

УДК 622.012.2:621.311

## ТЕХНИЧЕСКИЙ АУДИТ СЕТЕЙ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

### TECHNICAL AUDIT OF EXTERNAL POWER SUPPLY NETWORKS OF COAL MINES IN THE KEMEROVO REGION

Захаров Сергей Александрович,

e-mail: seza1@mail.ru

Zakharov Sergei A.

Воронин Вячеслав Андреевич,

доктор техн. наук, профессор, e-mail: voroninva670@yandex.ru

Voronin Vyacheslav A., Dr. Sc., Professor

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,  
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University Kemerovo, Russian Federation

**Аннотация.** За последние четыре года в энергосистеме Кемеровской области произошел ряд крупных аварий – на подстанции (ПС) 220 кВ Ускатская, воздушной линии (ВЛ) 110 кВ Беловская – Ново-Ленинская, приведших к отключению опасных производственных объектов – угольных шахт и разрезов. Данные события показали уязвимость систем внешнего электроснабжения угольных предприятий, а отсутствие на большинстве шахт Кемеровской области резервных источников питания привело к остановке электроприемников I категории надежности, что создало угрозу возникновения аварий на самих угольных шахтах. В статье рассматривается проблема низкой надежности внешнего электроснабжения угольных предприятий. Выполнен обзор ряда крупных аварий в энергосистеме Кемеровской области. Охарактеризована опасность полного погашения угольных шахт. Для снижения вероятности отключений таких объектов и повышения уровня промышленной безопасности авторами предложено проведение технических аудитов сетей внешнего электроснабжения угольных предприятий, результатом которых является разработка комплекса мероприятий по повышению надежности электроснабжения угольных шахт.

**Abstract.** Over the past four years in the power system of the Kemerovo region there has been a number of major accidents (at the substation 220 kV Uskatskaya, the power line 110 kV Belovskay – Novo-Leninskay), that have led to blackouts of hazardous industrial facilities – coal mines and open pits. These events have demonstrated the vulnerability of the external power supply system of coal enterprises. The absence of standby power sources in most of the mines in the Kemerovo region has led to stopping of essential loads which created a threat of an accident in the coal mines themselves. The paper deals with the problem of low reliability of external power supply of coal enterprises. An overview is given of several major accidents in the power system of the Kemerovo region. The risks of total power blackout of coal mines are described. To reduce the probability of power outages and to increase the level of industrial safety, the authors suggested to conduct technical audits of external power supply networks of coal enterprises. The result of technical audits is the development of an action plan to improve the coal mines power supply reliability.

**Ключевые слова:** авария; технический аудит; угольные шахты; надежность электроснабжения; резервный источник питания

**Keywords:** accident; technical audit; coal mines; reliability of power supply; backup power supply.

#### Введение

Надежность электроснабжения определяется множеством факторов, важнейшими из которых являются схема электрических соединений и резервирование [1-3]. Объекты, присоединенные к центру питания по схемам с низким уровнем надежности (например, тупиковым) рискуют рано или поздно оказаться обесточенными. Недавние события в Крыму, когда в результате повреждения линий электропередачи без электроэнергии остались почти два миллиона человек, лишний раз это

подтверждают. Столь тяжелые последствия аварии обусловлены тем, что Крымский полуостров снабжался электроэнергией в тупиковом режиме без резервирования.

Электроснабжение Кемеровской области отличается большей степенью резервирования. Оно осуществляется за счет собственной генерации и перетоков мощности из энергосистем соседних регионов. Однако авария на крупном энергетическом объекте (подстанция 500 кВ, электростанция) может привести к масштабным отключениям

потребителей. Особенностью энергосистемы Кемеровской области является большое количество присоединенных к ней опасных производственных объектов – угольных шахт и разрезов. В связи с этим системные аварии, сопровождающиеся массовым отключением потребителей Кемеровской области, могут привести к катастрофическим последствиям.

Цель статьи – разработка методики технического аудита сетей внешнего электроснабжения и обоснование необходимости его проведения на угольных шахтах Кемеровской области.

#### Объект исследования

Объектом исследования в данной работе являются угольные шахты Кемеровской области. Рассматривается система внешнего электроснабжения горных предприятий, которая включает в себя электроустановки, обеспечивающие передачу электрической энергии от центров питания до главной понизительной подстанции предприятия (подстанции, распределительные устройства, ли-

ния электропередачи).

