

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА****УДК 621.311****СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ КУЗБАССА****COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS TO IMPROVE THE RELIABILITY  
OF POWER SUPPLY OF COAL MINES IN KUZBASS**

**Глушкива Алиса Игоревна,**  
студентка, e-mail: [alisena94@mail.ru](mailto:alisena94@mail.ru)

**Glushkova Alisa I., student**  
**Долгопол Татьяна Леонидовна,**  
доцент, e-mail: [tdolgopol@yandex.ru](mailto:tdolgopol@yandex.ru)  
**Dolgopol Tatyana L., associate professor**  
**Воробьева Дарья Юрьевна,**  
студентка, e-mail: [dashav07@gmail.com](mailto:dashav07@gmail.com)  
**Vorobeva Daria Y., student**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,  
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28  
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 Vesennaya str., Kemerovo, 650000, Russian Federation

**Аннотация:** В статье проведен сравнительный анализ способов повышения надежности электроснабжения угольных шахт в Кузбассе. На примере одной из действующих шахт Кемеровской области произведен выбор наиболее оптимального и экономичного третьего независимого источника питания, повышающего надежность электроснабжения угольного предприятия. Произведено сравнение целесообразности использования автономных источников электрической энергии и дополнительной линии электропередач для электроснабжения потребителей I категории шахты. Тема научной статьи является актуальной для Кемеровской области.

**Abstract:**

The article analyzes ways to improve the reliability of power supply of coal mines in Kuzbass. The selection of the most optimal and cost saving third independent source of electrical energy, which increases the reliability of power supply for one of the operating mines of the Kemerovo region was made. Also, there was made the comparison of the reasonability of using independent sources of electrical energy and additional power line for the first category consumers mine's power supply. The topic of this scientific paper is relevant for the Kemerovo Region.

**Ключевые слова:** надежность, электроснабжение, дизельный генератор, линия электропередач, газовый генератор, стоимость топлива, категория надежности электроснабжения

**Keywords:** reliability, power supply, diesel generator, power lines, gas generator, fuel costs, category of power supply reliability

По качеству добываемого угля и величине его запасов Кемеровская область является наиболее перспективным регионом Российской Федерации. По оценкам специалистов геологические запасы Кузнецкого угольного бассейна оцениваются более чем в 700 млрд. т, что составляет около 70% всех угольных запасов нашей страны.

По результатам 2015 года в общем объеме добычи угля в России доля кузбасского угля составила 57,8%, из них более 70% – коксующийся уголь.

По состоянию на 01.01.2016 г. в области функционирует 95 угледобывающих предприя-

тий (47 шахт и 48 разрезов) и около 50 обогатительных фабрик. При этом большая часть угля добывается на шахтах – около 70%.

По метанообильности и взрывчатости угольной пыли кузбасские шахты относятся к одним из самых опасных в мире: практически все шахты в регионе – категорийные по газу, а 22 из них – сверхкатегорийные, что требуют особого режима ведения работ, а следовательно высоких требований к обеспечению надежного электроснабжения угольных предприятий.

За последнее время в Кемеровской области наблюдается тенденция увеличения приостановок деятельности угледобывающих предприятий, про-

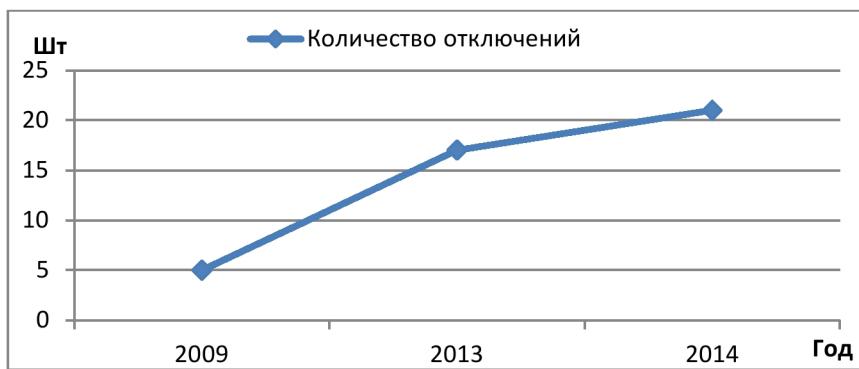


Рис. 1. Количество отключений шахт Кемеровской области  
Fig. 1. The number of mines' shutdowns in Kemerovo region

