

Научная статья

УДК 621.3611:621

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-75-84

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

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: evm.kegpp@kuzstu.ru

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗАВАРИЙНОГО СОСТОЯНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ
ПРИ ПЕРЕРЫВАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ****Аннотация.**

Наличие на угольных шахтах потребителей первой категории по бесперебойности электроснабжения, в том числе потребителей особой группы, обеспечивающих безопасное нахождение людей в подземных выработках, требует высокого уровня надежности электроснабжения шахт от централизованных источников. К потребителям электроэнергии первой категории на угольных шахтах согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) относятся главные и вспомогательные вентиляционные установки, главный (в некоторых случаях и участковый) водоотлив, людской подъем. Электроснабжение этой категории должно осуществляться от двух независимых резервируемых источников снабжения электрической энергией. Это же требование содержится в Постановлении Правительства РФ от 27.12.2004 № 861 (в редакции от 30.01.2021). Оба документа требуют, чтобы время восстановления электроснабжения не превышало время работы автоматического включения устройств автоматического ввода резерва (АВР).

К потребителям особой группы согласно с ГОСТ МЭК 62040-3-2009 относятся электроприемники критической категории (ЭКК), бесперебойное функционирование которых может быть нарушено с продолжительностью более одного периода промышленной частоты. К таким электроприемникам на шахте следует отнести: устройства автоматизированной обработки производственной, управленческой и финансовой информации, системы контроля состояния рудничной атмосферы, контроля наличия и нахождения работающих под землей, устройства связи и оповещения, устройства автоматизированного управления технологическими процессами и другие. В постановлении от 27.12.2004 №861, а также ГОСТ МЭК 62040-3-2009 предусмотрено обеспечение бесперебойного электроснабжения использованием источников бесперебойного питания – автономных источников электроснабжения (АИЭ).

Законодательное требование наличия автономного источника электроснабжения на предприятиях требует разработки методики определения их мощности. В настоящее время большое количество научных работ посвящено разработкам методик и алгоритмов выбора и обоснования использования автономного источника электроснабжения на промышленных предприятиях, но нет практических подходов к реализации автономного электроснабжения крупных угольных предприятий с большой величиной резервируемой мощности.

На примере угольной шахты рассмотрены вопросы, позволяющие сформулировать общие принципы выбора мощности автономных источников электроснабжения (АИЭ) потребителей угольных шахт в условиях полного прекращения электроснабжения от энергосистемы. В статье предложен один из вариантов обеспечения безаварийного состояния шахты при перерыве электроснабжения от энергосистемы.

**Информация о статье**

Поступила:

05 декабря 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

01 марта 2025 г.

Принята к печати:

10 марта 2025 г.

Опубликована:

24 марта 2025 г.

Ключевые слова:

угольные шахты, безаварийный простой, системы безаварийного электроснабжения

Введение

Согласно ФЗ от 21.07.1997 № 116-ФЗ угольные шахты относятся к I классу – опасные производственные объекты чрезвычайно высокой опасности. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) относят часть электроприемников шахт, обеспечивающих безопасность работы в подземных горных выработках (вентиляторные и водоотливные установки, людской подъем на шахтах с вертикальными стволами, насосы котельных), к потребителям первой категории по надежности электроснабжения. При этом электроснабжение этой категории должно осуществляться от двух независимых резервируемых источников снабжения электрической энергией. Это же требование содержится в Постановлении Правительства РФ от 27.12.2004 № 861 (в редакции от 30.01.2021). Оба документа требуют, чтобы время восстановления электроснабжения не превышало время работы автоматического включения устройств автоматического ввода резерва (АВР), которые на сегодняшний день составляют $t_{ABP} \leq 0,4 - 0,8с$.

Кроме того, на угольных шахтах имеются ряд потребителей (особая группа), которые согласно ГОСТ МЭК 62040-3-2009 «Системы гарантированного электроснабжения. Агрегаты бесперебойного питания. Ч.3. Общие технические требования. Методы испытаний» относятся к электроприемникам критической категории (ЭКК), бесперебойное функционирование которых может быть нарушено с продолжительностью не более одного периода промышленной частоты.

Однако ни одним нормативным документом не определено, что должно относиться к потребителям данной группы электроэнергетики на угольных шахтах.

На наш взгляд, к ним следует отнести различные системы контроля атмосферы в подземных выработках, контроль заполнения водосборников, места нахождения работающих в горных выработках, сигнализацию, связь, диспетчерское управление, аварийное освещение, информационно-компьютерные центры. Данные электроприемники должны иметь бесперебойное электроснабжение, не допускающее возможные сбои в работе перечисленных выше систем, т.е. $t_{nep} \rightarrow 0$.

Методы исследования

Для особой группы электроприемников Постановлением Правительства РФ от 27.12.2004 № 861 требуется третий независимый источник электропитания в виде автономного аварийного источника электроснабжения (АИЭ). Схема электроснабжения потребителей особой группы должна обеспечивать немедленную (мгновенную) готовность АИЭ к принятию нагрузки при исчезновении напряжения на обоих источниках питания от Единой энергетической системы, в данном случае от электрических

подстанций филиала ПАО «МРСК Сибири» – «Кузбассэнерго-РЭС».

