

**В.П. Степаненко**

## **ПРИМЕНЕНИЕ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СУПЕРКОНДЕНСАТОРНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

Рассмотрены перспективы применения в горной промышленности возобновляемых источников ВИЭ и суперконденсаторных накопителей энергии КДЭС. Использование современных КДЭС с возобновляемыми источниками энергии повысит экологическую безопасность, снизит расход дизельного топлива и смазочных материалов не менее, чем на 30–50%, продлить срок службы аккумуляторных батарей и уменьшить их емкость на горном транспорте. КДЭС и ВИЭ целесообразно изготавливать в передвижном и стационарном исполнениях. Передвижные КДЭС и ВИЭ размещать на участках добычи полезных ископаемых, стационарные использовать для питания электроэнергией жилых поселков, мастерских обогатительных фабрик и других объектов. Для достижения этих целей необходима модернизация систем электроснабжения горных предприятий, в первую очередь, удаленных от высоковольтных электрических сетей, питающихся в настоящее время от автономных электростанций с поочередно работающими дизель-генераторными установками. Ключевые слова: горная промышленность ресурсосбережение, экологическая безопасность, возобновляемые источники энергии, энергосиловые установки, энергоэффективность, суперконденсатор, аккумуляторная батарея, дизельное топливо.

**П**овысить уровень экологической безопасности, надежности, ресурсо- и энергосбережения в горной промышленности, на горном транспорте, обогатительных фабриках, производственных и жилых комплексах можно, используя возобновляемые источники энергии и накопители энергии. Накопители энергии необходимы для обеспечения автономного питания потребителей в рабочих и аварийных режимах, для сглаживания пиков нагрузки и провалов напряжения в электрических сетях [1–12]. В табл. 1 представлены перспективные типы накопителей энергии для горной промышленности, их энергоемкости и места размещения.

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 2. С. 202–208.  
© 2017. В.П. Степаненко.

Таблица 1

*Тип, энергоёмкость и места размещения накопителей энергии*

Типы накопителей энергии	Место размещения и энергоёмкость накопителя			
	районная подстанция	тяговая подстанция	тяговая сеть	тяговый подвижной состав
Сверхпроводящие индуктивные СПИН	$\leq 10$ ГДж	—	—	—
Инерционные ИН	—	$\leq 100$ – $200$ МДж	—	$\leq 7$ – $10$ МДж
Суперконденсаторные КДЭС	—	$\leq 100$ МДж	$\geq 50$ МДж	$\leq 5$ – $50$ МДж
Аккумуляторные батареи ЭХН	—	—	—	$\leq 2900$ МДж
Комбинированные				
КДЭС+ ЭХН	—	—	—	$\leq 3000$ МДж

В качестве накопителей энергии в горной промышленности возможно использование сверхпроводящих индукционных накопителей (СПИН), инерционных накопителей (ИНЭ), электрохимических накопителей (аккумуляторов ЭХН), конденсаторов с двойным электрическим слоем КДЭС или суперконденсаторов (см. табл. 1). Наибольшей запасемой энергией обладают СПИН накопители (более 10 ГДж). Запас энергии в инерционных накопителях ИНЭ до 100–150 МДж, КПД 86–90% [1, 2, 9].

В табл. 2 приведены результаты оценочного технико-экономического сравнения традиционных источников энергии с нетрадиционными возобновляемыми источниками. В относительных единицах были оценены капитальные и эксплуатационные расходы и стоимость 1 кВтч электрической энергии при питании от электрических сетей, дизель-генераторных электростанций (работающих на дизельном и водородном топливе), а также аналогичные затраты при питании от ветряных генераторов, солнечных панелей и вакуумных коллекторов [3–5].

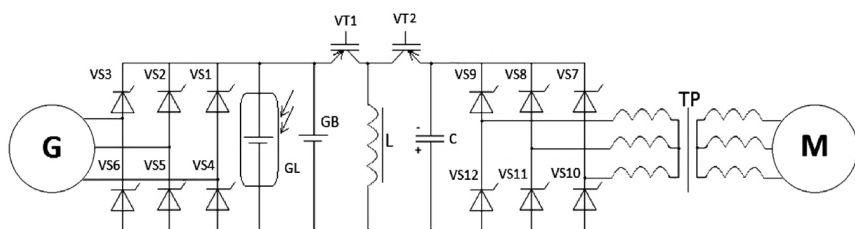
Из анализа табл. 2 следует, что наибольшие капитальные и эксплуатационные затраты и наихудшие технико-экономические показатели присущи дизель-генераторным электрическим станциям. Наименьшую стоимость электроэнергии и низкие эксплуатационные затраты обеспечивают ветровые генераторы и солнечные панели. Вакуумные солнечные коллекторы харак-

