

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Шевченко Олександр Іванович

УДК 62-83: 629.353

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ  
ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА КАР'ЄРНИХ САМОСКИДІВ  
ВЕЛИКОЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ**

Спеціальність 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Кременчуцькому державному політехнічному університеті  
Міністерства освіти і науки України, м. Кременчук

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор

**Сінчук Олег Миколайович,**  
ВАТ "Електромашина",  
директор інженерного центру, м. Харків

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

**Гончаров Юрій Петрович,**  
Національний технічний університет  
“Харківський політехнічний інститут”,  
професор кафедри промислової та  
біомедицинської електроніки, м. Харків

кандидат технічних наук,

**Буряковський Сергій Геннадійович,**  
Українська державна академія залізничного транспорту,  
доцент кафедри систем електричної тяги, м. Харків

Провідна установа - Національний гірничий університет,  
кафедра електропривода,  
Міністерства освіти і науки України, м. Дніпропетровськ

Захист відбудеться 4 березня 2004 р. о 14-30 годині на засіданні  
спеціалізованої Вченої ради Д 64.050.04 у Національному технічному університеті “Харківський  
політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул.Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харків-  
ський політехнічний інститут”

Автореферат розісланий 29 березня 2004 р.

Вчений секретар спеціалізованої Вченої ради

О.В.Осічев

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Гірничо-металургійна галузь в Україні є, і, за прогнозами на подальші 25 - 30 років, залишиться базовою для наповнення бюджету і валютних запасів країни. У той самий час для неї характерна висока енергоємність виробництва продукції (у чорній металургії - 11.0 коп/1грн). У числі основних енергозберігаючих заходів комплексної державної програми енергозбереження передбачені заходи щодо здійснення перевезень на базі енергооптимальних технологій.

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.

Так, близько 30% 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. У цей самий час дизельний двигун (ДД) приводить в обертання систему генераторів електричної енергії, котра споживається електроустаткуванням ВКС. У цьому полягає низька енергетична ефективність роботи тягового електропривода (ТЕП) автосамоскида, тобто енергія, яку виробляють ТЕД у генераторному режимі роботи, використовується нерационально. У режимі електричного гальмування (ЕГ) також знижується подача охолоджуючого повітря до ТЕД. Використання ЕГ за рахунок зміни режиму роботи тягового генератора (ТГ) на руховий дозволить знизити витрати дизельного палива (ДП) і збільшити частоту обертання його вала і, відповідно, подачу охолоджуючого повітря до ТЕД.

У зв'язку з цим робота з дослідження ефективності застосування рекуперативного гальмування (РГ) як основного способу електричного гальмування ВКС з автономною електроенергетичною установкою (АЕЕУ) є досить важливою і актуальною в сучасних економічних умовах. Ідея ефективного застосування рекуперативного гальмування щодо ТЕП ВКС належить професору Д.Й. Родькіну.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до координаційного плану НАН України на 1996-2000 р.р. ("Наукові основи електроенергетики" п. п. 1.9.2.2.1.2.8, 1.9.2.2.1.3.3, 1.9.2.2.1.3.4.) державної науково-технічної програми на 1995-2000 рр. пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки, п. 04.00, п. 04.11 комплексного проекту Держкомітету України з питань науки, техніки і промислової політики, а також відповідно до плану НДР, затвердженого радою Кременчуцького державного політехнічного університету на 1999-2003 рр. Дисертаційна робота ґрунтується на результатах науково-дослідних і дослідницько-конструкторських робіт, виконаних за участю автора у Кременчуцькому державному політехнічному університеті (тема ЗД/99-АПП, №0199V004068 "Дослідження і розробка теорії

енергозбереження й енергозберігаючого електромеханічного устаткування").

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода ВКС з АЕЕУ шляхом використання ЕГ в умовах кар'єрів.

Для досягнення зазначеної мети вирішувалися такі основні задачі:

1. Створення математичних моделей елементів електромеханічної системи для аналізу роботи ТЕП ВКС в умовах глибоких кар'єрів і визначення тактики ведення досліджень на вибір способів і схемотехнічних рішень для підвищення енергетичної ефективності їхнього електроустаткування.

2. Аналіз енергетичних режимів ТЕП ВКС при рекуперації енергії гальмування і встановлення меж потужності рекуперації з урахуванням характеристик первинного двигуна.