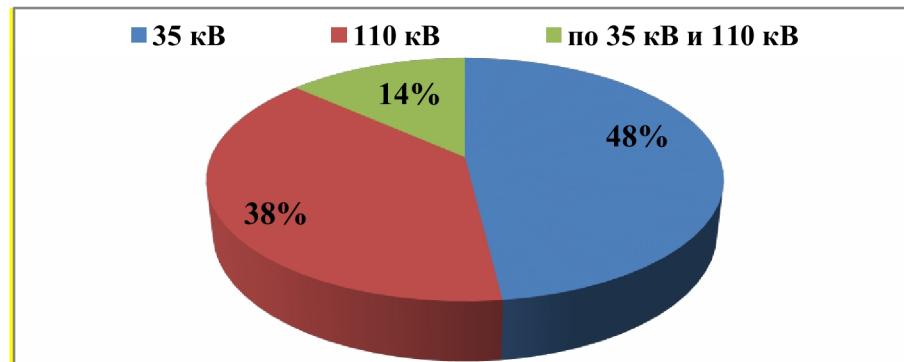


Рис.2. Классы напряжения систем внешнего электроснабжения угольных предприятий Кузбасса  
Fig. 2. The voltage levels of power supply lines of the coal enterprises of Kuzbass

исходящих из-за аварийных отключений электрической энергии (рис.1).

Приведем только несколько примеров прекращения угледобычи на шахтах из-за аварийных ситуаций в системах их внешнего и внутреннего электроснабжения. 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. На шахте «Имени 7 Ноября» в июле 2016 года прохождение грозового фронта вызвало кратковременный перерыв в электроснабжении и остановку главного вентилятора. Прекращение работы главных вентиляторов на шахтах чрезвычайно опасно и требует срочной эвакуации всех людей, работающих по землей. И еще один пример: возгорание трансформатора на поверхности шахты «Есаульская-2» привело к остановке всей шахты. На сегодняшний день вопросы повышения надежности электроснабжения угольных предприятий Кузбасса являются весьма актуальными.

Шахты относятся к первой категории по надежности электроснабжения, так как перерыв в поставке электроэнергии может привести к угрозе жизни и здоровью людей, значительному материальному ущербу.

Основным документом, который устанавливает требования, обеспечивающие при их соблюдении безопасность ведения горных работ и преду-

преждение аварий на угледобывающих предприятиях, являются «Правила безопасности в угольных шахтах» (ПБ). Но в ПБ отсутствуют требования к системам внешнего электроснабжения шахт, и самым высоким классом напряжения, рассматриваемым в данном документе, является напряжение 10 кВ. При этом многие шахты получают питание по линиям более высоких классов напряжения: 35 и 110 кВ. На рис.2 представлена диаграмма, которая показывает процентное соотношение уровней напряжения, используемых во внешнем электроснабжении угольных предприятий Кемеровской области.

Анализ существующих систем внешнего электроснабжения шахт показал, что все предприятия запитаны от двух независимых источников питания, как правило, по двухцепным воздушным линиям, что не противоречит правилам устройства электроустановок, но не обеспечивает требуемой надежности. Кроме этого, многие шахты и разрезы имеют «отпаечные» схемы присоединения, что обуславливает групповое нарушение электроснабжения горных предприятий при аварии только на одной ВЛ. В связи с этим требуется поиск новых методов и подходов к проектированию и реконструкции систем электроснабжения угольных предприятий по подземной добыче угля.

Согласно Постановлению Правительства РФ №861 от 27.12.2004 г. электроснабжение «аварийной брони» на шахтах необходимо осуществлять

от автономных источников питания, то есть часть электроприемников горного предприятия фактически отнесена к особой группе по надежности электроснабжения. И хотя в Постановлении Правительства РФ идет речь об автономном источнике питания, но согласно требованиям ПУЭ электроприемники особой группы по надежности электроснабжения должны быть питаны от трех независимых источников питания. Функцию третьего независимого источника питания может выполнять отдельная питающая линия от другой подстанции территориальной сетевой организации.

