

УДК 621.311:621.316

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРАВИЛЬНОЙ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТНОЙ РАЗГРУЗКИ В КУЗБАССКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

*Ф.С. Непша, А.И. Глушкова, Д.Ю. Воробьева

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия

*ORCID: orcid.org/0000-0002-7468-2548, nepshafs@gmail.com

Резюме: В статье приведена статистика ложных срабатываний устройств АЧР за 2012-2016 гг. Также представлен анализ типов устройств автоматической частотной разгрузки (АЧР), эксплуатируемых в Кузбасской энергосистеме. В результате анализа установлено, что основной причиной ложного срабатывания АЧР является отсутствие блокировки по скорости снижения частоты или ее неправильная настройка. Для исключения ложного срабатывания АЧР при выбеге электродвигателей предложены организационные и технические мероприятия. Отмечено, что правильная настройка блокировки по скорости снижения частоты требует участия всех субъектов электроэнергетической системы (Системный оператор, сетевые организации, потребители). Выполнено сравнение имеющихся на рынке устройств АЧР по функционалу и наличию блокировок от ложных срабатываний. Также сформулированы научно-технические задачи, решение которых необходимо для исключения ложного срабатывания АЧР при выбеге электродвигателей.

Ключевые слова: автоматическая частотная разгрузка, блокировка от ложного срабатывания, снижение частоты, ложные срабатывания, выбег электродвигателей.

TO THE QUESTION OF PROVIDING THE CORRECT WORK OF DEVICES OF AUTOMATIC FREQUENCY DISCHARGE IN THE KUZBAS ENERGY SYSTEM

*F.S. Nepsha, A.I. Glushkova, D.Yu. Vorobyeva

Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Kemerovo, Russia

*ORCID: orcid.org/0000-0002-7468-2548, nepshafs@gmail.com

Abstract: The article presents the statistics of false alarms of automatic frequency unloading devices for 2012-2016. An analysis of the types of automatic frequency unloading devices operated in the Kuzbass power system is also presented. As a result of the analysis it was established that the main reason for the false triggering of the automatic frequency unloading is the absence of a lock in the speed of the frequency reduction or its incorrect setting. To prevent false triggering of the automatic frequency unloading in the event of run-out of the motor load, organizational and technical measures are proposed. It is noted that the correct setting of the blocking for the rate of frequency reduction requires the participation of all entities of the electric power system (System Operator, network organizations, consumers). Comparison of the existing devices by functional and the presence of locks from rate of change of frequency is made. Also, scientific and technical problems are formulated, the solution of which is necessary to prevent false triggering of the automatic frequency unloading when the electric motors run out.

Keywords: *automatic frequency unloading, blocking from false triggering, rate of change of frequency, false triggering, run-out of the motor load.*

Введение

Надежность энергосистемы определяется заданным уровнем частоты, где системы регулирования частоты и мощности поддерживают частоту до тех пор, пока в энергосистеме имеется вращающийся резерв активной мощности. Но отключение генераторов или подключение новых потребителей приводит к дефициту активной мощности, что влечет за собой снижение частоты в сети. Согласно ГОСТ 32144-2013 отклонение частоты на $\pm 0,2$ Гц является допустимым в синхронизированных системах электроснабжения, и в энергосистеме России уровень частоты соответствует нормативному уровню.

При возникновении дефицита мощности в системе происходит снижение частоты на 1–2 Гц, начинается необратимый процесс, при котором снижение частоты происходит до уровня возможного возникновения явления лавины частоты, что приводит к полному погашению дефицитной энергосистемы с остановом электростанций и отключением энергоснабжения всех потребителей. Поэтому частотные аварии с возникновением лавины частоты считаются наиболее тяжелыми по своим техническим и экономическим последствиям. Аварийное снижение частоты, вызванное внезапным дефицитом активной мощности, происходит очень быстро, дежурный персонал за это время не успевает принять мер для ликвидации аварийного режима. Вследствие этого в энергосистеме используются устройства автоматики, которые должны предотвратить последствия аварии в течение нескольких секунд. Автоматика действует таким образом, чтобы были введены все резервы активной мощности электростанций, загружая все вращающиеся агрегаты до предела с учетом допустимых кратковременных перегрузок.