3. Розробка методики синтезу систем управління (СУ) тяговим електроприводом ВКС у режимі РГ і визначення характеру їхнього функціонування в динамічних і статичних режимах.

4. Оцінка вірогідності пропонованої методики досліджень і визначення впливу технологічних умов експлуатації ВКС (уклону дороги, швидкості руху на спуску, маси автосамоскида) на показники енергетичної ефективності ТЕП у цілому.

*Об'єкт дослідження* - процес використання енергії гальмування ВКС.

*Предмет дослідження* - тяговий електропривод ВКС у режимі гальмування.

*Методи дослідження.* При рішенні поставлених задач використовувалися методи узагальненого пошуку оптимальних структур СУ, теорії автоматизованого електропривода, теорії автоматичного керування та математичного моделювання з використанням комп'ютера.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному:

8. встановлено, що підвищення енергетичної ефективності роботи ТЕП автосамоскидів з АЕЕУ в результаті зниження споживання ДП, а також поліпшення охолодження ТЕД можливе при застосуванні комбінованого гальмування, яке вирізняється тим, що основним видом гальмування є рекуперативне;

9. уперше досліджені енергетичні процеси при основному рекуперативному і додатковому електродинамічному гальмуванні (ЕДГ) ВКС з АЕЕУ; отримані аналітичні залежності потужності рекуперації та годинної витрати ДП від уклону дороги, маси й швидкості руху ВКС у режимі РГ, а також встановлена залежність збільшення частоти обертання вала ДД від потужності рекуперації. Встановлено, що потужність рекуперації повинна бути обмежена з урахуванням забезпечення технічних умов експлуатації ДД (частота обертання вала, температура охолоджуючої рідини);

10. отримано математичну і фізичну моделі ТЕП, що дозволяють урахувати особливості основного рекуперативного гальмування ВКС з АЕЕУ і дослідити роботу ТЕП у режимі РГ. Показано, що в режимі рекуперації знижується витрати ДП і що на всьому діапазоні зміни маси ав-

тосамоскида й уклону дороги, що відповідають технічним умовам експлуатації ВКС, забезпечується задана швидкість руху і припустимі режими експлуатації електроустаткування та ДД;

11. уперше встановлена залежність кількості зекономленого ДП у технологічному циклі від уклону дороги, маси та швидкості руху ВКС при РГ. Установлено, що максимальна економія палива в технологічному циклі ВКС досягається при значенні потужності рекуперації в момент припинення або досягнення мінімуму споживання ДП.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в:

12. поглибленні теоретичних уявлень щодо використання енергії гальмування ВКС з автономною електроенергетичною установкою і електромеханічною трансмісією;

13. розробці методики щодо синтезу системи управління ТЕП ВКС з режимом РГ і рекомендацій щодо використання енергії гальмування з метою поліпшення охолодження ТЕД;

14. отриманні залежності економії дизельного палива від технологічних умов експлуатації ВКС, що дозволяє оцінити доцільність застосування режиму рекуперації в конкретних умовах;

15. розробці пропозиції щодо модернізації ТЕП автосамоскидів типу БелАЗ, які передані на РУП "Білоруський автомобільний завод" (м. Жодіно, Республіка Біларусь);

16. використанні результатів досліджень при проектуванні першого вітчизняного дизель - потяга ДЕЛ-01 Холдинговою компанією "Луганськтепловоз";

17. використанні теоретичних положень дисертації в навчальному процесі при підготовці курсу лекцій з дисципліни "Системи керування електроприводом", а також аспірантами та студентами в наукових дослідженнях відповідної тематики.

**Особистий внесок здобувача.** Здобувачем сформульована постановка задач досліджень, проведено аналіз можливих шляхів підвищення ефективності використання ВКС, розроблені функціональні схеми систем управління ТЕП постійного, змінно-постійного і змінного струму в режимі РГ, розроблені математичні моделі ТЕП постійного струму в режимі РГ і проведений аналіз статичних і динамічних властивостей ТЕП, проведені дослідження, що дозволяють визначити вплив технологічних умов експлуатації ВКС на зниження витрати ДП у технологічному циклі й оцінити доцільність застосування ВКС з режимом рекуперації.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові положення і результати дисертаційної роботи повідомлені на п'ятьох міжнародних науково-технічних конференціях: "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика" (Крим, Алушта, 2001, 2003 рр.), "Проблеми створення нових машин і технологій" (м. Кременчук, КДПУ, 2001 р.), "Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації" (м. Кременчук, КДПУ, 2002, 2003 рр.), а також на науково - технічних радах концерну "Укррудпром" (м. Кривий Ріг, 2000, 2002 рр.) та холдингової компанії "Луганськтепловоз" (м. Луганськ, 2003 р.), на наукових семінарах кафедри САУЕ КДПУ про-

тягом 2000-2003 років.