На примере шахты «Грамотеинская» произведем сравнительный анализ наиболее экономичного и эффективного способа обеспечения надежного электроснабжения шахты за счет использования третьего независимого источника питания. Шахта расположена в районе поселка Грамотеино и получает питание по двухцепной линии напряжением 35 кВ от подстанции «Колмогоровская» - 110/35 кВ.

Аварийной броней электроснабжения считается наименьшая мощность (минимальный расход электроэнергии), обеспечивающая безопасное состояние предприятия с полностью остановленным технологическим процессом как для работников, так и для окружающей среды. Следовательно, на шахтах к электроприемникам аварийной брони относятся те, которые обеспечивают длительный безаварийный простой горного предприятия. Анализ технологических процессов показал, что на шахтах к ним относятся: вентилятор главного проветривания, вспомогательный аварийный вентилятор, главный и перекачной водоотливы, клетевой людской подъем, механизмы котельной для ее работы с наименьшей необходимой производительностью в зимнее время, противопожарная насосная и другие потребители.

Рассчитанная величина аварийной брони для шахты «Грамотеинская» с учетом коэффициентов использования электроприемников и одновременности их работы составила 5 МВт. Произведен оценку стоимости автономных источников и централизованного электроснабжения от ближайших к шахте подстанций со свободной мощностью для подключения потребителей.

В условиях Сибири оптимальным является использование в качестве автономных источников питания газогенераторных и дизельных установок. В Кузбассе уже имеется опыт эксплуатации газогенераторных установок. В 2008 г. на шахте им. С.М. Кирова реализован один из проектов по использованию шахтного метана в рамках реализации Киотского протокола. На шахте была запущена вакуумно-насосная установка, обеспечивающая добычу метана, и установлен газогенератор мощностью 3 МВт.

Но из-за отсутствия гарантированного поступления шахтного метана использовать газоген-

нераторные установки для электроснабжения аварийной брони проблематично. К тому же безопасная эксплуатация газогенераторных установок потребует от потребителя больших денежных вложений на поддержание установки в удовлетворительном состоянии, так как потребуется постоянная смена фильтров для очистки метана.

Анализ дизельных установок промышленного назначения, реализуемых на российском рынке, показал, что самые низкие цены у компании «Бриз Моторс», которая поставляет дизельные электростанции (ДЭС) мощностью от 4 до 50 МВт итальянского концерна FPT Industrial и других зарубежных производителей. Модели и цены дизельных электростанций мощностью 5 МВт некоторых фирм приведены в табл. 1.

Таблица 1. Стоимость дизельных электростанций мощностью 5 МВт

Table 1. The cost of 5 MW diesel-engine power plants

Наименование фирмы	Модель (ДЭС)	Цена, €
FPT Industrial	M.2000	759 000
Cummins	C.2030	1 056 000
MTU	MT.3050	1 584 000

На расстоянии 15 км от ш. «Грамотеинская» находится подстанция «Цинкзаводская» - 110/6 кВ с резервом мощности для технологического присоединения даже в аварийном режиме – 6,42 МВт. Анализ результатов замеров степени загрузки трансформаторов данной подстанции за последние 5 лет показал, что она чуть более 30%. Следовательно, от подстанции «Цинкзаводская» возможно построить воздушную линию напряжением 6 кВ, чтобы обеспечить шахту «Грамотеинская» третьим независимым источником питания. Оценка местности при выборе трассы для питающей линии показала, что ВЛ может быть сооружена по прямой траектории и ее длина составит не более 15 км.

Частыми причинами аварийного отключения ВЛ, выполненных голыми проводами, являются: схлест проводов при порывах ветра (междуфазные короткие замыкания), обрыв проводов при гололедных явлениях, замыкания на землю при перекрытии изоляторов. Для обеспечения большей надежности системы внешнего электроснабжения шахты рассмотрим два варианта конструктивного выполнения ВЛ-6: голыми проводами и изолированными.

В табл. 2 представлены результаты расчета стоимости строительства воздушной линии и приобретения дизельной и газотурбинной установок.