Рядом исследований [1–3] установлено, что между независимыми согласно ПУЭ источниками электроснабжения, в нашем случае двумя воздушными линиями, запитанными от разных секций одной подстанции энергосистемы, имеется взаимосвязь. Коэффициент взаимосвязи определяется по формуле

$$k_{св(12)} = \frac{\Delta U_1^{K32} U_{2н}}{\Delta U_2^{K3} U_{1н}},$$

где $k_{св(ji)}$ – коэффициент связанности первой секции источника питания относительно второй;

ΔU_1^{K32} – отклонение напряжения на первой секции при коротком замыкании на второй;

ΔU_2^{K3} – отклонение напряжения на второй секции при коротком замыкании на ней;

$U_{1н}$ – номинальное напряжение на первой секции;

$U_{2н}$ – номинальное напряжение на второй секции.

Коэффициент взаимосвязи, как показывают исследования [3], может достигать 0,4 – 0,6 при приемлемом $k_{св} < 0,1 - 0,2$.

Следовательно, при коротком замыкании на любой из секций питающих шахту подстанций снижается напряжение и на другой секции, что может привести также к ее отключению и обесточиванию ГПП шахты.

Согласно стандарту МЭК 62040-3-2018 «Системы бесперебойного питания (ИБП). Метод определения требований к производительности и испытаниям» бесперебойное время питания потребителей особой группы могут обеспечить только источники бесперебойного питания (ИБП) класса VFT-SS-111. Время питания электроприемников особой группы (ЭКК) от ИБП должно быть не менее 7 минут с последующим переключением на АИЭ. При выборе количества ИБП требуется предусмотреть избыточную мощность в виде дополнительного ИБП.

Вместе с тем, как показывают исследования [4–6], остальные потребители первой категории не столь критичны к возможному времени перерыва электроснабжения.

Это объясняется тем, что, например, концентрация метана в выработках достигает допустимой величины не сразу, в момент отключения электроэнергии и остановки вентиляторов, а по истечении некоторого времени, предельно определяемого интенсивностью газовыделения, объемом горных выработок, наличием естественной вентиляции.

Исследованиями [7–9] установлено, что наиболее интенсивное газовыделение происходит при работе очистных и подготовительных забоев со свежееобнажаемых поверхностей. При остановке забоев интенсивность газовыделения снижается более чем на 60%, а через 6 – 8 часов в несколько десятков раз [10].

Время допустимого простоя вентиляторных установок в этом случае увеличивается и может

быть определено по предложенным нами в [5] номограммам.

Пунктом 164 Правил безопасности на угольных шахтах (ПБ) допускается остановка вентиляторов ГП (ВУ) на время более 30 мин, при этом порядок действия людей, находящихся в горных выработках, определяется планом ликвидации аварий [11].

Время допустимого простоя водоотливных установок шахт зависит от водопритока и наличия свободного на момент наступления перерыва в электроснабжении объема водосборников. При этом согласно действующим Правилам безопасности в угольных шахтах главные водоотливные установки (ГВУ) должны иметь не менее двух не соединенных между собой водосборников. Емкость каждого водосборника ГВУ должна быть рассчитана на четырехчасовой максимальный водоприток без учета заиливания [12, 13].

Однако опыт эксплуатации шахтного водоотлива показывает, что перерыв в электроснабжении главного водоотлива не ведет к немедленному затоплению выработок. Режим работы насосов ГВУ на большинстве шахт принят таким, что практически всегда имеется свободный незаполненный водой объем водосборника. Верхний уровень воды в водосборнике, при котором включаются дополнительные насосы, рассчитан на часовой водоприток. Даже без учета свободного объема второго водосборника можно считать минимально допустимое время простоя насосов главного водоотлива $t_{d,вод} \geq 1$ час.

Проведенный анализ соотношения водосборников главного водоотлива и максимальных часовых притоков, а также расчеты по определению времени допустимого простоя насосов главного водоотлива показали, что практически это время может достигать 18-20 и более часов (до 154 на одной из обследованных шахт), в зависимости от состояния водосборников, заполнения их водой на момент отключения электроэнергии и часового водопритока.

Допустимое время простоя людского подъема может быть определено исходя из времени выхода людей в самоспасателях в условиях пешего передвижения, которое определяется в Плане ликвидации аварий.

Следует сказать, что допустимое время перерыва в электроснабжении потребителей, обеспечивающих безопасное пребывание людей в горных выработках, должно определяться индивидуально для каждой шахты исходя из горно-геологических и технологических факторов.

Время восстановления ($t_{вз}$) нормального режима электроснабжения потребителей первой категории шахт складывается из времени восстановления внешнего электроснабжения от источника централизованного питания (подстанции ЕЭС России) до приемной подстанции шахты (ГПП) и времени восстановления системы внутреннего электроснабжения от ГПП до электроприемника (вентилятор, водоотлив, подъем). В случае, если это время будет превышать допустимое по любому из вышеперечисленных факторов ($t_{d,вен}$, $t_{d,вод}$, $t_{d,под}$) необходимо

предусмотреть мероприятия и меры, не позволяющие допустить аварийных ситуаций – загазование, затопление или невозможность эвакуации людей из подземных выработок.

