УДК
622:621.438

В.П. Степаненко

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ И НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Рассмотрены перспективы применения возобновляемых источников и накопителей энергии в системах автономного электроснабжения и продолжения работ по водородной тематике и конвертации горной дизельной техники на водородное топливо. Использование современных ВИЭ и накопителей энергии позволяет добиться повышения экологической безопасности, энергоэффективности и снижения расхода дизельного топлива в горной промышленности. Рассмотрены также способы повышения энергоэффективности горной промышленности путем применения КЭСУ с суперконденсаторами. Предлагаемые технические решения позволят существенно повысить энергоэффективность и экологическую безопасность, уменьшить на 30–50%, расход дизельного топлива.

Ключевые слова: электроснабжение, накопители энергии, возобновляемые источники энергии, экологическая безопасность, энергосиловые установки, энергоэффективность, суперконденсаторы, аккумуляторная батарея, дизельное топливо.

Уголь, нефть, мазут, горючие сланцы, природный газ, торф, дрова – это основные невозобновляемые источники энергии на Земле. От невозобновляемых источников энергии питаются тепловые, атомные и дизель-генераторные электростанции, котельные, бытовые печи и другие потребители. Возобновляемые источники энергии ВИЭ – это источники энергии которые создает Солнце. К ВИЭ относятся энергия ветра, воды, морских приливов и волн, геотермальная энергия[1–5]. Гидроэлектростанции ГЭС и ветряные электрические установки ВЭУ имеют мощность до 30 МВт при мощности единичного агрегата не более 10 МВт. Доля энергии, получаемой в последние годы от невозобновляемых источников в мире сокращается, а доля от возобновляемых источников энергии растет. Мировое потребление энергии из ВИЭ в последнее десятилетие увеличилось примерно в 4 раза, в настоящее время превысило 20% и продолжает расти [1–8].

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 6. С. 143–152.
© 2017. В.П. Степаненко.

В России увеличивается количество жилых домов и поселков, использующих для бытовых нужд ВИЭ. В комплект поставки входят источники электрической энергии – дизель-генераторные установки, ВЭУ и солнечные панели СП, в качестве накопителей электрической энергии свинцово-кислотные аккумуляторные батареи (ЭХН), а также электронные преобразователи, контроллеры, инверторы. Мощность этих установок колеблется от 0,6 кВт до 30 кВт, энергоемкость накопителей энергии от 5 кВтч до 133 кВтч. Срок службы комплектующего оборудования различный: солнечные панели СП – 35–40 лет, ветрогенераторы горизонтальные ВЭУ, контроллеры гибридные и инверторы – 15–20 лет. Наименьший срок службы у дизельных двигателей 3–4 года, аккумуляторных батарей ЭХН 4–5 лет, суперконденсаторов КДЭС 10–15 лет. В системах с ВЭУ до 40% стоимости комплекта составляют горизонтальные ветрогенераторы. При частом изменении направления ветра рекомендуется установка вертикальных ветрогенераторов, которые в 2–3 раза дороже горизонтальных.

В некоторых случаях автономная система, имеющая несколько различных источников энергии, может оказаться лучшим техническим решением, чем присоединение к высоковольтным электрическим сетям. Такие системы не требуют больших затрат на передачу электроэнергии, стимулируют использование энергосберегающих технологий и экологически более безопасны. При наличии на автономной электростанции только одной дизель-генераторной установки в случае ее остановки электрическая энергия может поступать от ВЭУ, СП, ЭХН или КДЭС, что уменьшает расход дизельного топлива. Аккумуляторная батарея может заряжаться от ветряного генератора или от солнечной батареи. По сравнению с системой из двух дизельных генераторов расход топлива снижается на 30–70% [9–14].

