

УДК 622.684:629.353:621.333.4

І.В. КАСАТКІНА, канд.техн.наук, доц., А.М. СИДОРЕНКО, магістрант  
Криворізький національний університет

## ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АВТОСАМОСКИДІВ У КАР'ЄРІ

Підвищити енергетичну ефективність роботи тягового електроприводу можливо за рахунок використання енергії гальмування великовантажних кар'єрних самоскидів, застосувавши рекуперативне гальмування, як основний спосіб електричного гальмування. Це дає змогу знизити споживання дизельного палива і зменшити забруднення атмосфери кар'єрів, застосувавши комбіновану енергосилову установку, яка міститься в собі дизельний або газотурбінний двигун внутрішнього згорання, електродвигун і потужний накопичувач електричної енергії (акумулятор або електрохімічний конденсатор). Одним з варіантів системи накопичувачів у складі комбінованої енергосилової установки може виступати система з асиметричними суперконденсаторними модулями. Встановлені на автосамоскидах з комбінованою енергосиловою установкою конденсаторні накопичувачі, значно перевершуватимуть акумуляторні батареї та ряд конденсаторів інших типів за техніко-економічними і експлуатаційними показниками. Застосування суперконденсаторів в якості накопичувача енергії в комбінованій енергосиловій установці кар'єрного автосамоскида дозволить виключити роботу дизельного двигуна на допоміжних операціях транспортного циклу, і, отже, скоротити час роботи на часткових і холостих режимах.

**Ключові слова:** енергоефективність, автосамоскиди, рекуперативне гальмування, суперконденсатори

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** На сьогоднішній день система рекуперативного гальмування широко застосовується з метою збільшення дальності пробігу цілого ряду електричних транспортних засобів [1-4]. Найбільш ефективна рекуперативна кінетичної енергії для тих видів транспорту, для яких властивий досить довгий гальмівний шлях.

Рекуперативне гальмування електричного транспорту - це гальмування, при якому електрична енергія, що виробляється тяговими електроприводами, які здатні працювати в генеративних режимах, перетворювати її в іншу форму і повертати в електричну мережу або накопичувати в акумуляторних батареях транспортного засобу. Близько 30% кінетичної енергії під час гальмування перетворюється на теплову енергію, яка за рахунок сили тертя розсіюється в навколишнє середовище, однак частину енергії можна використовувати з метою живлення акумуляторної батареї транспортного засобу і, відповідно, збільшити діапазон його пробігу [2].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Енергію, що виникає при гальмуванні двигунів можна повертати в електричну мережу, здійснюючи повне коригування її параметрів відповідно до параметрів мережі. Провідні виробники промислового устаткування і механізмів вже широко застосовують такі системи. Ці системи знайшли застосування в електротранспорті (електропоїзди, трамваї, тролейбуси, ескалатори). Їх застосування дає змогу знизити споживання дизельного палива і зменшити забруднення атмосфери кар'єрів [3,4].

**Постановка завдання.** Підвищити енергетичну ефективність роботи тягового електроприводу можливо за рахунок використання енергії гальмування великовантажних кар'єрних самоскидів, застосувавши рекуперативне гальмування, як основний спосіб електричного гальмування.

**Викладення матеріалу та результати.** В наш час енергозбереження має особливе значення, охоплюючи більшість сфер промислового виробництва, в тому числі і автотранспорт. Один з перспективних напрямів в розвитку світового автотранспорту - використання комбінованих енергосилових установок (КЕУ), що поєднують дизельний або газотурбінний двигун внутрішнього згорання (ДВС), електродвигун і потужний накопичувач електричної енергії (акумулятор або електрохімічний конденсатор). Особливість роботи КЕУ полягає в зупинці двигуна внутрішнього згорання при спуску автосамоскида в кар'єр і привод електротрансмісії від тягового акумулятора енергії, який заряджається енергією, що рекуперується на спуску [4,5].