При отсутствии вращающегося резерва одним из способов восстановления частоты в сети является отключение потребителей, что осуществляется с помощью специальных устройств автоматической частотной разгрузки (АЧР), срабатывающих при опасном снижении частоты энергосистемы.

На территории Кемеровской области в период с января 2016 по июнь 2017 г. зафиксировано 10 случаев срабатывания устройств АЧР, при этом последствиями такой работы устройств стало отключение более 600 социально значимых объектов Кузбасса, перерыв в работе крупных металлургических и угледобывающих предприятий.

АЧР должна обеспечивать подъем частоты до значений, при которых энергосистема может длительно работать нормально, но к системе АЧР не предъявляется требование восстановления частоты до номинального уровня или исходного. Также АЧР не должна ложно срабатывать: при снижении частоты, вызванном короткими замыканиями; выбеге электродвигателей; замыкании на землю в цепях оперативного тока; при снятии, подаче напряжения оперативного тока, снижении напряжения оперативного тока или при перерывах питания; объединении цепей переменного напряжения и цепей оперативного постоянного тока; возникновении неисправностей в цепях напряжения и при перезагрузке устройства АЧР.

Предотвращение ложной работы устройств АЧР при синхронных качаниях или асинхронных режимах в энергосистемах обеспечивается:

- эффективным действием модулей выделения основной гармоники и подавления гармонических составляющих тока в конструкции реле частоты;
- правильной настройкой уставок частоты и времени срабатывания реле частоты.

Предотвращение ложной работы устройств АЧР-1 обеспечивается задержкой времени срабатывания (не ниже 0,25 с), а также блокировкой действия устройств АЧР-1 при выбеге электродвигателей.

Выбор уставок АЧР и ЧАПВ, состава используемых блокировок и их параметров в каждом конкретном случае должен определяться схемой электрической сети, расчетом электрических режимов, технологическими особенностями защищаемого оборудования и не противоречить нормативным требованиям, изложенным в стандарте [1].

Для предотвращения излишних срабатываний устройств АЧР их выдержка времени должна быть такой, чтобы они не успевали сработать, пока остаточное напряжение не снизится до 10–30% номинального, при котором реле частоты не будет срабатывать. Этим условиям в большинстве случаев удовлетворяют очереди АЧР-2, поэтому следует стремиться устанавливать на подстанциях, где возможен выбег электродвигателей и компенсаторов в паузах АПВ и АВР, устройства этой категории разгрузки. Однако поскольку подстанций, в состав нагрузки которых входят двигатели, большинство и, естественно, на них приходится устанавливать и очереди АЧР-1, то этим мероприятием исключить излишнее срабатывание АЧР во многих случаях не удастся. В практике эксплуатации для предотвращения излишних срабатываний АЧР в паузах АПВ и АВР, как правило, применяются специальные блокировки. Такой блокировкой может служить блокировка по скорости снижения частоты на шинах погашенной подстанции.

При большой скорости снижения частоты для предотвращения ложного срабатывания АЧР применяются два реле частоты. Второе реле частоты срабатывает вслед за первым до того, как замкнется контакт первого реле времени. Промежуточное второе реле своим контактом через еще не разомкнувшийся размыкающий контакт первого промежуточного реле подает «плюс» оперативного тока на правый зажим обмотки первого промежуточного реле, запрещая срабатывание этого реле после замыкания контакта первого реле времени.

Другим видом блокировки АЧР является схема с включением контакта блокирующего реле направления мощности. При установке такого вида блокировки АЧР напряжение на контакт реле частоты подается через контакт блокирующего реле направления мощности. Реле направления мощности, включенное в цепи трансформатора связи с энергосистемой, реагирует на направление активной мощности. В нормальном режиме подстанция потребляет активную мощность, контакт реле направления мощности замкнут и разрешает действие АЧР. После отключения подстанции от сети активная мощность по трансформатору проходить не будет или будет направлена в сторону шин высшего напряжения. При этом реле направления мощности разомкнет свой контакт и предотвратит ложное срабатывание АЧР.

Блокировка по такому принципу неэффективна, если по отключаемой линии или трансформатору питается несколько узлов нагрузки с синхронными двигателями.