Дневная удельная производительность солнечной батареи на широте г. Волгограда (50° с.ш.) равна примерно 2 кВтч/м^2 в сутки, удельная мощность от 80 до 250 Вт/м^2. Солнечные батареи используют 14–18% от поступающей к ним солнечной энергии. КПД солнечных вакуумных коллекторов гораздо выше и достигает 70–85%, т.к. коллекторы используют не только световую, но и тепловую энергию солнца и концентрируют ее. Один солнечный вакуумный коллектор и пять солнечных фотоэлектрических панелей отдают примерно одинаковое количество энергии, но цена вакуумного коллектора в три раза меньше суммарной цены пяти фотоэлектрических панелей. К системам

горячего водоснабжения с вакуумными солнечными коллекторами необходимо подключать источник электрической энергии для подогрева и прокачки теплоносителя электрическим насосом. Вакуумные коллекторы потребляют два вида энергии: в среднем 70% солнечной энергии и 30% электрической. Установки, состоящие из солнечных коллекторов и электронагревателей, в 2,5 раза экономичнее дизельных и почти в два раза электрических установок. В пассивных системах горячего водоснабжения электрическая энергия не требуется, солнечный коллектор и бак с водой объединены в единую систему «солнечного водонагревателя». Такая система дешевле, проще по своей конструкции и легко устанавливается. Ее основной недостаток – низкая эффективность использования зимой в холодном климате [1–5].

ВЭУ имеют высокую эффективность при размещении их на территориях, прилегающих к незамерзающим морям и океанам. Существенным недостатком ВЭУ является нестабильность развиваемой ими мощности вследствие изменчивости направления и силы ветра во времени. Этот недостаток можно скомпенсировать, если в автономной системе электроснабжения объединить достаточно большое количество ветряных и солнечных генераторов, то средняя их мощность будет постоянной. Анализ показывает, что аккумуляторные батареи при длительных 2–3 кратных и пиковых 5–7 кратных перегрузках не смогут обеспечить устойчивое электроснабжение. Для устранения этого недостатка необходимо применять комбинированные накопители энергии, в состав которых должны входить суперконденсаторы (конденсаторы с двойным электрическим слоем КДЭС) и электрохимические аккумуляторные батареи (ЭХН) [15–21]. Солнечные панели СП и суперконденсаторы КДЭС не требуют больших расходов на содержание, сохраняют свои паспортные параметры в широком температурном диапазоне от +50 °С до -50 °С. В табл. 1 приведены в относительных единицах результаты оценочного технико-экономического сравнения капитальных и эксплуатационных затрат и стоимости 1 кВтч энергии шести различных источников энергии: дизельного топлива ДТ, электрических сетей ЭС, солнечных вакуумных коллекторов СВК, водорода H_2, ветряных генераторов ВЭУ и солнечных панелей СП.

Из анализа табл. 1 следует, что СВК характеризуются большими материалоемкостью и капиталовложениями по сравнению с традиционными ЭС. Эксплуатационные затраты при использовании СВК примерно в два раза ниже, чем при питании

Таблица 1

Сравнение различных источников энергии

Источник энергии	Относительные затраты			Стоимость 1 кВтч энергии
	капитальные	эксплуатационные		
		за 10 лет	за 20 лет	
Дизельное топливо ДТ	1,0	1,0	1,0	1,0
Водород H_2	0,9	0,7	0,6	0,4
Электрические сети ЭС	0,13	0,75	0,63	0,95
Солнечные вакуумные коллекторы СВК	0,8	0,5	0,43	0,32
Ветряные генераторы ВЭУ	0,7	0,5	0,5	0,15
Солнечные панели СП	0,6	0,4	0,4	0,1

от ЭС и ДТ. Стоимость 1 кВтч энергии, полученной от СВК, примерно в 3 раза ниже, чем при питании от ЭС и от дизель-генераторных установок ДТ. Стоимость энергии, полученной от СП и ВЭУ, является самой низкой. Наибольшие капитальные и эксплуатационные затраты и наихудшие технико-экономическое показатели присущи дизель-генераторным установкам. Стоимость 1 кВтч электроэнергии, полученной от ВЭУ, в 4 раза ниже, чем от ДТ. Энергия СП в 4 раза дешевле, чем ЭС.