Для обоснования актуальности рассматриваемой темы анализируется ряд крупных аварий на объектах энергосистемы Кемеровской области.

#### Результаты и обсуждение

Угольные и горнорудные предприятия относятся к категории потребителей, ограничение режима потребления электроэнергии которых может привести к экономическим, экологическим и социальным последствиям [4]. Перебои в электроснабжении данных объектов могут быть связаны не только со значительными экономическими убытками, но также и с угрозой для жизни и здоровья людей и окружающей природной среды. Так, согласно исследованиям [7, 8], наибольшее количество аварий происходит в шахтах Кемеровской области, причинами которых являются, в том числе отключение электрической энергии. Перерывы в электроснабжении шахты создают реальные предпосылки для возникновения аварий.

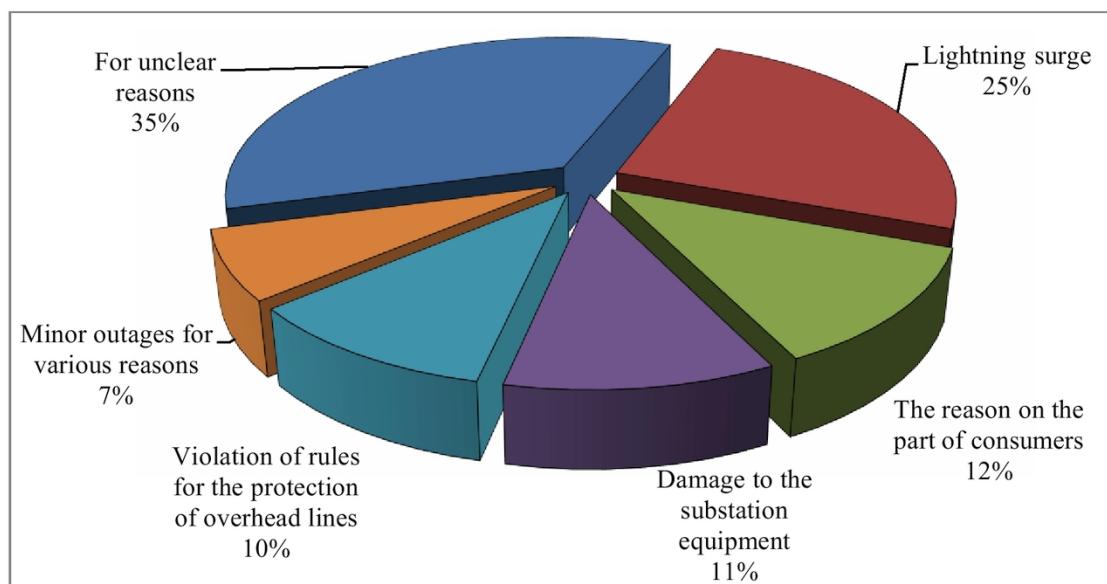


Рисунок 3 – Причины отключений в электрических сетях 110 кВ Кемеровского района за 10 лет по данным [12]