Аналогичным образом могут быть выполнены и блокировки по другим факторам. Возможно выполнение блокировки АЧР по уровню частоты на соседней секции шин данной подстанции. Выполнение блокировки по такому принципу целесообразно там, где питание различных групп нагрузок осуществляется по различным линиям.

Вышеуказанные блокировки не обеспечивают правильную работу АЧР во всех случаях выбега электродвигателей. Самым совершенным видом блокировки от ложного срабатывания при выбеге электродвигателей является блокировка по скорости снижения частоты df/dt , реализация которой возможна только на современных микропроцессорных устройствах релейной защиты.

Учитывая, что неправильная работа АЧР чревата нарушением технологического процесса на предприятиях и значительными убытками, вопрос обеспечения правильной работы устройств АЧР является актуальным и требует решения.

Материал и методы исследования

В качестве материала для исследования использована следующая информация:

- график АЧР, ЧАПВ на объектах энергосистемы Кемеровской области на 2016–2017 гг.;
- сведения об устройствах АЧР, используемых в Кузбасской энергосистеме;

- сводные данные о неправильных действиях устройств АЧР, ЧАПВ за 2012–2016 гг. на территории Кемеровской области;
- сводные данные о неисправностях, выявленных в процессе эксплуатации устройств АЧР, ЧАПВ на территории Кемеровской области;
- инструкции по эксплуатации микропроцессорных устройств АЧР;
- научно-техническая литература, посвященная вопросам функционирования АЧР и ЧАПВ.

Вышеуказанная информация была подробно изучена и проанализирована авторами.

Результаты

Динамика неправильных действий устройств АЧР, ЧАПВ и выявленных неисправностей за период с 2012 по 2016 гг. показана на рис. 1.

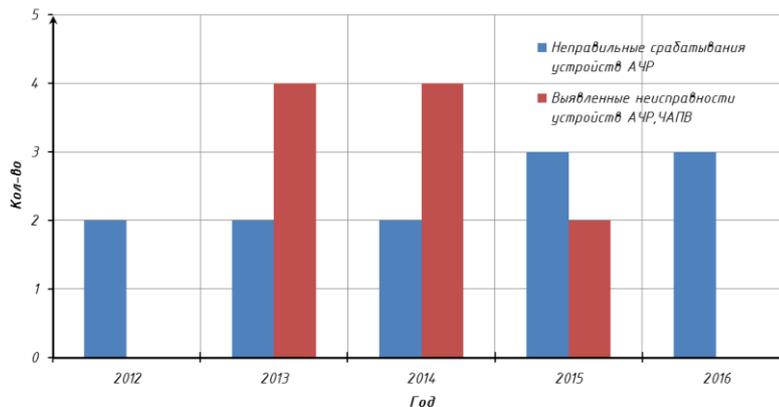


Рис. 1. Динамика неправильных действий устройств АЧР, ЧАПВ и выявленных неисправностей за 2012–2016 гг.

Количество неправильных срабатываний и неисправностей устройств АЧР, ЧАПВ незначительно и составляет не более 1% от общего количества устройств АЧР, используемых в Кузбасской энергосистеме. Тем не менее, неправильная работа АЧР приводит к недоотпуску электроэнергии и убыткам со стороны сетевой организации и потребителя. Для установления основной причины некорректной работы АЧР был выполнен анализ причин неправильных действий устройств АЧР, ЧАПВ за 2012–2016 гг. По результатам анализа выявлено, что основной причиной неправильной работы устройств АЧР является отсутствие блокировок от ложного срабатывания при выбеге электродвигателей (69%). Вторая по распространённости причина – ошибки при монтаже и неисправности в схеме (21%). Также наблюдалось ложное срабатывание устройств АЧР из-за наличия высших гармоник (8%).

Для определения оснащённости подстанций Кузбасской энергосистемы устройствами АЧР с блокировками при выбеге электродвигателей выполнен анализ устройств АЧР, эксплуатируемых на территории Кемеровской области (рис. 2).

Данные рис. 2 показывают, что около 69% устройств АЧР в Кузбасской энергосистеме представлены устаревшими индукционными реле (ИВЧ-3) и полупроводниковыми реле (РЧ-1, РСГ-11-50). У данных типов реле отсутствует возможность выполнения блокировки по скорости снижения частоты.