У міру неминучого збільшення глибини кар'єрів посилюються вимоги до технічних характеристик кар'єрних автосамоскидів [5,7]. До основних напрямів їх вдосконалення з точки зору технології гірського виробництва, в частковості, можна віднести наступні:

- підвищення подоланного ухилу, при забезпеченні достатнього рівня безпеки;
- підвищення швидкості руху у вантажному напрямі;

зниження викиду шкідливих речовин з газами, що відпрацювали;  
підвищення вантажопідйомності; та ін.

Переліченим вище вимогам відповідають кар'єрні автосамоскиди з КЕУ. У зв'язку з цим розробки по використанню кар'єрного автотранспорту з комбінованим приводом є дуже актуальні і своєчасні. Такий привід дозволить не лише скоротити витрату дизельного палива, але і значною мірою понизити рівень загазованості в кар'єрах, що дасть додатковий економічний ефект при визначенні рознесення бортів і можливої глибини кар'єрів, що розраховуються виходячи з умов вентиляції кар'єру[6,10].

Великовантажні кар'єрні самоскиди (ВКС) типу БелАЗ є технологічним транспортом гірничодобувних підприємств, у собівартості продукції яких витрати на транспортування гірської маси складають до 70%. Зниження транспортних витрат можливе за рахунок використання енергії гальмування ВКС.

Робота автосамоскида в кар'єрі має циклічний характер[5,8]. Основні режими роботи автосамоскида з КЕУ:

- у вантажному напрямку самоскид рухається за рахунок енергії в ДВС;
- розвантаження і рух по відвалу здійснюються за рахунок енергії накопичувача;
- при спуску на нижні горизонти відбувається зарядка накопичувача за рахунок енергії гальмування;
- рух по горизонтальних ділянках колії здійснюється за рахунок енергії накопичувача;
- рух на робочому горизонті, очікування завантаження і установка самоскида під навантаження, запуск ДВС для початку руху навантаженого самоскида здійснюються за рахунок енергії накопичувача.

Так, близько 20% часу технологічного циклу ВКС рухається на спуску в кар'єр, його тягові електричні двигуни (ТЕД) працюють у генераторному режимі, а електрична енергія, що виробляється, розсіюється на гальмових резисторах. Близько 6 % часу технологічного циклу автосамоскиди здійснюють маневрування при установці під навантаження та маневрування при установці під розвантаження. В результаті близько 26 % часу тривалості операцій транспортного циклу, автосамоскиди працюють у генераторному режимі. У цей самий час дизельний двигун приводить в обертання систему генераторів електричної енергії, котра споживається електроустаткуванням ВКС. У цьому полягає низька енергетична ефективність роботи тягового електропривода автосамоскида, тобто енергія, яку виробляють ТЕД у генераторному режимі роботи, використовується нераціонально. У режимі електричного гальмування також знижується подача охолоджуючого повітря до ТЕД. Використання електричного гальмування за рахунок зміни режиму роботи тягового генератора на руховий дозволить знизити витрати дизельного палива і збільшити частоту обертання його валу і, відповідно, подачу охолоджуючого повітря до ТЕД.

Тривалість операцій транспортного циклу для різних типів автосамоскидів представлено в табл. 1.

Таблиця 1.

Тривалість операцій транспортного циклу для різних типів автосамоскидів, с

Операції	Тип автосамоскиду		
	БелАЗ-549	БелАЗ-7519	НД-1200
Очікування навантаження	87,5	105,0	105,0
Маневрування при установці під навантаження	36,8	41,0	36,1
Навантаження	175,0	210,0	210,0
Транспортування гірничої маси:			
рух порожнього на спуск;	252,0	236,3	236,3
рух завантаженого на підйом;	444,7	420,0	378,0
рух, що встановився;	153,3	144,4	135,2
Очікування розвантаження	12,3	10,0	8,5
Маневрування при установці під розвантаження	39,9	44,1	39,1
Розвантаження	61,3	50,0	42,5
Тривалість транспортного циклу	1262,8	1259,4	1190,6