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковані в 12 наукових працях, надрукованих у виданнях, затверджених ВАК України, з них 1 патент на винахід.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків та 4 додатків. Повний обсяг дисертації становить 197 сторінок, в тому числі 66 ілюстрацій та 14 таблиць по тексту; 12 ілюстрацій на 7 сторінках; 11 таблиць на 5 сторінках; 5 додатків на 25 сторінках та 96 найменувань використаних літературних джерел на 8 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** подано загальну характеристику роботи, сформульовані мета та задачі досліджень. Показана актуальність роботи, визначено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

**У першому розділі** проаналізовані експлуатаційні характеристики тягових електричних машин і електроенергетичної установки ВКС. Проаналізовано шляхи підвищення ефективності використання кар'єрного автомобільного транспорту і, зокрема, заходи для підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода ВКС. Показано, що низька ефективність роботи ТЕП полягає в нераціональному використанні енергії, що виробляють електричні машини в режимі ЕГ, а також у недостатньому охолодженні ТЕД під час спуску ВКС у кар'єр.

Були проаналізовані способи використання енергії гальмування ВКС. Установлено, що відомі рішення, що можуть здійснити рекуперацію енергії гальмування автомобіля, не тільки не дозволяють повною мірою її використовувати, але і не виключають аварійні режими. Ефективне використання рекуперативного гальмування ВКС має на увазі максимальне зниження витрат палива дизельним двигуном, підвищення продуктивності системи охолодження ТЕД та забезпечення припустимих режимів експлуатації електроустаткування й ДД.

**У другому розділі** проведено аналітичне дослідження енергетичних процесів у ТЕП при рекуперації енергії гальмування ВКС з АЕЕУ, що являє собою систему ДД-ТГ. Проаналізовано спільну роботу ДД і ТГ при збігу напрямку їхніх обертаючих моментів. Доведено, що момент опору обертанню, що створює ДД, може бути врахований лінійною залежністю

$$M_m(\omega) = M_{\min} + K_m(\omega - \omega_{\min}), \quad (1)$$

де  $M_{\min}$  - момент, що відповідає потужності механічних утрат  $N_m$  при мінімальній частоті обертання вала дизельного двигуна  $\omega_{\min}$ , Нм;  $K_m$  - коефіцієнт пропорційності, Нмс/рад;  $\omega$  - частота обертання вала ДД, рад/с. Установлено, що потужність механічних утрат ДД складає 60-70% його індикаторної потужності в гальмовому режимі роботи трансмісії.

Проаналізовано швидкісні й навантажувальні характеристики ДД при незмінному положенні органа керування подачі ДП, що відповідає режиму ЕГ. Показано, що у режимі РГ, коли моменти ТГ і ДД, що крутять, збігаються, відбувається зниження годинної витрати ДП до нуля (рис.1).

Установлено, що індикаторна потужність ДД у режимі РГ

$$N_i = N_{ea} + N_m - N_p, \quad (2)$$

де  $N_{ea}$  - ефективна потужність на валі ДД без рекуперації (власні потреби ВКС), кВт;  $N_m$  - потужність механічних утрат ДД, кВт;  $N_p$  - потужність рекуперації, кВт.

Потужність механічних утрат  $N_m = M_m \cdot \omega$ , де  $M_m$  визначається за формулою (1). Потужність рекуперації являє собою потужність на валі ТГ ( $N_p = N_{mz}$ ), визначається за формулою

$$N_p = (G \cdot V \cdot \sin \alpha - K_g \cdot A_g \cdot V^3 - f \cdot G \cdot V \cdot \cos \alpha) \cdot \eta_p \cdot \eta_{mz} \cdot \eta_{m\delta}, \quad (3)$$

де  $V$  - швидкість руху ВКС у режимі електричного гальмування, м/с;  $G$  - вага автосамоскида, Н;  $\alpha$  - кут нахилу профілю дороги, град;  $K_g$  - коефіцієнт опору повітря, Нс<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;  $A_g$  - площа перетину ВКС, м<sup>2</sup>;  $f$  - середнє значення коефіцієнта опору коченню;  $\eta_{m\delta}$ ,  $\eta_{mz}$ ,  $\eta_p$ , - к.к.д. ТЕД, ТГ і колесного редуктора.