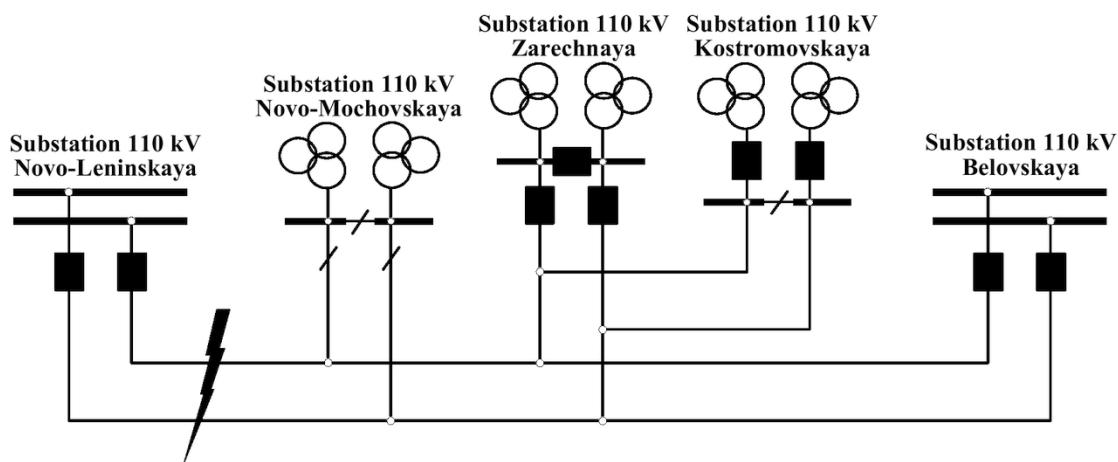


Рисунок 4 – Схема ВЛ 110 кВ Беловская – Ново-Ленинская

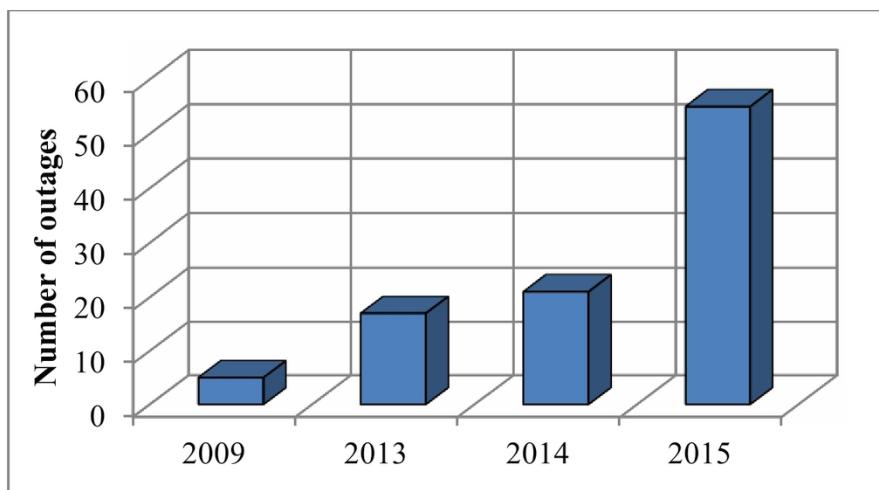


Рисунок 1 – Количество отключений угольных шахт Кемеровской области

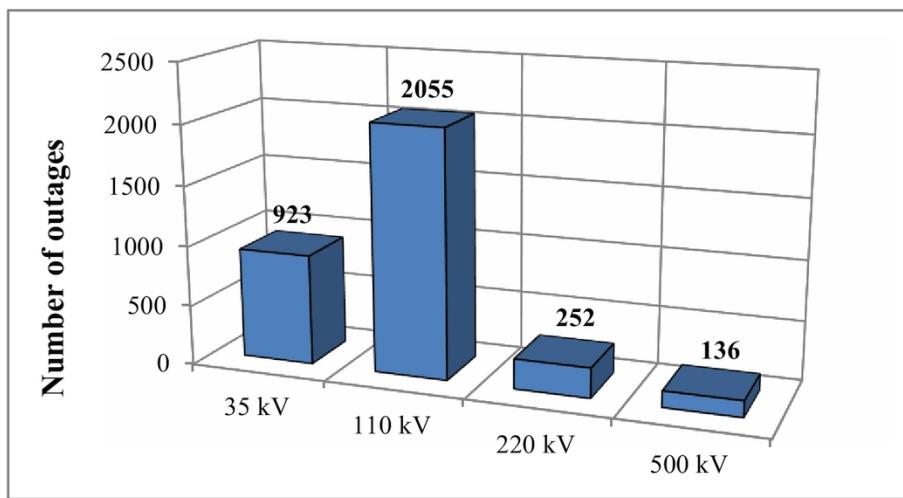


Рисунок 2 – Диаграмма количества отключений в электрических сетях Кемеровского района за 10 лет по данным [12]

В число шахтных электроприемников входят потребители особой группы первой категории надежности, а особенности технологического процесса добычи угля требуют наличия аварийной и технологической брони электроснабжения [9, 10] «Жизненно важные» электроприемники шахты, обеспечивающие безопасные условия труда (вентиляторы проветривания, водоотливной комплекс, подъемные установки и т.д.) должны постоянно находиться в работе и входить в состав аварийной и технологической брони электроснабжения. Ограничение режима потребления электроэнергии угольных предприятий ниже уровня аварийной брони не допускается. Однако даже при наличии согласованного акта аварийной и технологической брони при возникновении внегламентных отключений, вследствие повреждения электросетевого оборудования в энергосистеме или действия противоаварийной автоматики, передача электрической энергии опасному производственному объекту может оказаться невозможной. В таких случаях на угольном предприятии для питания электроприемников аварийной

брони должны быть задействованы автономные резервные источники питания [4-6]. Однако на подавляющем большинстве угольных шахт Кемеровской области автономные источники питания отсутствуют. В связи с этим любое технологическое нарушение в системе внешнего электроснабжения угольного предприятия представляет для него большую опасность.