Найбільш тривалі складові часу рейсу - рух з вантажем на підйом, при якому автомобіль запасє потенційну енергію, і рух порожняком при спуску, коли накопичена потенційна енергія розсіюється у вигляді тепла в гальмівних облаштуваннях автосамоскида. Якщо при спуску автосамоскида в кар'єр рекуперувати енергію гальмування і запасати її в накопичувачі енергії, то при маневруванні в кар'єрі, вантаженню і під час руху в робочій зоні тягові двигуни використовуватимуть запасену в накопичувачі енергію, а ДВС буде вимкнений. Такий режим роботи самоскида з КЕУ забезпечить: рух на електротязі без участі ДВС протягом тривалого часу; зниження загазованості кар'єра; економію палива; багаторазове глушіння і надійний запуск ДВС в будь-яких погодних умовах; електроживлення власних потреб транспорту за рахунок конденсаторної системи, без використання штатних акумуляторних батарей; підвищення терміну служби механічної системи гальмування; для газотурбінного двигуна - стабільність вихідних характеристик енергоустановки у всьому діапазоні робочих потужностей.

Однією з основних проблем при використанні кар'єрних автосамоскидів є наднормативне забруднення атмосфери кар'єрів. Існуючі методи вентиляції та провітрювання кар'єрів або недостатньо ефективні, або економічно і енергетично недоцільні [6,10]. Застосування засобів індивідуального захисту для операторів кар'єрної техніки, в тому герметизація кабін з обладнанням їх фільтровентиляційними установками, також не вирішує повністю проблему охорони здоров'я працівників і простоїв гірничого обладнання по причині понаднормативного забруднення робочої зони кар'єру.

Завдяки застосуванню в конструкції автосамоскида з КЕУ газотурбінного двигуна, що має на порядок меншу, порівняно з дизельним двигуном токсичність і задимленість, а також використання газотурбінного двигуна (ГТД) близько 30% всього транспортного циклу, забезпечують автосамоскидам з КЕУ істотно менші викиди шкідливих речовин в атмосферу [2,9].

В комбінованих енергосилових установках важливу роль відіграє потужний накопичувач електричної енергії. Існують такі накопичувачі електричної енергії, як акумуляторні батареї та електрохімічні конденсатори. Акумуляторні батареї не можуть швидко прийняти велику кількість енергії, а «суперконденсатори» не можуть її повільно віддавати.

Найоптимальніший варіант в комбінації цих двох типів накопичувачів електричної енергії. А накопичувати є що. Великовантажний самоскид при русі вниз по серпантину кар'єра, вимушено розсіює, зігріваючи атмосферу, в 1,5 рази більше енергії, ніж йому необхідно для подальшого підйому наверх.

В теперішній час ведуться розробки ефективних накопичувачів енергії, які могли б «рекуперувати» енергію гальмування більш ефективно.

Одним з варіантів системи суперконденсаторних накопичувачів у складі КЕУ може виступати система з асиметричними суперконденсаторними модулями [7,3].

Відмінні якості таких конденсаторів :

- високі питома потужність і енергія;
- широкий інтервал робочих температур (-50÷+70°C);
- термін служби понад 15 років;
- висока надійність і стійкість до значних перевантажень по напрузі і перезаряду без виходу з ладу;
- низький саморазряд;
- відсутність необхідності обслуговування впродовж усього терміну експлуатації;
- безпека в експлуатації;
- відсутність матеріалів, небезпечних для здоров'я людини і довкілля.

При встановленні на автосамоскидах з КЕУ конденсаторних накопичувачів значно перевершуватимуть акумуляторні батареї за техніко-економічними і експлуатаційними показниками, а також ряд вітчизняних і зарубіжних конденсаторів інших типів.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Підвищити енергетичну ефективність роботи ТЕП можливо за рахунок використання енергії гальмування ВКС, застосувавши рекуперативне гальмування, як основний спосіб електричного гальмування.

Це дає змогу знизити споживання дизельного палива і поліпшити умови охолодження ТЕД.

Застосування суперконденсаторів в якості накопичувача енергії в комбінованій енергосилової установці кар'єрного автосамоскида дозволить виключити роботу дизельного двигуна на допоміжних операціях транспортного циклу, і, отже, скоротити час роботи на часткових і холодних режимах. Це дозволить понизити загазованість робочої зони кар'єрів і зменшити витрату палива.