В качестве таких мероприятий могут быть рассмотрены:

- повышение надежности существующих систем электроснабжения их модернизацией и использованием более надежного оборудования и материалов [14, 15];

- сооружение дополнительной (третьей) линии электроснабжения с питанием ее от независимого от существующих источников ЕЭС [16];

- создание системы бесперебойного электроснабжения (СБЭ) [17,18];

- сооружение на шахте автономного источника электроснабжения (АИЭ): ДГУ, ГТУ или ГПУ мощностью, равной необходимой мощности для питания потребителей первой категории и особой группы [19-22].

Выбор возможного варианта производится на основании технико-экономического расчета с обязательным сравнением их по надежности электроснабжения.

Рассмотрим один из вариантов создания на шахте системы бесперебойного электроснабжения. С этой целью потребителей первой категории разделим на две группы:

1 группа – потребители, не допускающие перерывов в электроснабжении и требующие высокого качества электроэнергии (потребители особой группы). При проектировании и создании (сооружении) системы электроснабжения данную группу потребителей необходимо выделить на отдельную, общую для всех систему шин, питание от двух независимых друг от друга источников. Например, трансформаторов, которые в свою очередь запитаны от разных систем шин напряжением 6 кВ.

2 группа – потребители, допускающие перерыв в электроснабжении на некоторое допустимое время (t_d) (потребители первой категории).

Исходя из приведенной группировки производится определение требуемой мощности источников питания. Так как потребители особой группы не допускают перерыва в электроснабжении, а также имеют небольшую мощность, то в качестве источника питания для них предлагается использовать аккумуляторные батареи с инверторными устройствами и АИЭ. Возможное структурно-схемное решение системы бесперебойного электроснабжения представлено на Рис. 1.

В состав системы бесперебойного электроснабжения включаются:

АБ – батареи аккумуляторов;

ГПП – главная понизительная подстанция предприятия, осуществляющая связь с внешним источником электроснабжения (подстанция ЕЭС);

АИЭ – автономный источник питания на базе дизельных, газотурбинных (поршневых) электроустановок;

И – инверторы постоянного тока в переменный;

В – выпрямители;

К – коммутационное оборудование;

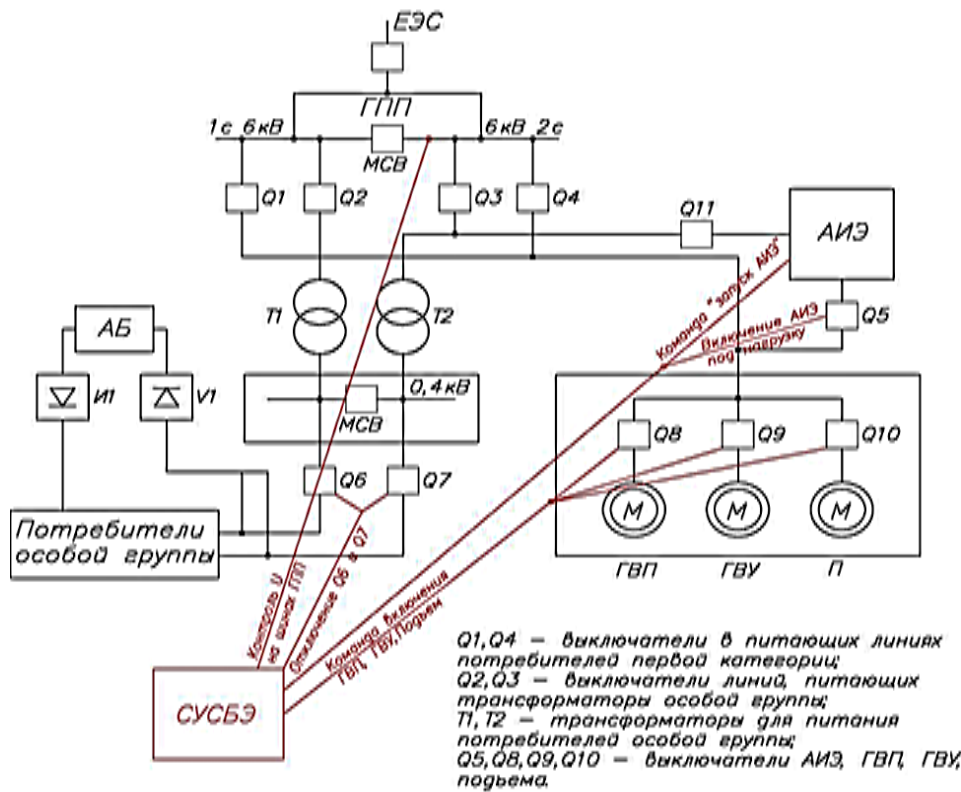


Рис. 1. Структурно-схемное решение системы бесперебойного электроснабжения
 Fig. 1. Structural and circuit design of an uninterruptible power supply system

СУСБЭ – блок управления системой бесперебойного электроснабжения.