В энергосистеме Кемеровской области нередко происходят аварии, приводящие к ограничению режима электроснабжения угольных предприятий. За последние годы количество таких аварий резко возросло. Так, в 2009 году произошло пять отключений угольных шахт, в 2013 году – семнадцать отключений, в 2014 году – двадцать одно отключение, а в 2015 года – пятьдесят пять отключений [11] (рис. 1).

Согласно исследованиям [12], наибольшее число аварийных отключений наблюдается в электрических сетях 110 кВ (рис. 2). Отключения могут происходить по различным причинам, но чаще всего связаны с грозовыми перенапряжениями (рис. 3). Во внутренних системах электро-

снабжения горных предприятий основными причинами аварийных отключений воздушных линий являются обрывы проводов, разрушение изоляторов и падение деревьев на провода воздушных линий [13, 14].

За последние четыре года наиболее серьезными случаями нарушения электроснабжения угольных шахт Кемеровской области стали [15]:

- Остановка шести шахт 19 октября 2012 года в результате повреждения трансформатора подстанции Западно-Сибирского металлургического комбината (эвакуация 294-х человек подземного персонала).

- Остановка вентиляторов проветривания на двух шахтах 16 июля 2013 года в результате отключения трансформатора на ПС Польсаевская-3.

- Отключение главного вентилятора проветривания на шахте «Осинниковская» 15 сентября 2013 года по причине нарушения внешнего электроснабжения шахты (эвакуация 278-и человек подземного персонала).

Наиболее масштабная авария произошла 26 января 2014 года на двухцепной воздушной линии ВЛ 110 кВ Беловская – Ново-Ленинская. В результате обрыва грозотроса ВЛ 220 кВ Беловская ГРЭС – Восточная и его падения на провода линии ВЛ Беловская – Ново-Ленинская (рис. 4) произошло ее аварийное отключение. Авария привела к остановке семи угольных предприятий и эвакуации более 1000 человек подземного персонала. Ранее на данной линии также имела место крупная авария. 28 мая 2002 года по причине урагана обрушилась опора, в результате чего остались без электроснабжения четыре угольные шахты [16, 17].

Последняя крупная авария произошла 4 апреля 2015 года на ПС 220 кВ Ускатская в результате пожара на автотрансформаторе АТ-2 (рис. 5). Для безопасности работ при тушении пожара АТ-1 также был отключен. Авария привела к полному погашению подстанции Ускатская, в результате чего оказались обесточены девять подстанций 110 кВ и семь подстанций 35 кВ, среди которых есть подстанции опасных производственных объектов. Электроснабжения лишились две угольные шахты, персонал которых пришлось эвакуировать. Частично восстановить электроснабжение потребителей удалось только спустя шесть часов от ПС Северный Маганак через ПС Степная и далее на РУ 110 кВ ПС Ускатская (рис. 5). После чего подстанциям угольных предприятий было разрешено включить фидеры, питающие водоотлив и вентиляцию. Ликвидация аварии заняла порядка 11-ти часов и обошлась без серьезных инцидентов на обесточенных шахтах.

Собственники угольных предприятий не всегда должным образом осознают всю опасность сложившейся ситуации. Нарушения внешнего электроснабжения с полным погашением угольных шахт провоцируют возникновение аварийных

ситуаций с возможными человеческими жертвами. Ответственность за данные события будет лежать на собственнике, в связи с отсутствием резервного источника питания для электроприемников аварийной брони, необходимость которого регламентирована нормативными документами [4-6]. Для решения данной проблемы и обеспечения безопасных условий труда на угольных шахтах Кемеровской области необходимо проведение технических аудитов.