Напрямок по створенню кар'єрного автотранспорту з комбінованими енергосиловими установками технічно реалізуємий і перспективний, оскільки відповідає сучасним тенденціям автомобілебудування.

Накопичувачі, побудовані на основі конденсаторних модулів, будуть затребувані при розробці КЕУ для кар'єрного автотранспорту. У зв'язку з цим робота з дослідження ефективності застосування рекуперативного гальмування, як основного способу електричного гальмування ВКС з комбінованою електроенергетичною установкою є досить важливою і актуальною в сучасних економічних умовах.

### Список літератури

1. Шевченко О.І. Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода кар'єрних самоскидів великої вантажопідйомності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд.техн. наук: спец. 05.09.03 „Електротехнічні комплекси та системи”. – Харків, 2004.– 20 с.
2. Тарасов П.И., Бахтурин Ю.А., Глебов А.В., Ковалев Г.Е. Условия и перспективы применения комбинированных энергосиловых установок на карьерных автосамосвалах// Энергосбережение на карьерном автомобильном транспорте. Материалы международного научно-технического семинара, 24-26 июля 2003 г. -Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2003.
3. Тарасов П.И., Журавлев А.Г. О создании комбинированных энергосиловых установок для карьерных самосвалов // Проблемы карьерного транспорта. Материалы VIII Международной научно-практической конференции, 20-23 сентября 2005 г. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005.
4. Яковлев В.Л., Тарасов П.И. О возможности создания карьерных автосамосвалов с комбинированной энергосиловой установкой. – Горный журнал. –2004. – Специальный выпуск. – С. 78-80.
5. Егоров А.Н. Силовые агрегаты карьерных автосамосвалов [Текст] / А.Н.Егоров, В.Т. Войтов // Горный журнал. – 2004. – Специальный выпуск к № 8. – С.75-77.
6. Филатов С.С. Вентиляция карьеров. – М.: Недра, 1981. – 206 с.
7. И.Н. Варакин, к.х.н., В.В. Менухов, В.В. Самитин, к.т.н., ЗАО «ЭЛТОН», (Троицк, Московская обл.) Перспективы применения электрохимических конденсаторов в составе комбинированных энергосиловых установок на автосамосвалах.- журнал "Горная Промышленность" №3 2008, –79 с.
8. А.Н. Егоров, В.Т. Войтов. Силовые агрегаты карьерных автосамосвалов // Горный журнал. - Специальный выпуск. - 2004.
9. Тарасов П.И. Исследование влияния горнотехнических факторов на расход топлива карьерным автотранспортом: дис. к.т.н. ИГД МЧМ СССР. - Свердловск, 1982. - 238 с.
10. Тарасов П.И. Обоснование технологических параметров углубочного комплекса / П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев, В.О. Фурин // Горное оборудование и электромеханика. —2011. — № 9. — С. 2—10.

Рукопис подано до редакції 21.03.16

УДК 621.311.086.5:621.3.001.57

И.О. СИНЧУК, И.В. КАСАТКИНА кандидаты техн. наук, доц., А.Н. ЯЛОВАЯ аспирант,  
Криворожский национальный университет  
Н.Н. ЮРЧЕНКО д-р техн. наук, проф., Институт электродинамики НАН Украины

### ОЦЕНКА НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Рассмотрены методы оценки закономерностей влияния комплекса технических и технологических факторов на уровень потребления электрической энергии и обоснование выбора направлений повышения энергоэффективности добычи железорудного сырья в условиях подземных горнорудных предприятий. Предложен комплексный подход к решению задачи повышения электроэнергоэффективности добычи ЖРС путем применения системы контроля, оценки и управления этим процессом с учетом обоснованных прогнозных технологических слагаемых, который позволит достичь желаемого эффекта в анализируемой проблеме – сокращения уровня потребления электрической энергии.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, электроэнергосатраты, железорудное сырье