Годинна витрата палива дизельним двигуном  $Q$ , кг/ч, визначається за формулою  $Q = q_i \cdot N_i$ , де  $q_i$  - індикаторна питома витрата палива, кг/кВт\*год. З урахуванням (2) і (3), годинна витрата ДП у режимі РГ

$$Q = q_i \cdot (N_{ea}(\omega) + N_m(\omega) - N_p(G, V, \alpha)). \quad (4)$$

Для навантаженого автосамоскида БелАЗ-7509 ( $G=1402$ кН) припинення споживання ДП у режимі РГ досягається, як це видно з рис. 2, при швидкості руху 20 км/год на уклоні 5%, або при 30 км/год на уклоні 4%. При русі ВКС по спуску з уклоном менше 3% потужність гальмування недостатня для використання із зазначеною метою.

Установлено, що для забезпечення допустимих обертів вала та температурного режиму ДД при роботі ТЕП у режимі РГ, потужність рекуперації  $N_p$  повинна бути обмежена граничним значенням  $N_{zp}$ , при якому досягається або максимальна частота обертання ДД  $\omega_{\max}$ , або мінімальне значення споживання ДП  $Q_{\min}$  (останнє визначає тепловий режим ДД в умовах тривалого спуску).

Потужність рекуперації, при якій припиняється витрата палива дизельним двигуном 6ДМ21А потужністю 732 кВт, складає близько 110 кВт при  $\omega = 122$ с<sup>-1</sup>. Якщо потужність гальмування на валі ТЕД з урахуванням утрат енергії перевищує встановлене значення  $N_{zp}$ , надлишкова потужність повинна бути розсіяна на гальмівних резисторах або спрямована у різного роду нако-

пичувачі енергії. Значення надлишкової потужності може бути визначено за формулою

$$N_r = (G \cdot V \cdot \sin \alpha - f \cdot G \cdot V \cdot \cos \alpha - K_g \cdot A_g \cdot V^3) \cdot \eta_p \cdot \eta_{m\partial} - N_{cp} / \eta_{mz}.$$

Отже, для збільшення паливної економічності ДД у роботі рекомендовано використання рекуперативного гальмування як основного способу електричного гальмування ВКС. Крім того, додатковими засобами комбінованого ЕГ може бути електродинамічне та гальмування противключенням.

При рекуперації збільшується частота обертання вала ДД і, відповідно, збільшується подача охолоджуючого повітря до ТЕД. Установлено, що залежність збільшення частоти обертання вала ДД від потужності рекуперації складається з двох практично лінійних ділянок (рис. 3). Точка перегину графіка відповідає потужності рекуперації, при якій припиняється споживання ДП. При цьому збільшення частоти обертання вала ДД сягає 6-8%. При потужності рекуперації, коли досягається номінальна частота обертання вала (1500 об/хв.), збільшення частоти обертання близько 36%. У зв'язку з незначним збільшенням частоти обертання вала ДД до моменту припинення споживання ДП, у разі недопущення припинення споживання ДП у режимі РГ, рекомендовано для подальшого збільшення продуктивності системи охолодження ТЕД використовувати додатковий вентилятор з електроприводом. Для його живлення необхідно використовувати перетворену енергію гальмування ВКС.

**Третій розділ** присвячено синтезу функціональних схем ТЕП у режимі рекуперації енергії гальмування і визначення характеру їхнього функціонування в динамічних і статичних режимах.

Проаналізовано статичні режими ТЕП постійного струму. Встановлено, що максимум моменту ТГ, що крутить, досягається при значенні магнітного потоку ТГ, що може бути визначений за формулою  $k\Phi_{mz \max} = \frac{k\Phi_{m\partial} \cdot \omega_{m\partial}}{2\omega_{mz}} = \frac{E_{m\partial}}{2\omega_{mz}}$ , де  $k\Phi_{m\partial}$  - конструктивний коефіцієнт і потік збудження

ТЕД, Вс/рад;  $\omega_{mz}, \omega_{m\partial}$  - частоти обертання валів ТГ і ТЕД, рад/с;  $E_{m\partial}$  - електрорухома сила ТЕД, В.