В связи с этим, а также значительным количеством промышленных предприятий в Кузбассе, проблема неправильной работы устройств АЧР является актуальной и требует решения. Однако, несмотря на актуальность, этой проблеме уделялось недостаточно внимания. Авторы считают, что решение этой проблемы необходимо и предлагают реализацию следующих мероприятий.

1. Пересмотр «Графика АЧР, ЧАПВ на объектах энергосистемы Кемеровской

области» с исключением присоединений со значительной долей двигательной нагрузки из-под АЧР-1 и включением ее в состав АЧР-2 несовмещенная. Указанное мероприятие позволит исключить неправильную работу устаревших устройств АЧР за счет значительной выдержки времени у АЧР-2 несовмещенная (5 с и более).

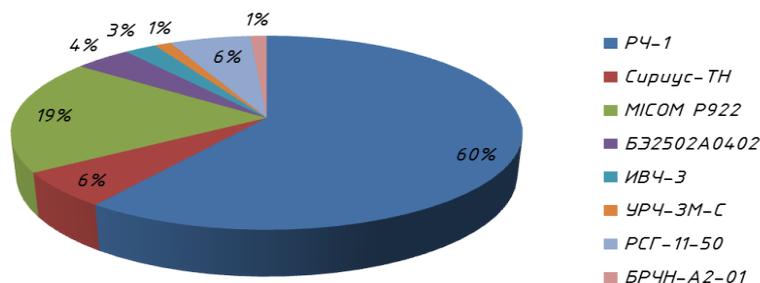


Рис. 2. Виды устройств АЧР, эксплуатируемых в Кузбасской энергосистеме

В настоящее время данное мероприятие выполнено. В процессе его реализации выявлено, что в энергорайонах со значительной долей двигательной нагрузки невозможно перенести все присоединения со значительной долей двигательной нагрузки из АЧР-1 в АЧР-2 несовмещенная. Отметим, что процент двигательной нагрузки не является объективным показателем, позволяющим судить о влиянии двигательной нагрузки на работу устройств АЧР.

2. Замена устаревших реле на новые микропроцессорные устройства релейной защиты (МУРЗ). Это мероприятие заключается в установке новых микропроцессорных устройств с наличием блокировки от ложного срабатывания при выбеге электродвигателей. Ввиду ограниченности инвестиционной программы сетевых организаций, целесообразно выполнить замену устройств АЧР подстанций, где невозможно исключить ложную работу АЧР путем выполнения мероприятия по п. 1.

3. Разработка методики корректного расчета уставок блокировки ложного срабатывания АЧР при выбеге электродвигателей.

В соответствии с п. 4.3. СТО [1], при реализации блокировки по скорости снижения частоты (df/dt), значение, при котором устройство АЧР блокируется, должно задаваться производителем устройства АЧР и составлять 10 Гц/с. Однако такое требование некорректно для двигательной нагрузки, в состав которой входят мощные синхронные двигатели. В таком случае скорость снижения частоты при выбеге электродвигателей может быть значительно меньше 10 Гц/с и, следовательно, может привести к неправильной работе АЧР. Отметим, что на современных терминалах микропроцессорной релейной защиты уставка df/dt может задаваться в диапазоне от 0 до 10 Гц/с с дискретностью 0,1 Гц [6–8]. Практически значение уставки должно определяться опытным или расчетным путем. Опытным путем определение уставки возможно в процессе эксплуатации. Поскольку устройство АЧР фиксирует скорость снижения частоты, возможно зафиксировать минимальное значение скорости снижения частоты и отстроить от него уставку df/dt . Тем не менее, необходимо несколько отключений, т.к. характер снижения частоты зависит от характера технологического процесса. На стадии проектирования возможно расчетное определение уставки df/dt . Однако для этого необходимы данные о составе двигательной нагрузки, конфигурации питаемой сети и механических характеристиках нагрузки на валу электродвигателей. Получение этих данных сопряжено со значительными организационными трудностями, т.к. задание на настройку устройств АЧР, ЧАПВ выдает Системный оператор, который в большинстве случаев не имеет

полного понимания о составе двигательной нагрузки в узлах энергосистемы. Поэтому уставка df/dt задается равной максимальному значению 10 Гц/с, что лишает собственников возможности выполнения других уставок и провоцирует ложную работу устройств АЧР.