Технический аудит представляет собой независимую, комплексную, документированную оценку соблюдения аудируемым предприятием требований нормативных документов и подготовку рекомендаций по улучшению такой деятельности. Основная задача технического аудита – показать собственнику угольного предприятия объективную картину уровня надежности электроснабжения шахты и основные способы его повышения. Конечной целью является снижение вероятности полного погашения угольной шахты с отключением электроприемников аварийной брони.

Для стандартизации порядка проведения технических аудитов и определения общих этапов их выполнения коллективом кафедры «Электроснабжения горных и промышленных предприятий» КузГТУ была разработана «Методика проведения технического аудита сетей внешнего электроснабжения угольных шахт Кемеровской области».

Технический аудит состоит из двух основных этапов:

1. Анализ фактического уровня надежности внешнего электроснабжения шахты.

2. Разработка комплекса мероприятий, направленных на повышение надежности электроснабжения.

На первом этапе осуществляется анализ проектной, исполнительной и эксплуатационной документации, применяемой при эксплуатации электроустановок (подстанций, распределительных устройств, воздушных и кабельных линий электропередачи), обеспечивающих передачу электрической энергии от центров питания до шахтной подстанции. Основной целью данного этапа является выявление слабых мест системы внешнего электроснабжения угольной шахты и анализ возможности возникновения аварийных ситуаций.

Кроме того, на первом этапе аудита затрагиваются элементы системы внутреннего электроснабжения шахты: анализируется система диспетчерского управления, проверяется правильность организации электроснабжения потребителей особой группы первой категории надежности.

Далее на основании, выявленных на первом этапе, нарушений выполняется разработка технических решений, направленных на устранение имеющихся недостатков. Предлагаемые технические решения главным образом должны быть направлены на повышение надежности схемы