Таблица 2

*Технико-экономическое сравнение различных видов источников энергии*

Источник энергии	Относительные затраты			Стоимость 1 кВтч энергии
	капитальные	эксплуатационные за 10 лет	эксплуатационные за 20 лет	
Электрические сети	0,13	0,75	0,63	0,95
Дизельное топливо	1,0	1,0	1,0	1,0
Ветряные генераторы	07	0,6	0,5	0,25
Водород	0,9	0,7	0,6	0,4
Солнечные вакуумные коллекторы	0,8	0,5	0,43	0,32
Солнечные панели	0,6	0,4	0,3	0,2

теризуются большими материалоемкостью и капиталовложениями по сравнению с традиционными электрическими сетями. Эксплуатационные затраты при использовании солнечных вакуумных коллекторов примерно в два раза ниже, чем при питании от дизель-электрических генераторов. Стоимость 1 кВтч электроэнергии, полученной от ветряных генераторов в 4 раз ниже, чем от дизель-генераторов. Стоимость 1 кВтч энергии солнечных вакуумных коллекторов, примерно в 3 раза ниже, чем при питании от электрических сетей и от дизель-генераторных установок. Энергия солнечных панелей в 4 раза дешевле, чем электрических сетей. Расчеты показывают, что использование комбинированных энергосиловых установок, состоящих



*Принципиальная электрическая схема системы автономного электроснабжения:* *G* – электрический трехфазный генератор переменного тока; *M* – асинхронный электродвигатель; *VS1–VS6* – трехфазный мостовой выпрямитель; *VS7–VS12* – трехфазный мостовой инвертор; *Tr* – трансформатор; *GB* – аккумуляторная батарея; *GL* – солнечная батарея, *VT1, VT2* – биполярные транзисторы с изолированным затвором; *VS* – тиристоры; *L* – электромагнитный дроссель с сердечником; *C* – суперконденсатор

из дизель-генераторных электростанций и возобновляемых источников энергии, позволит снизить расход дизельного топлива и смазочных материалов не менее, чем на 30–50%.

На рисунке приведена принципиальная электрическая схема системы автономного электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии.

Электрический трехфазный генератор переменного тока  $G$  приводится во вращение дизельным двигателем, конвертированным на водородное топливо. К генератору  $G$  подключен трехфазный мостовой управляемый выпрямитель на тиристорах  $VS1$ – $VS6$ . Параллельно к выходу выпрямителя  $VS1$ – $VS6$  подключены солнечная  $GL$  и аккумуляторная батарея  $GB$ . Схема накачки энергией суперконденсатора  $C$ , представленная на рисунке, работает на принципе электромагнитного дросселя. В схему накачки входят биполярные IGBT транзисторы с изолированным затвором  $VT1$  и  $VT2$ , электромагнитный дроссель с сердечником  $L$ . При отпирании транзистора  $VT1$  энергия из солнечной и аккумуляторной батарей запасается в дросселе  $L$ . Суперконденсатор  $C$  подключен к входу инвертора напряжения, собранного на тиристорах  $VS7$ – $VS12$ . Накопление электрической энергии в дросселе  $L$  происходит до заданного значения максимального тока (например,  $I_{\max} = 3000$  А). Затем транзистор  $VT1$  размыкает цепь тока в дросселе. Одновременно с запиранием транзистора  $VT1$  открывается транзистор  $VT2$  и очередная порция энергии, запасенной в дросселе  $L$ , поступает в суперконденсатор  $C$ . Вследствие этого напряжение на суперконденсаторе повышается на некоторую величину. Частоту и продолжительность циклов отпирания и запираания транзисторов  $VT1$  и  $VT2$  задает блок управления. К выходу инвертора подключен трансформатор  $Tr$ , к вторичной обмотке которого могут подключаться различные потребители электрической энергии. Повысить экологическую безопасность, снизить расход дизельного топлива не менее, чем в 3–5 раз возможно, используя комбинированные энергосиловые установки КЭСУ с супер конденсаторами и возобновляемыми источниками энергии ВИЭ. Перспективным является использование водорода, который производится в значительных объемах и в России, и в зарубежных странах. Накоплен отечественный опыт использования водорода в качестве топлива в том числе и в горной промышленности. В ГМК «Норильский никель» также велись работы по водородной тематике. По заданию Минуглепрома СССР работы по конвертации рудничных дизелевозов на водо-

родное топливо были выполнены в ИГД им. А.А. Скочинского. В этой работе 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 [13, 14].

### **Выводы**

1. В статье рассмотрены перспективы применения в горной промышленности суперконденсаторных накопителей КДЭС и возобновляемых источников энергии. Установлено, что суммарная потребность горной промышленности в КДЭС составляет не менее 300 000 МДж.