Установлено, що при побудові СУ ТЕП з режимом РГ необхідно враховувати наявність максимуму залежності моменту ТГ від його потоку збудження. Для підвищення ефективності режиму рекуперації та зниження втрат потужності в якірному колі системи ТГ-ТД збудження ТГ повинне змінюватися пропорційно електрорухокій силі ТЕД.

Розглянуто способи обмеження потужності рекуперації. Установлено, що особливості побудови СУ ТЕП у гальмових режимах значною мірою визначаються способами збудження ТЕД. Для ТЕП постійного струму розроблені й досліджені системи з незалежним збудженням ТЕД (при постійному та змінному магнітного потоці) та при їх самозбудженні при РГ.

Для синтезу СУ застосований метод узагальненого пошуку оптимальних структур ТЕП у режимі гальмування, детально пророблений у працях д.т.н., професора Сінчука О.М. стосовно



електрифікованого рейкового транспорту.

При постановці багатокритеріальної задачі за вибором оптимальної для даних експлуатаційних умов структури ТЕП ВКС необхідні визначення й об'єктивна оцінка безлічі вихідних даних  $D$ , що складається з умов  $U$  роботи ТЕП, обмежень  $O_s$  на структуру і параметри ТЕП, складу вектора  $K$  показників якості й обмежень  $O_k$  на показники якості  $D = \{U, O_s, K, O_k\}$ .

Вектор  $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$  описує параметри ТЕП. Вектор  $K = (K_1, \dots, K_m)$  включає ті показники якості, що враховуються при пошуку структури ТЕП. До найбільш важливих показників якості належать енергетичні показники ТЕП (потужність рекуперації, втрати потужності в якірному ланцюзі системи ТГ-ТЕД), діапазон регулювання частоти обертання вала ТЕД, а так само параметри, що характеризують режим роботи ДД: витрата палива, частота обертання вала, температура охолоджуючої рідини. При цьому необхідно знайти таку структуру ТЕП, що, задовольняючи вихідним даним, забезпечувала б найкраще можливе значення вектора  $K$ .

Математичний опис задачі багатокритеріальної оптимізації  $K_i(x) \rightarrow \frac{\min}{x \in O_s}, i = 1, 2, \dots, m$ .

Рішенням багатокритеріальної задачі є безліч Парето  $O_s^*$ , що входить у  $O_s$  і відповідає підмножині  $D^*$ . Саме ця підмножина  $O_s^*$ , будучи компромісною, і містить рішення задачі. При використанні додаткової інформації багатокритеріальна задача зводиться до однокритеріальної  $K(\bar{X}) = W(\bar{K}(\bar{X}))$ , де  $K(\bar{X})$  - скалярна функція, мінімум якої на  $O_s^*$  є рішенням вихідної задачі;  $W$  - згортка функції  $K(\bar{X})$ , яка використовує додаткову інформацію. Рішення задачі дає значення вектора  $\bar{X}^*$ , що характеризує параметри оптимальної структури ТЕП  $K(\bar{X}) = \min K(\bar{X})$ .

Процеси, що протікають у ТЕП, здійснюються протягом визначеного періоду  $t$ , а перехід системи з однієї ситуації до іншої здійснюється стрибком, тому доцільно застосовувати причинно-наслідкове моделювання при рішенні задач оптимізації. Запропоновано застосувати математичний апарат мережі Петрі, що дозволяє одержати інформацію про систему у вигляді мережі, що добре аналізується.

Приклад побудови системи електропривода із самозбудженням ТЕД у режимі РГ зображений на рис. 4, де позначено: ОЗД1- обмотка збудження ТЕД1; ОЗТГ - обмотка збудження ТГ; ДСР, ДСР, ДСЗ - датчики струмів рекуперації, ЕДГ й збудження ТГ; РСР, РСР, РЗГ - регулятори струмів рекуперації, ЕДГ й збудження ТГ; РШ, ДШ – регулятор і датчик швидкості руху ВКС; РЗГ - регулятор збудження ТГ; блок ВП – споживання енергії дизеля на власні потреби ВКС (ГПВ – генератор власних потреб ВКС, ВСО – вентилятор системи охолодження ТЕД), ПІГ й ПІР - імпульсні перетворювачі в контурах регулювання струмів рекуперативного й ЕДГ.