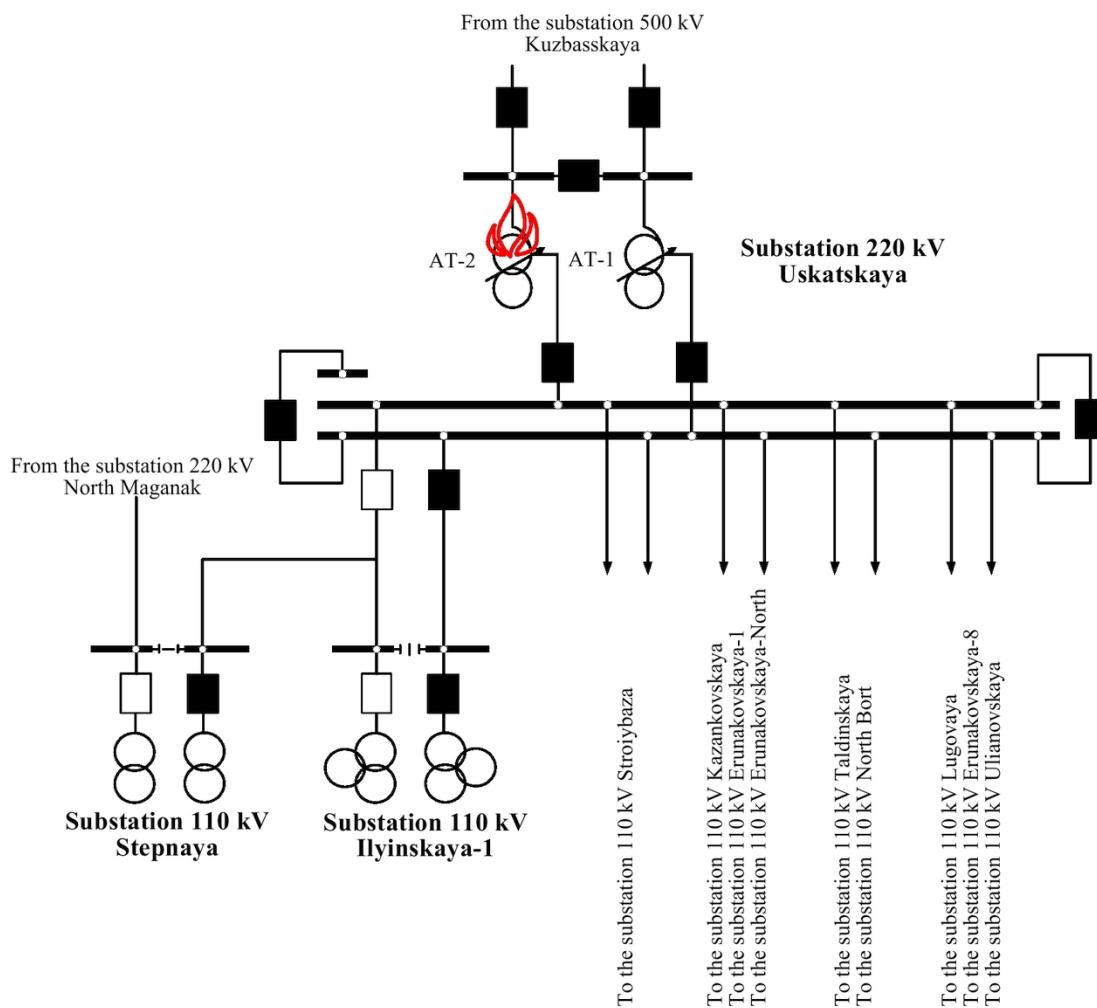


Рисунок 5 – Послеаварийная схема ПС 220 кВ Ускатская (в упрощенном виде)

присоединения шахтной подстанции к энергосистеме и организацию резервного электроснабжения шахты.

Резервное электроснабжение может осуществляться как от автономных источников питания (например, дизельной электростанции), так и по отдельной линии от источника питания в энергосистеме, независимого от режима работы основных центров питания шахты.

Выбор конкретного технического решения выполняется индивидуально для каждого аудируемого предприятия.

Особый акцент при выполнении технического аудита ставится на технико-экономическом обосновании предложенных решений. Для повышения заинтересованности собственников угольных предприятий в проведении технического аудита и реализации предложенного комплекса мероприятий, в итоговом отчете в явном виде должен быть отражен экономический эффект от их реализации, основанный на снижении величины ожидаемого экономического ущерба от нарушений электроснабжения.

### Заключение

Высокая аварийность электрических сетей энергосистемы Кемеровской и отсутствие резервных источников питания на угольных шахтах создают угрозу полного погашения опасных производственных объектов, что провоцирует возникновение на них аварийных ситуаций. Для обеспечения безопасных условий труда на угольных предприятиях Кемеровской области необходимо проведение технического аудита их внешнего электроснабжения.

В результате проведения технического аудита собственник угольного предприятия получает объективную информацию об уровне надежности электроснабжения шахты, рисках возникновения аварийных ситуаций и возможных вариантах их устранения.