Обсуждение

Для определения оптимального вида устройств АЧР выполнен анализ достоинств и недостатков каждого вида устройств АЧР, имеющихся на рынке МУРЗ. Результаты анализа представлены в таблице.

Таблица

Достоинства и недостатки различных видов устройств АЧР

№ п/п	Функции устройства	РЧ-1	Сириус-ТН	MiCOM P922	РСГ-11-50	БЭ2502 А0402
1	Автоматическое отключение определенных под частотную разгрузку присоединений	+	+	+	+	+
2	АПВ отключенных присоединений при повышении частоты	+ ¹	+	+	+ ¹	+
3	Одновременный контроль двух секций	–	+	–	–	–
4	Оперативный ввод блокировок в любые очереди АЧР и ЧАПВ	–	+	+	–	–
5	Сигнализация при пропадании напряжения с любого из каналов	+	+	+	+	+
6	Блокировка работы внешними релейными сигналами	–	+	+	–	+
7	АЧР до 4 групп присоединений	–	+	–	–	+
9	Возможность блокирования ступеней категории АЧР-I по скорости падения частоты и напряжения	–	+	+	–	+
10	Возможность блокирования ступеней АЧР от органа направления мощности	–	+	–	–	–
11	Стоимость устройств АЧР в 2017 г., руб.	5000-30000 ²	79414	86800	30252	65500
¹ – требуется дополнительный комплект реле; ² – зависит от вида реализуемой блокировки						

Данные таблицы показывают, что устройства Сириус-ТН являются наилучшим вариантом для замены устаревших устройств АЧР, устройства MiCOM P922 и БЭ2502А0402 уступают ему по функционалу.

Тем не менее, замена устаревших устройств АЧР на МУРЗ не позволит полностью исключить ложного срабатывания АЧР без корректного выбора уставки блокировки по скорости снижения частоты. При этом методика выбора уставки блокировки по скорости снижения частоты отсутствует, а выбор уставки производится без учета характера двигательной нагрузки.

В связи с вышесказанным авторы считают целесообразным решение следующих научно-технических задач.

1. Научное обоснование и определение режима работы присоединений, при котором скорость снижения частоты минимальна в случае потери питания.

2. Установление влияния нагрузки разного состава двигательной нагрузки на скорость снижения частоты с целью разработки рекомендаций по выбору уставок блокировки df/dt на предприятиях различных отраслей промышленности.

3. Анализ работы блокировки df/dt и разработка рекомендаций по повышению ее

эффективности.

Отметим, что решение вышеуказанных задач требует непосредственного взаимодействия Системного оператора, сетевых организаций и потребителей.

Выводы

1. Установлено, что основной причиной ложного срабатывания устройств АЧР в Кузбасской энергосистеме является отсутствие блокировок от выбега электродвигателей или ее неправильная настройка.

2. Выявлено, что основная причина неисправностей устройств АЧР в Кузбасской энергосистеме в процессе эксплуатации – моральный и физический износ используемых компонентов (реле РЧ-1, РСГ-11-50).

3. Определено, что правильная настройка блокировки по скорости снижения частоты требует участия Системного оператора, сетевых организаций и потребителей.

4. По итогам анализа определено, что из рассмотренных МУРЗ наилучшим вариантом для замены устаревших устройств АЧР является Сириус-ТН. Тем не менее, без корректного выбора уставки df/dt применение МУРЗ не позволит полностью исключить ложное срабатывание АЧР

5. Определены научно-технические задачи, решение которых позволит исключить ложную работу устройств АЧР.

Литература

1. СТО 59012820.29.020.003-2016. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Микропроцессорные устройства автоматической частотной разгрузки. Нормы и требования. Стандарт АО «СО ЕЭС». Введ. 2016-08-16. М., 2016. 19 с.

2. Рабинович Р.С. Автоматическая частотная разгрузка энергосистем. 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1989. 352 с.

3. Беркович М.А., Комаров А.Н., Семенов В.А. Основы автоматики энергосистем. М.: Энергоатомиздат, 1981. 432 с.

4. Данильчук В.Н. Автоматика ограничения изменений частоты энергосистем. Киев: 2014. 439 с.

5. Семенов В.А. Противоаварийная автоматика в ЕЭС России. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2004. 104 с.