Емкость аккумуляторных батарей рассчитывается исходя из мощности потребителей особой группы и времени работы либо до восстановления электроснабжения от внешнего источника, либо до запуска и выхода на рабочий режим АИЭ. Согласно техническим данным современных АИЭ это время не превышает 10-15 минут. Расчетная мощность АИЭ для питания потребителей особой группы может быть определена

$$P_{\text{АИЭ}} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{100}{g} \left(\frac{P_{\text{ИБП}}}{\eta} + P_{\text{зар.АБ}} \right) \\ k \left(\frac{P_{\text{ИБП}}}{\eta} + P_{\text{зар.АБ}} \right) \end{array} \right. \quad (1)$$

где g – допустимый наброс нагрузки (по документации АИЭ);

$$k = \sum P_n^* = \sum (I_n^{*2}) (1 + n^2 x_d''^2 (2n^{1.3} + 1)) \cong \sum (I_n^{*2} (1 + 2n^2 x_d''^{3.3})) \quad (2)$$

P_n^* , (I_n^*) – относительная мощность (ток) n -ой гармоники

Выбирается наибольшая из полученных по (1) мощностей.

Режим работы СБЭ следующий.

1. Основной режим, при котором все электроприемники шахты, в том числе и потребители особой группы и первой категории, получают электроэнергию через ГПП от ЕЭС. Аккумуляторные батареи находятся в режиме заряда.

2. При исчезновении напряжения на шинах ГПП СУСБЭ подает сигнал на отключение питания потребителей особой группы (отключается выключа-

тель К1), и потребители через инвертор И получают питание от АБ практически без перерыва, тем самым исключая различные сбои в электронных системах управления и контроля.

В связи с тем, что мощность электроприемников особой группы, как правило, не превышает несколько сот киловатт и напряжение 220/380 В, целесообразно для них иметь отдельный автономный источник электроснабжения низкого напряжения АИЭ_{нн} соответствующей мощности. Запуск его в работу и подключение нагрузки осуществляет СУСБЭ.

3. СУСБЭ подает сигнал на запуск АИЭ, который, как уже было сказано выше, через 5-10 минут готов принять нагрузку потребителей первой категории и особой группы.

Для второй группы, мощность которой достигает на некоторых шахтах 7 – 12 МВт, предлагается использовать аварийные автономные установки на базе дизель-генераторов, газопоршневых или газотурбинных электростанций.

Порядок подключения потребителей первой категории к АИЭ определяется из сравнения времени допустимого простоя электроснабжения вентиляторных ($t_{\text{д,вен}}$), водоотливных ($t_{\text{д,вод}}$) установок и подъема ($t_{\text{д,под}}$).

При внезапном прекращении электроснабжения угольной шахты и аварийной остановке технологического оборудования возникают условия, определяющие длительное восстановление нормального режима работы конвейерного транспорта, очистных и подготовительных забоев. По статистическим данным время запуска конвейерной линии

(в зависимости от протяженности конвейера) составляет 35-76 минут при условии, что все конвейеры в транспортной линии разгружены, т. е. на ленточном полотне отсутствует горная масса. Но велика вероятность прекращения электроснабжения в процессе транспортировки горной массы. В этом случае запуск конвейерного транспорта будет осуществляться в загруженном состоянии и может длиться до нескольких смен. В случае перерыва электроснабжения забойного оборудования (комбайна, скребкового конвейера) добыча угля прекращается, и горная масса не попадает на конвейерное полотно. При наличии аварийного источника электроэнергии можно произвести разгрузку конвейерной линии и подготовить ее к последующему запуску на холостом ходу. В этом случае можно сформировать график постепенного снижения требуемой мощности для окончания процесса транспортировки горной массы из забоя на поверхность шахты.

Для этих целей на предприятиях разрабатываются акты аварийной и технологической брони электроснабжения, которые согласовываются с электросетевыми организациями, к которым непосредственно или опосредованно присоединены такие предприятия.

Время действия технологической брони электроснабжения определяют по проектной (технической) документации, а в случае ее отсутствия – по взаимному согласованию энергоснабжающей организации и потребителя электрической энергии. В случае угольных шахт максимальное время действия технологической брони предлагается считать равным времени разгрузки конвейерной линии.

