

А. С. Данильченко, студент гр. ЭАм – 161(КузГТУ)  
А. Г. Захарова, д.т.н. профессор (КузГТУ)  
Научный руководитель А. Г. Захарова, д.т.н. профессор (КузГТУ)  
г. Кемерово

## **ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ**

На сегодняшний день использование накопителей электрической энергии в транспортных средствах является экономически выгодным и делает эксплуатацию таких транспортов экологически чистой по той причине, что невозобновляемые источники энергии (НВИЭ) дорожают и количество невозобновляемых ресурсов уменьшается, а также при их использовании происходят вредные выбросы в атмосферу. По данным [1] вредные выбросы от сжигания топлива в РФ в 2010 составили 1,583 MtCO<sub>2</sub><sup>1</sup>, в 2013 — 1,658 MtCO<sub>2</sub>, а в 2015 — 1,620 MtCO<sub>2</sub>, при этом среди мировых сообществ Россия занимает 4 место по выбросу CO<sub>2</sub> в атмосферу. Основным антропогенным источником CO<sub>2</sub> является сжигание НВИЭ, таких, как уголь, нефть и природный газ [2]. Так как в отечественной горной промышленности широко используются дизельные установки: дизельные генераторы для питания систем электроснабжения, дизелевозы, локомотивы с двигателями внутреннего сгорания, то часть выбросов CO<sub>2</sub> приходится на горную промышленность. Поэтому вопрос о полной или частичной замене дизельных источников энергии на электрические является актуальным. Кроме того, отказ от дизельного топлива позволит уменьшить количество локальных вредных выбросов в окружающую среду и избавит от необходимости импорта ископаемого топлива [3].

Данную проблему можно решить, внедряя различные накопители энергии, такие, как суперконденсаторы (конденсаторы с двойным электрическим слоем (КДЭС)), электромеханические накопители энергии (ЭМН), электрохимические накопители электрической энергии (ЭХН) [4-6]. Также в настоящее время активно исследуются комбинированные (гибридные) энергосиловые установки (КЭСУ или ГЭСУ) [7-10].

При введении накопителей электрической энергии в подвижной состав электрического транспорта необходимо руководствоваться следующими критериями для обоснования целесообразного их использования [11]:

---

<sup>1</sup> MtCO<sub>2</sub> (Metric tons of carbon dioxide equivalent) – мера, используемая для сравнения выбросов различных парниковых газов.

- удельная энергоемкость, измеряемая в Вт\*ч/кг или Дж/кг, определяющая массогабаритные показатели данного накопителя;
- удельная стоимость накопительного устройства (удельные капиталовложения);
- долговечность, измеряемая общим числом циклов «заряд—разряд» или сроком службы;
- диапазон температур, в котором сохраняется работоспособность накопителя;
- простота и доступность технического обслуживания;
- время заряда накопителя (выбор производится исходя из времени торможения электроподвижного состава);
- время и величина потерь при хранении энергии;
- время реверса;
- скорость и глубина разряда (глубина разряда позволяет снизить величину массогабаритных показателей и величину «мертвого объема»);
- безопасность работы;
- КПД накопительного устройства.

ЭХН запасают и отдают энергию в результате химических реакций. Основными электрическими параметрами аккумуляторов являются: номинальное напряжение и емкость, токи заряда и разряда. Основными режимами работы ЭХН [11] - заряд и разряд, а также промежуточный режим, который обеспечивает хранение электрической энергии на протяжении  $10^4$  ч.

В современной промышленности используются следующие типы аккумуляторов: свинцовые, медно-литиевые, железо – никелевые, никель – кадмиевые, серебряно – цинковые, серно – натриевые и другие. Наиболее распространенными являются свинцовые аккумуляторы, которые получили широкое применение благодаря высокой надежности и невысокой цене [12].

Суперконденсаторы запасают энергию электрического поля. В процессе заряда – разряда не происходит выделения химических веществ, что делает их безопасными в использовании, а также позволяет накапливать электрический заряд вплоть до полной остановки двигателей [4].

К достоинствам суперконденсаторов следует отнести следующие:

- высокая удельная мощность;
- быстрый «заряд – разряд»;
- широкий диапазон рабочих температур: от  $-45$  до  $65$  °C;
- срок службы не менее 10 лет, до 1 млн. циклов «заряда – разряда»;
- герметичность и экологичность;
- малые размеры и масса;

- могут использоваться как дополнение к аккумуляторным батареям.

Основными потребителями суперконденсаторов являются производители электроники, транспорта, энергетики, включая возобновляемую, а также производители силового оборудования.