6. Микропроцессорное устройство защиты и автоматики «Сириус-ТН»: руководство по эксплуатации. ЗАО «РАДИУС Автоматика». URL: http://www.rza.ru/upload/iblock/89f/sirius_tn.pdf (дата обращения: 15.06.2017).

7. MiCOM P921/P922 & P923. Voltage and Frequency Relays. Technical Guide // Schneider Electric. URL: http://www.schneider-electric.com/library/SCHNEIDER_ELECTRIC/SE_LOCAL/APS/210472_462A/MiCOM_P92x_Manual_Technical_Guide_P92x_EN_T_I52.pdf (дата обращения: 15.06.2017).

8. Терминал трансформатора напряжения секции типа БЭ2502А04ХХ // ООО НПП «ЭКРА». URL: zistons.ru/rele/ekra/re_be2502a04.pdf (дата обращения: 15.06.2017).

9. Balancing and frequency control. A Technical Document. Princeton: NERC Resources Subcommittee, 2011. 53 p.

Авторы публикации

Непша Федор Сергеевич – старший преподаватель кафедры «Электроснабжение горных и промышленных предприятий» Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева. E-mail: nepshafs@gmail.com.

Глушкова Алиса Игоревна – магистрант группы ЭПмоз-161 Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева.

Воробьева Дарья Юрьевна – магистрант группы ЭПмоз-161 Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева.

References

1. Rabinovich, R.S. Avtomaticheskaya chastotnaya razgruzka energosistem [Automatic frequency unloading of power systems]. 2-e izd. Moskow: Energoatomizdat, 1989. 352 p.
2. Berkovich, M.A., Komarov, A.N., Semenov, V.A. Osnovy avtomatiki energosistem [Basics of automation of power system]. Moskow: Energoatomizdat, 1981. 432 p.
3. Danil'chuk, V.N. Avtomatika ogranicheniya izmeneniy chastoty energosistem [Automation of limiting the change in the frequency of power systems]. Kiev: 2014. 439 p.
4. Semenov V.A. Protivoavariynaya avtomatika v EES Rossii [Automatic emergency control in UES of Russia]. Moskow: NTF "Energoprogress", 2004. 104 p.
5. STO 59012820.29.020.003-2016. Releynaya zashchita i avtomatika. Avtomaticheskoe protivoavariynoe upravlenie rezhimami energosistem. Mikroprotssornye ustroystva avtomaticheskoy chastotnoy razgruzki. Normy i trebovaniya [Relay protection and automation. Automatic emergency control of power system modes. Microprocessor devices for automatic frequency unloading. Norms and requirements]. Standart AO «SO EES». Introduced. 2016-08-16. Moskow, 2016. 19 p.
6. Mikroprotssornoe ustroystvo zashchity i avtomatiki «Sirius-TN». Rpkovodstvo po ekspluatatsii [Microprocessor protection and automation device "Sirius-TN". Manual]. . CJSC «RADIUS Avtomatika». URL: http://www.rza.ru/upload/iblock/89f/sirius_tn.pdf (Accessed: 15.06.2017).
7. MiCOM P921/P922 & P923.Voltage and Frequency Relays. Technical Guide // Schneider Electric. URL: http://www.schneider-electric.com/library/SCHNEIDER_ELECTRIC/SE_LOCAL/APS/210472_462A/MiCOM_P92xManual_Technical_Guide_P92x_EN_T_I52.pdf (Accessed: 15.06.2017).
8. Terminal transformatora napryazheniya sektsii tipa BE2502A04XX [Terminal of the voltage transformer of the section type BE2502A04XX]. Ltd. NPP "EKRA". URL: zistons.ru/rele/ekra/re_be2502a04.pdf (Accessed: 15.06.2017).
9. Balancing and frequency control. A Technical Document. Princeton: NERC Resources Subcommittee, 2011. 53 p.

Authors of the publication

Fedor S. Nepsha – senior lecturer, Department "Power supply of mining and industrial enterprises", Kuzbass State Technical T.F. Gorbachev University.

Alisa I. Glushkova – graduate student EPmоз-161, Kuzbass State Technical T.F. Gorbachev University.

Daria Yu. Vorobyeva – graduate student EPmоз-161, Kuzbass State Technical T.F. Gorbachev University.

Поступила в редакцию

04 июля 2017 г.