Таким образом, самым дорогостоящим и проблематичным в эксплуатации является вариант с газовой электростанцией, несмотря на наличие на шахтах собственного энергоресурса – газа метана. Как следует из гистограммы, использование изолированного провода увеличивает затраты на со-

оружение воздушной линии почти в 2,5 раза по сравнению с традиционными голыми проводами, но приобретение дизельной электростанции обойдется предприятию дороже почти на порядок (более чем в 8 раз), чем строительство ВЛ с СИП.

Для более корректного сравнения вариантов по выбору третьего независимого источника питания необходимо оценить стоимость электрической энергии и дизельного топлива за 1 час работы электроприемников аварийной брони (табл.3).

Таблица 2. Стоимость независимого источника питания шахты  
Table 2. The cost of an independent source of mine's power supply

Наименование	Ставка, руб./кВт	Стоимость, руб.
<b>Стоимость технологического присоединения</b>		
Проверка сетевой организацией выполнения Заявителем технических условий (ТУ)	1,31	11 750,70
Участие сетевой организации в осмотре должностным лицом органа федерального государственного энергетического надзора присоединяемых Устройств Заявителя	0,45	4 036,50
Подготовка и выдача сетевой организацией технических условий Заявителю	1,76	15 787,20
Участие в осмотре должностным лицом Ростехнадзора присоединяемых Устройств Заявителя	0,45	4 036,50
Фактические действия по присоединению и обеспечению работы Устройств в электрической сети	5,31	47 630,70
<b>Итого</b>		<b>83 241,60</b>
<b>Стоимость строительства ВЛ</b>		
Стандартизированная тарифная ставка на покрытие расходов на строительство воздушных линий электропередачи в расчете на 1 км линии 10 (6) кВ	4999	74 857,50
Строительство ВЛ – 6 кВ с проводом СИП-3	404995,26 руб/км	6 074 929
<b>Итого для ВЛ – 6 кВ с проводом СИП-3:</b>		<b>6 233 028,10</b>
Строительство двухцепной ВЛ на железобетонных опорах с применением голых проводов (АС-95)	168530,90	2 527 963,50
<b>Итого для ВЛ – 6 кВ с голыми проводами (АС-95):</b>		<b>2 686 062,60</b>
Дизельная электростанция М.2000	-	<b>51 634 770</b>
Газовая электростанция Tedom Quanto D2000, Чехия	-	<b>108 074 525</b>

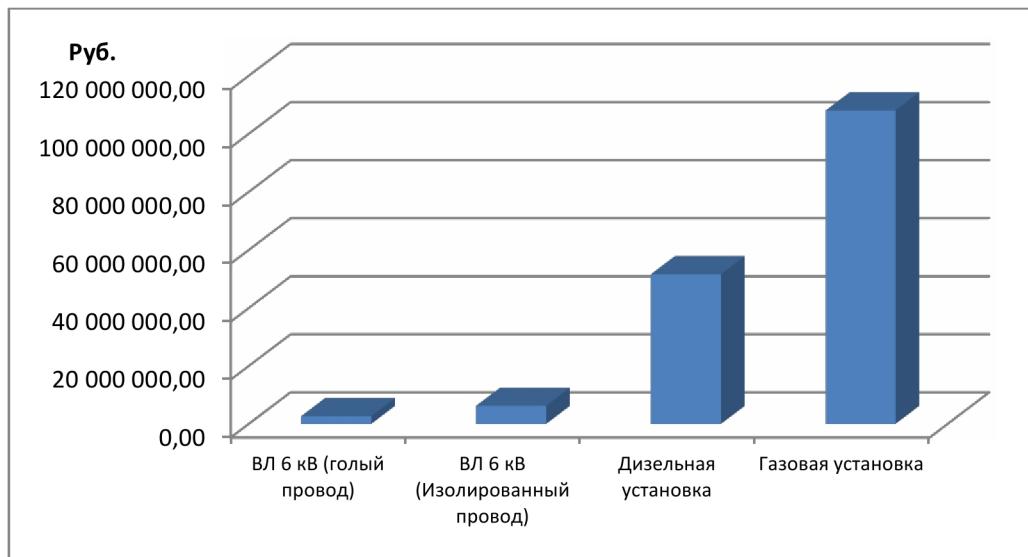


Рис. 3. Стоимость третьего независимого источника питания  
Fig. 3. The cost of the third independent source of electrical energy