Согласно п. 88. Приказа Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27.11.2020 № 467 «При несанкционированной остановке ВГП ... вывести людей в горные выработки со свежей струей воздуха. При остановке ВГП более 30 минут вывести всех людей, находящихся в шахте, к воздухоподающим стволам. ...по истечении 30 минут после внезапной остановки ВГП прекратить все работы, вывести людей на свежую струю воздуха, при продолжительности времени остановки ВГП более 2 часов – к воздухоподающему стволу или на поверхность». Таким образом, в первые 30 минут аварийного прекращения электроснабжения в подземных выработках допускается условно безопасная остановка вентилятора главного проветривания. В этот период времени работники, находящиеся в подземных выработках, должны быть локализованы в пределах людских подъемных установок на шахтах с вертикальными стволами, а также электрифицированных средств транспорта людей по горным выработкам. Следовательно, через 30 минут с момента аварийного прекращения электроснабжение вентиляторов должно быть восстановлено, а также запущены в работу грузо-людские подъемные установки. При этом подъем должен обеспечить не столько подъем людей на поверхность, сколько спуск в шахту необходимых материалов и оборудования, а также ВГСЧ. При расчете мощности аварийной и техно-

логической брони вентиляторных установок необходимо учитывать, что до 58% метана выделяется из свежего обнажения угольного забоя и порядка 17% – из свежего обнажения кровли из почвы. При неработающем комбайне газовыделение составляет не более 25-30% от суммарного при работе комбайна [7]. Следовательно, при расчете мощности электродвигателя вентиляторной установки можно применять коэффициент использования $K_{и} = 0,3 - 0,5$, меньше чем в нормальном режиме ($K_{и} = 0,75$). На Рис. 2 представлено относительное изменение мощности электродвигателя привода в зависимости от изменения производительности вентилятора.

Расчет величины мощности источника электроэнергии для разгрузки конвейерной линии производился по схеме конвейерного транспорта одной из шахт (Рис. 3). На Рис. 4 представлен график изменения потребляемой мощности конвейерной линии при ее разгрузке (1), а также формирование аварийной брони для обеспечения рабочего состояния шахты при перерыве электроснабжения от энергосистемы.

После времени завершения технологического процесса и отключения конвейерного транспорта шахты до момента восстановления нормального режима электроснабжения длится аварийная броня.



Рис. 2. Изменение мощности электродвигателя при снижении производительности вентилятора
Fig. 2. Change in motor power when fan performance decreases

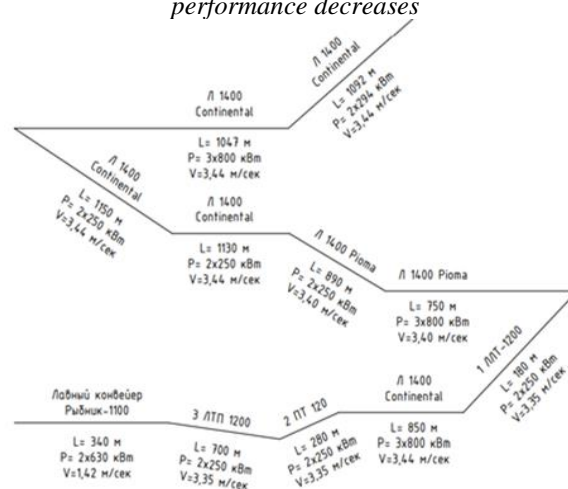


Рис. 3. Схема конвейерного транспорта на одной из шахт Кузбасса
Fig. 3. Scheme of conveyor transport at one of the Kuzbass mines

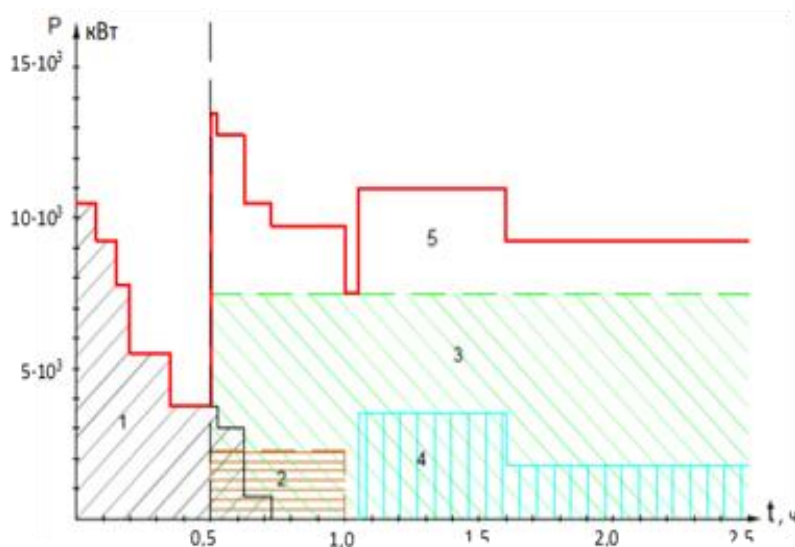


Рис. 4. График формирования технологической и аварийной брони угольной шахты:

1 – технологическая броня, необходимая для разгрузки конвейеров;

2 – аварийная броня подъемных установок;

3 – мощность необходимая для работы вентиляционных установок;

4 – мощность, потребляемая насосными установками при откачке и заполнении водосборника;

5 – аварийная мощность (броня) шахты для поддержания ее в рабочем состоянии

Fig. 4. Schedule for the formation of technological and emergency armor for a coal mine:

1 – technological armor necessary for unloading conveyors;

2 – emergency armor for lifting units;

3 – power required for the operation of ventilation units;

4 – power consumed by pumping units when pumping out and filling the reservoir;

5 – emergency power (armor) of the mine to maintain it in working condition

Время прекращения электроснабжения водоотливных установок определяется временем заполнения главного водосборника шахты, так как его переполнение приводит к затоплению капитальных выработок и может привести к полной остановке предприятия. Рассчитав режим работы водоотливных установок, можно подобрать оптимальный режим, например: отключение насосных установок в период работы электроприемников технологической брони на допустимое время, затем полная откачка всех имеющихся емкостей водосборников, работа одного насоса (позволяет увеличить время заполнения водосборников) и вновь полная откачка.