Таблица 2

Тип, энергоемкость и места размещения на карьерах накопителей энергии

Типы накопителей энергии	Место размещения и энергоемкость накопителя энергии			
	главные понизительные подстанции 220/35 кВ	главные понизительные подстанции 110(35)/10 кВ	тяговый подвижной состав и подстанции переменного тока	тяговый подвижной состав и подстанции постоянного тока
Сверхпроводящие индуктивные СПИН	≤10 ГДж	–	–	–
Инерционные ИН	–	≤100–150 МДж	≤100–150 МДж	–
Суперконденсаторные КДЭС	–	–	≥50 МДж	≤5–50 МДж
Аккумуляторные батареи ЭХН	–	–	–	≤2900 МДж
Комбинированные КДЭС+ ЭХН	–	–	–	≤3000 МДж

В табл. 2 представлены перспективные типы накопителей энергии, их энергоемкости и возможные места размещения в системе электроснабжения карьеров.

В горной промышленности наибольшие перспективы использования в качестве накопителей имеют аккумуляторные батареи ЭХН и суперконденсаторы КДЭС. Расчеты показывают, что использование комбинированных энергосиловых установок, состоящих из дизель-генераторных электростанций, накопителей энергии и возобновляемых источников энергии, позволит повысить экологическую безопасность, снизить расход дизельного топлива и смазочных материалов не менее, чем на 30–50% [11].

Использование накопителей электроэнергии уже в ближайшей перспективе позволит снизить расход топлива и скорость износа оборудования, уменьшить потери в электрических сетях за счет регулирования реактивной мощности, увеличить надежность электроснабжения собственных нужд подстанций. В горной промышленности накопители электрической энергии могут стать важнейшим элементом интеллектуальных электроэнергетических систем и будут повышать их экологическую безопасность, энергоэффективность и ресурсосбережение. Использование накопителей электроэнергии позволит существенно снизить пики нагрузки, в первую очередь, продолжительностью менее 10–15 с, повысит устойчивость и надежность энергосистем, обеспечит поддержание режимов работы турбогенераторов в области максимального КПД, снизит затраты на производство электроэнергии. Можно добиться существенного экономического эффекта и при установке накопителей энергии и на электрифицированном горном транспорте. Гибридные накопители энергии могут также использоваться в автономной энергосистеме совместно с дизель-генераторными установками.

С целью повышения эффективности автономных электрических сетей необходимо разработать и внедрить управляющие накопители электрической энергии в составе системы управления режимами по частоте и активной мощности [19]. Применение накопителей энергии совместно с дизель-генераторными установками позволяет обеспечить работу дизель-генераторных установок в режиме постоянной и наиболее экономичной нагрузки в пределах 70–90% от номинальной. При такой постоянной нагрузке наблюдается наименьшая токсичность выхлопных газов и снижается расход дизельного топлива на 15–20%, улучшаются динамические характеристики дизель-генераторных

установок, повышается надежность параллельной работы дизель-генераторных установок равной и разной мощности, обеспечивается бесперебойное питание электроэнергией потребителей при пусках и остановках дизель-генераторных установок, легко удается стабилизировать напряжение и частоту при сбросах и скачкообразном увеличении нагрузки.

В горной промышленности к электроприемникам I категории относятся: вентиляторные, водоотливные, противопожарные насосные установки, центральные подземные подстанции, дренажные шахты, подъемные установки, обеспечивающие спуск-подъем людей, калориферные установки для районов с тяжелыми климатическими условиями (Воркута, Норильск) и др. Они должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания, а перерыв в электроснабжении допускается на время автоматического ввода резервного питания АВР.

Для обеспечения бесперебойного питания электроприемников I категории ЗАО «Гранд Моторс» (Италия), поставляет в Россию устройства «GMUPS» мощностью от 0,7 кВт до 800 кВт. При параллельном соединении устройств UPS «GMUPS» общая мощность ИБП достигает 6000 кВт [26].