Таблица 3. Анализ экономических затрат на электроэнергию и топливо  
Table 3. Analysis of the economic costs of electricity and fuel

Наименование	Стоимость	Расход	Итого, руб.
Электрическая энергия	1,59 руб./кВт·ч	5000 кВт·ч	7 950
Дизельное топливо	33 руб./л	399 л/час	13 167

Таким образом, использование автономного источника питания является более затратным и в эксплуатации из-за почти в 2 раза большей стоимости дизельного топлива. Согласно расчетам (табл. 2), стоимость технологического присоединения составляет менее 1,5% от стоимости сооружения питающей линии при длине 15 км и соотношение будет еще меньше с увеличением протяженности ВЛ. Следовательно, при выборе централизованного источника питания аварийной брони шахты цена вопроса, в основном, зависит от длины питающей линии, а не от нагрузки этой группы потребителей. При выборе автономного источника питания, напротив, цена будет определяться мощностью потребителей, обеспечивающих нормальное функционирование шахты. Только при длине питающей линии более 120 км затраты на авто-

номный источник питания и сооружение ВЛ станут одинаковыми, но следует учесть, что при такой удаленности шахты от источника питания экономически целесообразно использовать более высокие классы напряжения – 35 или 110 кВ, а следовательно, тарифы на электроэнергию будут меньше. Безальтернативен выбор автономного источника питания только при отсутствии на подстанциях территориальной сетевой компании свободной мощности для подключения потребителей.

Таким образом, с точки зрения финансовых затрат использование в качестве третьего независимого источника питания для шахт воздушной линии является намного эффективней и экономически целесообразней автономных источников электрической энергии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок – 7-е изд.: Мин-во энергетики РФ, 2003. – 136 с.
2. Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг и т.д. [Текст]: Постановление Правительства РФ от 27.12.2004 №861.
3. О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии [Текст]: Постановление Правительства РФ от 4 мая 2012 № 442 (ред. от 22.02.2016) // Собрание законодательства РФ, 2012. – №23. – ст.3008.
4. Тарифное меню по ТП (2016). Филиал ПАО «МРСК Сибири» - «Кузбассэнерго - РЭС».
5. Савинкин, А. «Электроснабжение угольных шахт» / НПЦ «ВостНИИ», май 2015 г.
6. Аварии на шахтах Кузбасса в 2010-2014 годах [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://ria.ru>.
7. Родак, О.А. «Повышение надежности систем электроснабжения угольных шахт» // сб. ст. участников IX Международной научно-практической конференции «Иновации в технологиях и образовании», 18-19 марта 2016 г.: / Филиал КузГТУ в г. Белово. – Белово: Изд-во филиала КузГТУ в г. Белово, Россия; Изд-во ун-та «Св. Кирилла и Св. Мефодия», Велико Тырново, Болгария, 2016. – с.191-193.

## REFERENCES

1. Regulations for Electrical Installation – 7 th ed.: The Ministry of Energy of the Russian Federation, 2003. – 136 p.
2. On approval of rules of non-discriminatory access to electricity transmission and rendering of these services, etc. [text]: Resolution of the RF Government from 27.12.2004 №861.
3. On the functioning of retail electricity markets, the full and (or) partial restriction mode electric power consumption [Text]: Resolution of the Russian Government dated May 4, 2012 № 442 (as amended on 02.22.2016.) // Meeting of the legislation of 2012. RF. - number 23. - st.3008.
4. Tariff menu for grid connection (2016). Branch of PJSC "Interregional Distribution Company of Siberia" - "Kuzbassenergo - RES".
5. Savinkin, A. "Power supply of coal mines" / SPC "VostNII", May 2015
6. Accidents in the Kuzbass mines in 2010-2014 [electronic resource] / Access: <https://ria.ru>.
7. Rodak, O. A. "Improving the reliability of power supply systems of coal mines"// collection of articles of participants of the IX International scientific-practical conference "Innovations in technology and education", March 18-19, 2016 / Branch KuzGTU in Belovo. White: publishing house of branch KuzGTU in Belovo, Russia; publishing house of University "SV. Cyril and SV. Methodius", Veliko Tarnovo, Bulgaria, 2016. – S. 191-193.

Поступило в редакцию 7.11.2016

Received 7 November 2016