Используя вышеприведенный алгоритм определения мощности аварийной и технологической брони электроснабжения, можно сформировать график включения/отключения электроприемников (Рис. 4).

Использование при определении необходимой мощности аварийного источника электроэнергии для угольной шахты графиков нагрузки электроприемников аварийной и технологической брони с учетом начальных условий на момент наступления перерыва электроснабжения позволит снизить мощности АИЭ на 15–25% по сравнению с расчетом по действующей методике. В этом случае в групповом графике электрической нагрузки учитывают индивидуальные графики потребителей, вхо-

дящих во вторую группу, с учетом всех горно-геологических условий конкретного предприятия.

Выводы

1. На сегодняшний момент нет четких нормативных требований к установлению категориальности того или иного электроприемника, в том числе и на шахтах. Постановлением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2004 г. №861 сказано – «Отнесение энергопринимающих устройств заявителя (потребителя электрической энергии) к определенной категории надежности осуществляется заявителем самостоятельно». В связи с этим перечень электроприемников угольных шахт с отнесением их к группам и классам по допустимому времени перерыва электроснабжения должен быть разработан и утвержден в качестве исходной информации для проектирования систем электроснабжения.

2. Необходимо для каждой шахты определять допустимое время перерыва электроснабжения исходя из горно-геологических и технологических условий шахты, средств механизации проходческих и очистных работ, вида подземного транспорта, в том числе доставки людей к местам работы и на поверхность.

3. Предложена схема бесперебойного электроснабжения электроприемников критической категории при использовании автоматического ввода резерва с использованием независимых источников питания управлением топологией систе-

мы электроснабжения средствами электросетевой автоматики, включая устройства автоматического ввода резерва, независимо от уровня электромагнитной связи питающих линий ЭЭС.

Проведенные исследования позволяют сформулировать общие принципы выбора мощности автономных источников электроэнергии (АИЭ) потребителей угольных шахт в условиях полного прекращения электроснабжения от энергосистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Ершов М. С., Анцифоров В. А., Комков А. Н. Оценка взаимной зависимости источников питания систем промышленного электроснабжения с учетом несимметричных возмущений во внешних электрических сетях // Промышленная энергетика. 2014. № 11. С. 2–7.
3. Ершов М. С., Егоров А. В., Анцифоров В. А., Суржилов А. В. К вопросу о количественной оценке взаимозависимости источников внешнего электроснабжения. // Промышленная энергетика. 2011. № 6. С. 2–6.
4. Ефременко В. М., Скребнева Е. В. Определение допустимого времени перерыва электроснабжения шахтных водоотливных установок [Электронный ресурс] // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В. Н. Фрянова. Новокузнецк, 2020. № 6. С. 302–306.
5. Ефременко В. М., Скребнева Е. В. Определение допустимого времени перерыва электроснабжения шахтных вентиляторных установок [Электронный ресурс] // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В. Н. Фрянова. Новокузнецк, 2020. № 6. С. 306–308.
6. Разумный Ю. Т., Рухлов А. В. Определение аварийной брони электроснабжения угольных шахт методом имитационного моделирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 6. С. 309–314.
7. Ютяев Е. П. Обоснование технологии интенсивной подземной разработки высокогазоносных угольных пластов. Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. Кемерово, 2018.
8. Шевченко Л. А., Левинская С. Н. Газовыделение из отбитого угля при интенсивной отработке угольных пластов. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 1. С. 164–166.
9. Ким Т. Л., Фофанов А. А., Плотников Е. А., Дырдин В. В. Определение интенсивности газовыделения из разрушенного угля / VIII Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции и инновации в науке и производстве», 03 – 04 апреля 2019 г. С. 119–121.
10. Тарасов Б. Г. Прогноз газообильности выработок и дегазации шахт. М. : Недра, 1973 г.
11. «Методические рекомендации по порядку составления планов ликвидации аварий при ведении работ в подземных условиях» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 24 мая 2007 г. № 364).
12. Оголобченко А. С., Мед А. П. Обоснование структуры подсистемы контроля параметров электроснабжения насосных установок главного водоотлива // Автоматизация технологических объектов та процесів. Пошук молодих / Збірник наукових праць XII науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку 14-17 травня 2012 р. Донецьк, ДонНТУ, 2012, С. 190–195.
13. Александров В. И., Авксентьев С. Ю., Махараткин П. Н. Энергоэффективность систем шахтного водоотлива // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 2. С. 253–268.
14. Гришин М. В., Павлов А. Ф. Организационно-правовое обеспечение надежности и безопасности внешнего электроснабжения угольных шахт Кузбасса // Вестник НЦ ВостНИИ. 2018. № 2. С. 23–28.
15. Yan Wang, Hejuan Hu, Xiaoyan Sun, Yong Zhang, Dunwei Gong. Unified operation optimization model of integrated coal mine energy systems and its solutions based on autonomous intelligence. Applied Energy. 2022. Vol. 328. 120106. DOI: 10.1016/j.apenergy.2022.120106.
16. Kirill Varnavskiy, Qing Guang Chen, Fedor Nepsha. Structure orderliness assessment of grid development to improve the reliability of coal mine external electrical power supply // Electric Power Systems Research. 2020. Vol. 183. 106283. DOI: 10.1016/j.epsr.2020.106283
17. Быстрицкий Г. Ф. Установки автономного и резервного электроснабжения // Промышленная энергетика. 2008. № 2. С. 13–23.
18. Backman J. L. H., Kaikko J. Small and Micro Combined Heat and Power (CHP) Systems // Microturbine systems for small combined heat and power (CHP) applications. Текст : электронный. - URL: <https://www.researchgate.net/publication/284506124/>. DOI: 10.1533/9780857092755
19. Гусаров В. А., Кулагин Я. В. Газотурбинные технологии для автономного электроснабжения // Газотурбинные технологии. 2012. № 7. С. 36–38.
20. Турышева А. В. Автономное энергоснабжение нефтегазодобывающих предприятий. Санкт-Петербург : Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. С. 94–96.
21. Терехин А. Н., Слесаренко И. В., Горланов А. В. [и др.] Перспективы развития автономных источников энергоснабжения на базе газопоршневых и газотурбинных двигателей // Двигателестроение. 2007. № 1. С. 30–33.
22. Делков А. В., Мелкозеров М. Г. Проблемы и перспективы создания установок резервного электроснабжения на базе газотурбинных двигателей