Те же функции, источников бесперебойного питания ИБП и резервного питания ИРП могут выполнять накопители ЭХН и КДЭС. В системах электроснабжения с накопителями энергии устройства ИРП и ИБП (UPS) удобно размещать на аккумуляторных ЭХН и суперконденсаторных КДЭС накопителях энергии. Системы электроснабжения, удаленные от высоковольтных электрических сетей питаются от автономных электростанций с одной или с двумя поочередно работающими дизель-генераторными установками. При добыче полезных ископаемых используется значительное количество автосамосвалов, экскаваторов, погрузчиков и других машин, потребляющих большие объемы дизельного топлива и горюче-смазочных материалов и загрязняющих окружающую среду. Снизить расход дизельного топлива, существенно повысить экологическую безопасность можно путем применения комбинированных энергосиловых установок КЭСУ, в состав которых должны входить возобновляемые источники и накопители энергии [6, 10, 12, 22, 26].

С точки зрения повышения экологической безопасности, ресурсо- и энергосбережения перспективной является конвертация дизельных и бензиновых двигателей на водородное топливо. Известно, что в период Великой Отечественной войны

в осажденном Ленинграде в связи с отсутствием бензина автомобили успешно работали на водородном топливе. В двухтысячные годы в ГМК «Норильский никель» с участием Российской Академией Наук велись работы по использованию водорода в горной промышленности. В ИГД им. А.А. Скочинского были выполнены работы по конвертации рудничных дизелевозов на водородное топливо. В работах по конвертации участвовали д.т.н. В.И. Серов, д.т.н. Р.В. Малов, к.т.н. В.П. Степаненко, к.т.н. Ю.П. Юдин [22, 27, 28].

Выводы

При добыче полезных ископаемых применение возобновляемых источников ВИЭ, суперконденсаторных и электрохимических накопителей энергии позволит повысить энергоэффективность, ресурсосбережение и экологическую безопасность, снизить расход дизельного топлива и смазочных материалов не менее, чем на 30–50%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Степаненко В. П.* Анализ перспектив применения в горной промышленности возобновляемых источников энергии и суперконденсаторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 1. – С. 185–194.

2. *Степаненко В. П.* К вопросу применения накопителей и возобновляемых источников энергии в условиях низких температур // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 2. – С. 195–201.

3. *Степаненко В. П.* Применение в горной промышленности суперконденсаторных накопителей и возобновляемых источников энергии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 2. – С. 202–208.

4. *Степаненко В. П.* Выбор накопителей в изолированных энергосистемах с возобновляемыми источниками энергии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 3. – С. 217–227.

5. *Степаненко В. П.* Выбор накопителей энергии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 3. – С. 228–234.

6. *Степаненко В. П.* Пути повышения энергоэффективности и ресурсосбережения горного локомотивного транспорта // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 9. – С. 128–137.

7. *Степаненко В. П.* Применение в горной промышленности КЭСУ с возобновляемыми источниками и накопителями энергии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 9. – С. 138–145.

8. *Степаненко В. П.* Анализ перспектив применения в горной промышленности нетрадиционных возобновляемых источников и комбинированных накопителей энергии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 10. – С. 93–104.

9. *Белозеров В. И.*, *Степаненко В. П.* Потребность создания карьерных локомотивов с накоплением энергии // Горная промышленность. – 2014. – № 5. – С. 76.

10. *Степаненко В. П.*, *Сорин Л. Н.* Энергоэффективность подземной локомотивной откатки с гибридными накопителями энергии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 6. – С. 135–140.

11. *Степаненко В. П.* Применение комбинированных (гибридных) энергосиловых установок в горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 11. – С. 322–328.

12. *Степаненко В. П.*, *Белозеров В. И.*, *Сорин Л. Н.* Перспективы применения комбинированных накопителей энергии на карьерном железнодорожном транспорте // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 5. – С. 317–322.