В настоящее время производством суперконденсаторов в РФ занимаются следующие компании [13]: ЗАО «ЭСМА», г. Троицк, ЗАО «ЭЛИТ», г. Курск, ООО «Технокор», г. Москва, НПО «ЭКОНД», г. Москва и др.

Электромеханическим накопителем (ЭМН) называется устройство, выполняющее функции запаса и хранения механической энергии с последующим её преобразованием и отдачей в форме электрической энергии для дальнейшего использования [11].

Преимущество ЭМН перед остальными накопителями энергии заключается в высокой экологичности и долговечности, и в обладании самой высокой удельной мощностью [14].

Основные достоинства ЭМН:

- высокая удельная мощность;
- высокая удельная плотность запасенной энергии;
- отсутствие влияния циклов «заряда-разрядов» на срок эксплуатации;
- не требуется периодическое обслуживание;
- низкое воздействие на окружающую среду.

Потребителями ЭМН являются тяжелая промышленность, автотранспорт, источники бесперебойного питания, системы повышения качества электрической сети, системы автономного электроснабжения.

Также в настоящее время широко внедряются КЭСУ. Они применяются на современных электромотоциклах, пассажирском и горном транспорте. Использование КЭСУ позволяет добиться повышения экологической безопасности и повысить энергоэффективность, уменьшить расход на НВИЭ в 3 — 5 раз [7-10].

Выводы: в статье рассмотрены современные накопители электрической энергии и возможность их применения в промышленности. Обладая способностью аккумулировать, накопители способны запасать и передавать электрическую энергию, что позволяет повысить экологическую безопасность и снизить расход дизельного топлива. Показана возможность использования комбинированных энергосиловых установок.

#### Список литературы

1. Мировая энергетическая статистика [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru/CO2-intensity-data.html#CO2-emissions-data-from-fuel-combustion.html> (12.11.2016).

2. Углекислый газ в атмосфере Земли [Электронный ресурс]. — Режим доступа:  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Углекислый\\_газ\\_в\\_атмосфере\\_Земли](https://ru.wikipedia.org/wiki/Углекислый_газ_в_атмосфере_Земли)  
(12.11.2016);
3. Энергоэффективность [Электронный ресурс]. — Режим доступа:  
<http://www.iea.org/russian/energyefficiency/> (12.11.2016).
4. Степаненко, В. П. Применение возобновляемых источников энергии и суперконденсаторов на открытых горных работах / В. П. Степаненко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2016. — №8. — С. 175-181.
5. Степаненко, В. П. Пути повышения энергоэффективности и ресурсосбережения горного локомотивного транспорта / В. П. Степаненко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2016. — №9. — С. 129-135.
6. Зинченко, В. Ю. Применение накопителей энергии на горном локомотивном транспорте / В. Ю. Зинченко, Е. Д. Филатова, Ю. Д. Филатова, В. П. Степаненко // Материалы VIII Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум» [Электронный ресурс]. — Режим доступа:  
<http://www.scienceforum.ru/2016/1427/21781>"[www.scienceforum.ru/2016/1427/21781](http://www.scienceforum.ru/2016/1427/21781) (13.11.2016).
7. Степаненко, В. П. Определение параметров накопителей энергии комбинированных силовых установок / В. П. Степаненко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2016. — №8. — С. 166-173.
8. Степаненко, В. П. Применение в горной промышленности КЭСУ с возобновляемыми источниками и накопителями энергии / В. П. Степаненко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2016. — №9. — С. 138-145.
9. Степаненко, В. П. Энергоэффективность подземной локомотивной откатки с гибридными накопителями энергии / В. П. Степаненко, Л. Н. Сорин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2015. — №6. — С. 135-140.
10. Степаненко, В. П. Актуальность ресурсо- и энергосбережения на подземных рудничных локомотивах с комбинированными накопителями энергии / В. П. Степаненко, Л. Н. Сорин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2015. — №5. — С. 323-329.
11. Накопители энергии: Учеб. пособие для вузов / Д. А. Бут, Б. Л. Алиевский, С. Р. Мизюрин, П. В. Васюкивич. — М., 1991. — 400 с.
12. Электроснабжение транспортных объектов: Учеб. пособие: в 2-х кн.: кн II: "Электротранспорт и промышленные предприятия" / В. П. Го-

релов, Г. А. Данилов, Е. Ю. Кислицин и др. — М. — Берлин, 2015. — 379 с.

13. Суперконденсаторы — разработка и производство в России (обзор по теме) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://dv.sartpp.ru/news.php?ID=476> (14.11.16).
14. Электромеханический накопитель энергии [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://renewable.com.ua/energy-storage/45-elektromehanicheskiy-nakopitel-energii.html> (14.11.16).