© 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, 28)

Скрёбнева 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, 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, 28)

Заявленный вклад авторов:

Ефременко Владимир Михайлович – постановка вопроса исследований;

Скрёбнева Евгения Владимировна – проведение исследований, обработка результатов;

Лебедев Геннадий Михайлович – разработка методики исследований.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-75-84

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

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: evm.kegpp@kuzstu.ru

ENSURING THE TROUBLE-FREE STATE OF COAL MINES IN CASE OF INTERRUPTIONS IN POWER SUPPLY FROM THE POWER SYSTEM



Article info

Received:

05 December 2024

Accepted for publication:

01 March 2025

Accepted:

10 March 2025

Published:

24 March 2025

Keywords: coal mines; trouble-free downtime; trouble-free power supply systems.

Abstract.

The presence of consumers of the first category in terms of uninterrupted power supply in coal mines, including consumers of a special group, ensuring the safe stay of people in underground workings, requires a high level of reliability of power supply to mines from centralized sources. According to the Rules for the Installation of Electrical Installations (EIR), the consumers of electricity of the first category in coal mines include the main and auxiliary ventilation units, the main (in some cases the sectional) drainage, and the human lift. Electricity supply of this category must be carried out from two independent redundant sources of electricity supply. The same requirement is contained in the Decree of the Government of the Russian Federation dated 27.12.2004 No 861 (as amended on 30.01.2021). Both documents require that the time of restoration of power supply does not exceed the time of operation of the automatic switching on of automatic transfer switch (ATS) devices.

According to GOST IEC 62040-3-2009, consumers of a special group include electric receivers of the critical category (ECC), the uninterrupted operation of which can be disrupted with a duration of more than one period of industrial frequency. Such electric receivers at the mine include: devices for automated processing of production, management and financial information, systems for monitoring the state of the mine atmosphere, monitoring the presence and presence of workers underground, communication and warning devices, devices for automated control of technological

processes and others.

The legal requirement for the availability of an autonomous source of power supply at enterprises requires the development of a methodology for determining their capacity. At present, a large number of scientific works are devoted to the development of methods and algorithms for the selection and justification of the use of an autonomous power supply source at industrial enterprises, but there are no practical approaches to the implementation of autonomous power supply to large coal-fired enterprises with a large amount of reserved capacity.

Using the example of a coal mine, the general principles of selecting the capacity of the nuclear power source are considered, which make it possible to formulate the general principles for selecting the capacity of autonomous power supply sources (RES) of consumers of coal mines in conditions of a complete interruption of power supply from the power system. The article proposes one of the options for ensuring the trouble-free state of the mine in the event of an interruption in the power supply from the power system.