13. *Степаненко В. П.* Определение параметров накопителей энергии комбинированных силовых установок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 8. – С. 166–174.

14. *Степаненко В. П.* Применение возобновляемых источников энергии и суперконденсаторов на открытых горных работах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 8. – С. 175–182.

15. *Синчук И. О.*, *Гузов Э. С.*, *Яловая А. Н.*, *Бойко С. Н.* Потенциал электроэнергоэффективности и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья / Под ред. О. Н. Синчука. – Кривой Рог, 2015. – С. 296.

16. *Синчук И. О.*, *Гузов Э. С.*, *Дебелый В. Л.*, *Дебелый Л. Л.* Шахтный электровозный транспорт. Теория, конструкция, электрооборудование. – Кривой Рог-Донецк, 2015. – С. 427.

17. *Синчук И. О.*, *Юрченко Н. Н.*, *Чернышов А. А.*, *Синчук И. О.*, *Удовенко О. А.*, *Пасько О. В.*, *Гузов Э. С.* Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов. – Киев, 2006. – С. 250.

18. *Степаненко В. П.* Применение комбинированных (гибридных) энергосиловых установок в горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 11. – С. 322–328.

19. *Носырев Д. А.*, *Плетнев А. И.* Патентная информация. Способ работы маневрового локомотива. http://www.findpatent. ru/paten/245/2453448.html

20. *Степаненко В. П.* Выбор накопителей в изолированных энергосистемах с возобновляемыми источниками энергии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 3. – С. 217–227.

21. *Степаненко В. П.* Выбор накопителей энергии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 3. – С. 228–234.

22 *Степаненко В. П.* Перспективы конвертации горных дизельных машин на газовое топливо // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 5. – С. 190–197.

23. *Степаненко В. П.*, *Белозеров В. И.* Перспективы применения комбинированных газотурбинных установок в горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 5. – С. 178–189.

24. *Степаненко В. П.*, *Мальшаков И. Н.* Перспективы применения в горной промышленности суперконденсаторных накопителей и возобновляемых источников энергии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 6. – С. .

25. *Степаненко В. П.* Повышение энергоэффективности и ресурсосбережения рудничного электровозного транспорта // Вісник Криворізького национального університету. – 2016. – Вип. 42. – С. 20–25.

26. Источники бесперебойного питания ИБП ЗАО «ГрандМоторс» / UPS.http://www.grandmotos. ru/ups.php

27. *Степаненко В. П.*, *Юдин Ю. П.* Разработка методики расчета энергетических и весогабаритных показателей рудничных локомотивов с уменьшенной токсичностью выхлопа и улучшенными энергетическими показателями. Информационная карта № 15/3 (1978). – М.: ЦНИЭИуголь. – С. 1.

28. *Водородная* энергетика имеет в Якутии больший потенциал, чем солнечная. ПАО «Якутэнерго». Региональный центр биотехнологий. – Республика Саха Якутия, 2016. http://greenevolution.ru/ ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Степаненко Валерий Павлович – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, e-mail: valestepanenko@yandex.ru, МГИ НИТУ «МИСиС».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 6, pp. 143–152.

UDC 622:621.438

V.P. Stepanenko

RENEWABLE SOURCES AND STORAGE UNITS OF ENERGY IN SELF-CONTAINED POWER SUPPLY SYSTEMS

In focus are the prospects for renewable sources and storage units of energy in self-contained power supply systems and the continuation of the research in the areas of hydrogen and conversion of diesel-driven mining machines to hydrogen fuel.

The use of the modern renewable sources and storage units of energy makes it possible to enhance ecological safety and energy efficiency, and to reduce diesel fuel consumption in the mining industry.

The methods of improvement of energy efficiency in mining by means of using integrated electrical coupling systems and supercapacitors are discussed.

The proposed engineering solutions will allow essentially higher energy efficiency, improved ecological safety and reduced diesel fuel consumption by 30–50 %.

Key words: power supply, energy storage units, renewable energy sources, ecological safety, power plants, energy efficiency, supercapacitor, accumulation battery, diesel fuel.