2. Стоимость 1 кВтч электроэнергии электрических сетей примерно в 3 раза дороже энергии солнечных вакуумных коллекторов и в 5 раз энергии солнечных панелей. Стоимость 1 кВтч энергии дизель-генераторных электростанций в 3–6 раз дороже энергии ветряных генераторов, солнечных панелей и вакуумных коллекторов.

3. Использование возобновляемых источников энергии ВИЭ и суперконденсаторных накопителей позволит снизить расход дизельного топлива и смазочных материалов не менее, чем на 30–50%, повысить экологическую безопасность, продлить срок службы аккумуляторных батарей в 2–3 раза.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

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

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

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

4. *Степаненко В. П.* Применение в горной промышленности КЭСУ с возобновляемыми источниками и накопителями энергии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 9. – С. 138–146.

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

6. *Степаненко В. П., Сорин Л. Н.* Актуальность ресурсо- и энергосбережения подземных рудничных локомотивов с комбинированными накопителями энергии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 5. – С. 323–328.

7. *Степаненко В. П., Белозеров В. И.* Применение комбинированных (гибридных) энергосиловых установок горнотранспортных машин //

Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 2. – С. 174–181.

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

9. *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.

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

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

12. *Степаненко В. П.* Повышение энергоэффективности и ресурсосбережения рудничного электровозного транспорта. Вісник Криворізького національного університету. Випуск 42. Україна. – 2016. – С. 20–25.

13. *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). УДК 622.625.28-83(083.96). – М.: ЦНИЭИуголь. – С. 1.

14. *Водородная энергетика имеет в Якутии большой 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, старший научный сотрудник, e-mail: [valestepanenko@yandex.ru](mailto:valestepanenko@yandex.ru), МГИ НИТУ «МИСиС».

Gornyy informatsionno-analicheskii byulleten'. 2017. No. 2, pp. 202–208.

UDC 620.92

**V.P. Stepanenko**

#### **APPLICATION OF SUPERCAPACITORS AND RENEWABLE ENERGY SOURCES IN MINING INDUSTRY**

The discussion is focused on prospects for renewable energy sources (RES) and supercapacitors in the form of container-type diesel power plants (CDPP) in the mining industry. The use of the modern CDPP with RES will enable enhancement of the environmental safety, reduction in diesel fuel and lubrication consumption not less than by 30–50 % and longer service life of accumulator batteries of lower capacity in mine transport. It is advisable to manufacture stationary and mobile CDPP and RES. Mobile CDPP and RES are better to be placed in produc-

tion sites, and stationary equipment is for power supply of housing communities, preparation plants and other surface objects. With this end in view, it is required to upgrade all members of power-supply systems in mines, primarily, systems remote from high-voltage networks and fed by isolated generating plants with alternate diesel generators.

Key words: mining industry, resource-saving, environmental safety, renewable energy sources, power-plants, energy efficiency, supercapacitor, accumulator battery, diesel fuel.

#### AUTHOR

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

#### REFERENCES

1. Stepanenko V.P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 9, pp. 128–137.
2. Stepanenko V.P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 8, pp. 166–174.
3. Stepanenko V.P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 8, pp. 175–182.
4. Stepanenko V.P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 9, pp. 138–146.
5. Stepanenko V.P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 10, pp. 93–104.
6. Stepanenko V.P., Sorin L. N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 5, pp. 323–328.
7. Stepanenko V.P., Belozеров V.I. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 2, pp. 174–181.
8. Stepanenko V.P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 11, pp. 322–328.
9. Stepanenko V.P., Belozеров V.I., Sorin L. N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 5, pp. 317–322.
10. Belozеров V.I., Stepanenko V.P. *Gornaya promyshlennost'*. 2014, no 5, pp. 76.
11. Stepanenko V.P., Sorin L. N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 6, pp. 135–140.
12. Stepanenko V.P. Povyshenie energoeffektivnosti i resursosberezheniya rudnichno-energeticheskogo transporta. *Visnik Krivoriz'kogo natsional'nogo universitetu*. Vipusk 42. Ukraina. 2016, pp. 20–25.
13. 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) (Development of methodology for calculation of energy and weight and dimensional parameters of mining locomotives with reduced exhaust emissions and improved energy performance. Information map no 15/3 (1978)), Moscow, TsNIEIugol', pp. 1.
14. *Vodorodnaya energetika imeet v Yakutii bol'shiy potentsial, chem solnechnaya*. PAO «Yakutenergo». Regional'nyy tsentr biotekhnologii. Respublika Sakha Yakutiya. 2016. <http://greenevolution.ru/>