For citation: Gerike B.L., Dolzhko D.M., Ludzish V.S., Drozdenko Y.V. Development of a system for monitoring the technical condition of main mine ventilation fans. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2025; 1(177):75-84 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-75-84, EDN: BKHYZK

REFERENCES

1. Abramovich B.N., Sychev Yu.A. Methods and means of ensuring the energy security of industrial enterprises with a continuous technological cycle. 2016; 9:18–22.
2. Ershov M.S., Antsiforov V.A., Komkov A.N. Assessment of Mutual Dependence of Power Sources of Industrial Electric Supply Systems Taking into Account Asymmetrical Disturbances in External Electric Networks. *Industrial energy*. 2014; 11:2–7.
3. Ershov M.S., Egorov A.V., Antsiforov V.A., Surzhikov A.V. On the Question of Quantitative Assessment of the Interdependence of Sources of External Power Supply. *Industrial Energy*. 2011; 6:2–6.
4. Efremenko V.M., Skrebneva E.V. Opređenje permissivnogo vremena elektrosnabzheniya shakhtnykh vodootlivnykh ustanovki [Determination of the permissible time of the break of electric supply of mine watershed installations]. *Journal / Sib. State Industry. University; under the general editorship of V.N. Fryanov. Novokuznetsk*. 2020; 6:302–306.
5. Efremenko V.M., Skrebneva E.V. Opređenje permissivnogo vremena elektrosnabzheniya shakhtnykh fannykh ustanovleniya [Determination of permissible time of interruption of electric power supply of mine fan installations]. *Journal / Sib. State Industry. University; under the general editorship of V.N. Fryanov. Novokuznetsk*. 2020; 6:306–308.
6. Razumny Yu.T., Rukhlov A.V. Determination of emergency armor of power supply of coal mines by the method of simulation modeling. *Mining information and analytical bulletin*. 2014; 6:309–314.
7. Yutyaev E.P. Substantiation of the technology of intensive underground development of high-gas-bearing coal seams. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Kemerovo, 2018.
8. Shevchenko L.A., Levinskaya S.N. Gas Separation from Broken Coal in Intensive Mining of Coal Seams. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2015; 1:164–166.
9. Kim T.L., Fofanov A.A., Plotnikov E.A., Dyrdin V.V. Determination of the intensity of gas emission from destroyed coal. *VIII International Scientific and Practical Conference "Modern Trends and Innovations in Science and Production"*. April 03–04, 2019. Pp. 119–121.
10. Tarasov B.G. Forecast of gas abundance of mine degassing. Moscow: Nedra; 1973.
11. «Methodical recommendations on the procedure for drawing up plans for the elimination of accidents during work in underground conditions» (approved by the order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of May 24, 2007. № 364).
12. Oglobchenko A.S., Med A.P. Substantiation of the structure of the subsystem for monitoring the parameters of power supply of pumping installations of the main drainage. *Automation of technological objects and processes. Poshuk molodykh / Zbirnik naukovykh prats XII naukovu-tekhnicheskoi konferentii aspirantiv ta studentov v m. Donetsku 14-17 travnya 2012*. Donetsk, DonNTU, 2012. Pp. 190–195.
13. Avksentyev V.I., Avksentyev S.Y., Makharatkin P.N. Energy Efficiency of Mine Dewatering Systems. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2017; 2:253–268.
14. Grishin M.V., Pavlov A.F. Organizational and legal support of reliability and safety of external power supply of coal mines in Kuzbass. *Bulletin of NC VostNII*. 2018; 2:23–28.
15. Yan Wang, Hejuan Hu, Xiaoyan Sun, Yong Zhang, Dunwei Gong. Unified operation optimization model of integrated coal mine energy systems and its solutions based on autonomous intelligence. *Applied Energy*. 2022; 328:120106. DOI: 10.1016/j.apenergy.2022.120106.
16. Kirill Varnavskiy, Qing Guang Chen, Fedor Nepsha. Structure orderliness assessment of grid development to improve the reliability of coal mine external electrical power supply. *Electric Power Systems*

Research. 2020; 183:106283.
DOI: 10.1016/j.epr.2020.106283.

17. Bystritsky G.F. Installations of autonomous and reserve electric supply. *Industrial Energy.* 2008; 2:13–23.

18. Backman, J.L.H., Kaikko J. Small and Micro Combined Heat and Power (CHP) Systems // Micro-turbine systems for small combined heat and power (CHP) applications. Text: electronic. URL: <https://www.researchgate.net/publication/284506124/> (date of appeal: 20.02.2021). DOI: 10.1533/9780857092755.

19. Gusarov V.A., Kulagin Y.V. *Gazoturbinnye tekhnologii dlya avtonomnogo elektrosnabzheniya*

[Gasturbinentechnologien für die autonome Stromversorgung]. *Gazoturbinnye tekhnologii.* 2012; 7:36–38.

20. Turysheva A.V. *Autonome Energieversorgung von Öl- und Gasförderunternehmen.* St. Petersburg: Nationale Universität für Bodenschätze "Gorny"; 2015. S. 94–96.

21. Terekhin A.N., Slesarenko I.V., Gorlanov A.V. [et al.] Perspektiven für die Entwicklung autonomer Energiequellen auf der Basis von Gas-kolben- und Gasturbinenmotoren. *Motorenbau.* 2007; 1:30–33.

22. Delkov A.V., Melkozerov M.G. *Aktuelle Probleme der Luftfahrt und der Kosmonautik.* 2010; 6:80–81.

© 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 Vesennyyaya 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, Vesennyyaya 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, Vesennyyaya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation) e-mail: evm.kegpp@kuzstu.ru

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.

