.ru
Tax relief - All-Russian product classifier
The publication corresponds to 58.14.1 OKPD 2 OK 034-2014 (KPEC 2008)

The journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communication, Information Technologies and Mass Communications - media registration number No. FS77-76284 of July 19, 2019.

The journal is included in the Russia List of the Higher Attestation Commission being the list of the leading peer-reviewed scientific journals and publications in which the main scientific results of theses for the academic degrees of a doctor and candidate of sciences should be published in the following areas (engineering):

- 2.5.5. Technology and equipment for mechanical and physical-technical processing (engineering)
- 2.4.2. Electrotechnical complexes and systems (engineering)
- 2.8.8. Geotechnology, Mining machines (engineering)

Date of publication: 05 June 2025. Format 60×84 /8. Offset paper. Imprinted on MFPs.
Published sheets 12,25. Edition 70 copies. Order 68. Free price

Address of the printing house:

Publishing center KuzSTU

Russia, 650000, Kemerovo region, Kemerovo, 4a, D. Bednogo str