На основании чего он может принять соответствующие меры (корректировка инвестиционной программы, заказ проектных работ и т.д.) по реализации предложенных мероприятий по повышению надежности электроснабжения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fortov, V. E. Global energy security: Problems and solutions / V. E. Fortov, A. A. Makarov, T. A. Mitrava // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. – 2007, Volume 77, Issue 1, P. 7-14.
2. D'yakov, A. F. Ways to enhance the reliability of power supply in Russia / A. F. D'yakov // *Herald of the Russian Academy of Sciences*, – 2012, Volume 82, Issue 2, P. 90-101.
3. Khudyakov, V. V. Increasing the reliability of electric networks / V. V. Khudyakov // *Russian Electrical Engineering*, – 2011, Volume 82, Issue 9, P. 455-459.
4. Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 № 442 (ред. от 04.09.2015) "О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии" (вместе с "Основными положениями функционирования розничных рынков электрической энергии", "Правилами полного и (или) частичного ограничения режима потребления электрической энергии") // СПС КонсультантПлюс.
5. Приказ Минэнерго России от 06.06.2013 № 290 "Об утверждении Правил разработки и применения графиков аварийного ограничения режима потребления электрической энергии (мощности) и использования противоаварийной автоматики" (Зарегистрировано в Минюсте России 09.08.2013 N 29348) // СПС КонсультантПлюс.
6. Постановление Правительства РФ от 27.12.2004 № 861 (ред. от 30.09.2015) "Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам администратора торговой системы оптового рынка и оказания этих услуг и Правил технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям" // СПС КонсультантПлюс.
7. Костогрызов, А.И. Основы противоаварийной устойчивости угольных предприятий / А.И. Костогрызов, В.Н. Костеренко, А.Н. Тимченко и др. – М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2014. – 336 с.
8. Тугуз, Ш.М. Состояние промышленной безопасности на предприятиях угольной промышленности в 2006 г. / Тугуз Ш.М. // Безопасность труда в промышленности, 2007. – № 3. – С. 42-45.
9. Методика определения аварийной и технологической брони электроснабжения предприятий угольной промышленности. – Москва, 1989. – 161 с.
10. Электрификация горного производства / под. ред. Л.А. Пучкова, Г.Г. Пивняка. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2007. – Т. 1. – 511 с.
11. Савинкин, А. Электроснабжение угольных шахт / А. Савинкин // Уголь Кузбасса, 2015. – №3. – С. 54.
12. Сарычев, И.В. Анализ отключений в электрических сетях Кемеровского района / Сарычев И.В. // Вестник КузГТУ, 2005. – № 3. – С. 15-17.
13. Захарова, А.Г. Эксплуатационная надежность стационарных электрических сетей угольных разрезов Кузбасса / А.Г. Захарова, Н.М. Шаурова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2008. – №4. – С. 56-58.
14. Захарова, А.Г. Влияние конструктивных и технико-эксплуатационных факторов на надежность воздушных линий электропередачи угольных разрезов / А.Г. Захарова, Н.М. Шаурова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 1. – С. 110-113.
15. Матвеев, В.Н. К вопросу о надежности электроснабжения угольных шахт Кузбасса / В.Н. Матвеев, К.А. Варнавский // Материалы III междунар. науч.-практ. конф. Современные тенденции и инновации в науке и производстве, Междуреченск, 2-4 апреля 2014 г. – Кемерово, 2014. – С. 62-63.
16. Ярош, А.С. Некоторые проблемные вопросы электроснабжения угольных предприятий Кузбасса / А.С. Ярош, О.В. Наумов, Д.С. Кудряшов // Безопасность труда в промышленности, 2014. – № 8. – С. 69-71.
17. Кудряшов, Д.С. О надежности электроснабжения угольных предприятий Кузбасса / Д.С. Кудряшов // Материалы I Всерос. науч.-практ. конф. Энергетика и энергосбережение: теория и практика, Кемерово, 3-5 декабря 2014 г. [Электронный ресурс]. – Кемерово, 2014

## REFERENCES

1. Fortov, V. E. Global energy security: Problems and solutions / V. E. Fortov, A. A. Makarov, T. A. Mitrava // *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2007, Volume 77, Issue 1, P. 7-14
2. D'yakov, A. F. Ways to enhance the reliability of power supply in Russia / A. F. D'yakov // *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2012, Volume 82, Issue 2, P. 90-101