AUTHOR

Stepanenko V.P., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Senior Researcher, e-mail: valestepanenko@yandex.ru, Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Stepanenko V. P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 1, pp. 185–194.
2. Stepanenko V. P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 2, pp. 195–201.
3. Stepanenko V. P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 2, pp. 202–208.
4. Stepanenko V. P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 3, pp. 217–227.
5. Stepanenko V. P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 3, pp. 228–234.
6. Stepanenko V. P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 9, pp. 128–137.
7. Stepanenko V. P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 9, pp. 138–145.
8. Stepanenko V. P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 10, pp. 93–104.
9. Belozerov V. I., Stepanenko V. P. *Gornaya promyshlennost'*. 2014, no 5, pp. 76.
10. Stepanenko V. P., Sorin L. N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 6, pp. 135–140.
11. Stepanenko V. P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 11, pp. 322–328.
12. Stepanenko V. P., Belozerov V. I., Sorin L. N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 5, pp. 317–322.
13. Stepanenko V. P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 8, pp. 166–174.
14. Stepanenko V. P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 8, pp. 175–182.
15. Sinchuk I. O., Guzov E. S., Yalovaya A. N., Boyko S. N. *Potentsial elektroenergo-effektivnosti i puti ego realizatsii na proizvodstvakh s podzemnymi sposobami dobychi zhelezorudnogo syr'ya*. Pod red. O. N. Sinchuka (Energy efficiency potential and its implementation in underground iron ore mining. Sinchuk O. N. (Ed.)), Krivoy Rog, 2015, pp. 296.
16. Sinchuk I. O., Guzov E. S., Debelyy V. L., Debelyy L. L. *Shakhtnyy elektrovoznyy transport. Teoriya, konstruktsiya, elektrooborudovanie* (Mine locomotive transport. Theory, structure, electric equipment), Krivoy Rog–Donetsk, 2015, pp. 427.
17. Sinchuk I. O., Yurchenko N. N., Chernyshov A. A., Sinchuk I. O., Udovenko O. A., Pas'ko O. V., Guzov E. S. *Kombinatorika preobrazovateley napryazheniya sovremennykh tyagovykh elektroprivodov rudnichnykh elektrovozov* (Combinatorics of voltage changers in modern traction electric motors of mine locomotives), Kiev, 2006, pp. 250.
18. Stepanenko V. P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 11, pp. 322–328.
19. Nosyrev D. A., Pletnev A. I. Patentnaya informatsiya. S*posob raboty manevrovogo lokomotiva*, available at: http://www.findpatent. ru/paten/245/2453448.html
20. Stepanenko V. P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 3, pp. 217–227.
21. Stepanenko V. P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 3, pp. 228–234.
22 Stepanenko V. P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 5, pp. 190–197.
23. Stepanenko V. P., Belozerov V. I. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 5, pp. 178–189.
24. Stepanenko V. P., Mal'shakov I. N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 6, pp. .
25. Stepanenko V. P. *Visnik Krivoriz'kogo natsional'nogo universitetu*. 2016, no 42, pp. 20–25.
26. *Istochniki bespereboynogo pitaniya IBP ZAO «GrandMotors»*, available at: http://www.grandmotos. ru/ups.php
27. Stepanenko V. P., Yudin Yu. P. *Razrabotka metodiki rascheta energeticheskikh i vesogabaritnykh pokazateley rudnichnykh lokomotivov s umen'shennoy toksichnost'yu vykhlopa i uluchshennymi energeticheskimi pokazatelyami*. Informatsionnaya karta № 15/3 (1978), Moscow, TsNIEIugol', pp. 1.
28. *Vodorodnaya energetika imeet v Yakutii bol'shiy potentsial, chem solnechnaya. PAO «Yakutenergo»*. Regional'nyy tsentr biotekhnologiy. Respublika Sakha Yakutiya, 2016, available at: http://greenevolution.ru/