3. Khudyakov, V. V. Increasing the reliability of electric networks / V. V. Khudyakov // *Russian Electrical Engineering*, – 2011, Volume 82, Issue 9, P. 455-459
4. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 04.05.2012 № 442 (red. ot 04.09.2015) "O funktsionirovaniyu roznichnykh rynkov elektricheskoy energii, polnom i (ili) chasticnom ogranicenii rezhima potrebleniya elektricheskoy energii" (vmeste s "Osnovnymi polozheniyami funktsionirovaniya roznichnykh rynkov elektricheskoy energii", "Pravilami polnogo i (ili) chasticnogo ograniceniya rezhima potrebleniya elektricheskoy energii") // SPS Konsul'tantPlyus.
5. Prikaz Minenergo Rossii ot 06.06.2013 № 290 "Ob utverzhdenii Pravil razrabotki i primeneniya grafov avariynogo ograniceniya rezhima potrebleniya elektricheskoy energii (moshchnosti) i ispol'zovaniya protivoavariynoy avtomatiki" (Zaregistrirовано в Министерстве энергетики Российской Федерации 09.08.2013 № 29348) // SPS Konsul'tantPlyus.
6. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 27.12.2004 № 861 (red. ot 30.09.2015) "Ob utverzhdenii Pravil nediskriminatsionnogo dostupa k uslugam po peredache elektricheskoy energii i okazaniyu etikh uslug, Pravil nediskriminatsionnogo dostupa k uslugam po operativno-dispatcherskomu upravleniyu v elektroenergetike i okazaniyu etikh uslug, Pravil nediskriminatsionnogo dostupa k uslugam administratora torgovoy sistemy optovogo rynka i okazaniyu etikh uslug i Pravil tekhnologicheskogo prisoedineniya energoprinimayushchikh ustroystv potrebiteley elektricheskoy energii, ob"ektov po proizvodstvu elektricheskoy energii, a takzhe ob"ektov elektrosetevogo khozyaystva, prinadlezhashchikh setevym organizatsiyam i inym litsam, k elektricheskim setyam" // SPS Konsul'tantPlyus.
7. Kostogryzov, A.I. Osnovy protivoavariynoy ustoychivosti ugor'nykh predpriyatiy [Fundamentals of emergency stability of coal enterprises] / A.I. Kostogryzov, V.N. Kosterenko, A.N. Timchenko etc. – Moscow: Publishing «Gornoe delo» Ltd «Kimmeriyskiy tsentr», 2014. 336 P.
8. Tuguz, Sh.M. Sostoyanie promyshlennoy bezopasnosti na predpriyatiyakh ugor'nyoy promyshlennosti v 2006 g. [Status of industrial safety in the coal industry in 2006] / Tuguz Sh.M. // *Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Occupational safety in industry]*, 2007. No 3. P. 42-45.
9. Metodika opredeleniya avariynoy i tekhnologicheskoy broni elektrosnabzheniya predpriyatiy ugor'nyoy promyshlennosti [Methods of determining the emergency and technological reservation of power supply in the coal industry]. – Moscow, 1989. 161 P.
10. Elektrifikatsiya gornogo proizvodstva [Electrification of mining industry] / ed. L.A. Puchkova, G.G. Pivnyaka. – Moscow: Publishing of Moscow State Mining University, 2007. T.1. 511 P.
11. Savinkin, A. Elektrosnabzhenie ugor'nykh shakht [Electrical supply of coal mines] / A. Savinkin // *Ugor' Kuzbassa [Kuzbass coal]*, 2015. No 3. P. 54.
12. Sarychev, I.V. Analiz otklyuchenii v elektricheskikh setyakh Kemerovskogo rayona [Analysis of outages in power grids of the Kemerovo region] / Sarychev I.V. // *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta*, 2005. No 3. P. 15-17.
13. Zakharova, A.G. Ekspluatatsionnaya nadezhnost' statsionarnykh elektricheskikh setey ugor'nykh razrezov Kuzbassa [The operational reliability of stationary electrical networks of Kuzbass coal mines] / A.G. Zakharova, N.M. Shauleva // *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta*, 2008. No 4. P. 56-58.
14. Zakharova, A.G. Vliyanie konstruktivnykh i tekhniko-ekspluatatsionnykh faktorov na nadezhnost' vozdushnykh liniy elektroperedachi ugor'nykh razrezov [Influence of design, technical and operational factors on the reliability of overhead power lines of coal mines] / A.G. Zakharova, N.M. Shauleva // *Vestnik KuzGTU [Kuzbass State Technical University Bulletin]*, 2010. No 1. P. 110-113.
15. Matveev, V.N. K voprosu o nadezhnosti elektrosnabzheniya ugor'nykh shakht Kuzbassa [To the question of reliability of power supply of coal mines in Kuzbass] / V.N. Matveev, K.A. Varnavskiy // *Materialy III mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Sovremennye tendentsii i innovatsii v nauke i proizvodstve, Mezhdurechensk, 2-4 aprelya 2014 g. [Modern trends and innovations in science and industry: proceedings of the international scientific conference (April, 2-4, 2014)]*. Kemerovo, 2014. P. 62-63.
16. Yarosh, A.S. Nekotorye problemnye voprosy elektrosnabzheniya ugor'nykh predpriyatiy Kuzbassa [Some problematic issues of power supply of Kuzbass coal companies] / A.S. Yarosh, O.V. Naumov, D.S. Kudryashov // *Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Occupational Safety in Industry]*, 2014. No 8. P. 69-71.
17. Kudryashov, D.S. O nadezhnosti elektrosnabzheniya ugor'nykh predpriyatiy Kuzbassa [On the reliability of power supply of the coal enterprises of Kuzbass] / D.S. Kudryashov // *Materialy I Vseros. nauch.-prakt. konf. Energetika i energosberezenie: teoriya i praktika, Kemerovo, 3-5 dekabrya 2014 g. [Energy and energy efficiency: Theory and Practice, proceedings of the national scientific conference (December, 3-5, 2014)]*. Kemerovo, 2014

Поступило в редакцию 27.11.2016

Received 27.11.2016