Обмеження потужності рекуперації залежить від температури дизеля. При цьому досяга-

ється обмеження максимальної частоти обертання вала ДД чи мінімального рівня споживання ДП. Завдання струму збудження ТГ здійснюється залежно від електрорухомої сили ТЕД. Контури регулювання струмів рекуперативного й електродинамічного гальмування кожного ТЕД роздільні, але мають загальні напруги, що задають ( $U_{zmp}$  і  $U_{zmr}$ ).

Мережа Петрі (МП) для даного режиму показана на рис. 5, де Р- безліч позицій, Т- безліч переходів. Операції в системі зображені подіями:  $t_1$  – завдання частоти обертів вала ДД;  $t_2$  – ТГ віддає енергію гальмування на ДД;  $t_3$  - ПІГ подає сигнал на ТГ;  $t_4$  - ТД подає сигнал на ОВД і ПІГ;  $t_5$  - ТД подає сигнал на ДШ;  $t_6$  - ДШ подає сигнал на РВГ;  $t_7$  - РЗГ подає сигнал на ОЗТГ;  $t_8$  - сигнал з ОЗТГ подається на ТГ;  $t_9$  - задається необхідна швидкість;  $t_{10}$ - подається сигнал на регулятор швидкості руху РШ;  $t_{11}$  - РШ подає сигнали на нелінійні елементи;  $t_{12}$  - нелінійний елемент подає сигнал на ПІР;  $t_{13}$  - ПІР подає сигнал на резистор ЕДГ  $R_T$ ;  $t_{14}$  - ТЕД подає сигнал на ПІР;  $t_{15}$  - нелінійний елемент подає сигнал на ПІГ;  $p_1$  – важіль, що завдає оберти вала ДД;  $p_2$  - ДД;  $p_3$  - власні потреби ВКС;  $p_4$  - ТГ;  $p_5$  - ПІГ;  $p_6$  - ТД;  $p_7$  - ОЗД;  $p_8$  - ДШ;  $p_9$  - РШ;  $p_{10}$  - РВГ;  $p_{11}$  - ОЗТГ;  $p_{12}$  - регулятор швидкості руху ВКС;  $p_{13}$  - нелінійний елемент;  $p_{14}$  - нелінійний елемент;  $p_{15}$  - ПІР;  $p_{16}$  - резистор ЕДГ  $R_T$ .

Аналіз роботи МП дозволяє зробити деякі попередні висновки щодо принципової працездатності систем. Подальше дослідження структур було зроблено методом математичного моделювання на ЕОМ із використанням пакета "MATLAB". Це дозволило провести синтез СУ рішенням диференціальних рівнянь, що описують процеси в системі, з варіацією вихідних параметрів прийнятих коригувальних пристроїв, і відшукування необхідних параметрів, що забезпечують необхідну якість динамічних режимів та досягнення максимальної ефективності режиму рекуперації (підвищення паливної економічності ДД).

Основні рівняння, що описують модель ТЕП у режимі рекуперації:

де  $\omega$  - частота обертання вала ДД;  $\omega_0$  - частота обертання вала ДД, при якій  $N_i=0$  (рис.1);  $\omega_{m0}$  – частота обертання вала ТЕД;  $K_{dmr}$ ,  $K_{dmp}$  – коефіцієнти передачі датчиків струмів ЕДГ і РГ;  $M_k$  – момент на валі ТЕД від окружної сили, що докладена до ведучого колеса ВКС;  $M_{m0}$  - гальмовий момент на валі ТЕД;  $J_a$  – сумарний момент інерції ТЕД і момент інерції від маси ВКС, що рухається поступово, приведений до вала ТЕД;  $J$  - сумарний момент інерції ДД і механізмів, що приводяться в обертання, приведені до вала ДД;  $R_{\omega 0}$ - еквівалентний опір якорного кола ТГ-ТЕД;  $T_{o\omega 0}$ ,  $T_{\omega}$ , - постійні часу кола збудження ТГ, якорного кола ТГ-ТЕД;  $K_{po}$ ,  $K_{pmr}$ ,  $K_{pmp}$ ,  $K_{pc}$  - коефіцієнти підсилення регуляторів частоти обертання ДД, струму ЕДГ і струму рекуперації, швидкості ВКС (регулятора частоти обертання вала ТЕД);  $r_k$ - радіус ведучого колеса;  $u_p$ - коефіцієнт колесного редуктора.

Для оцінки якості роботи СУ контролювалися наступні параметри: струми якоря, збудження та магнітні потоки тягових електричних машин; струм через гальмові опори; момент і частота

обертання вала електричних машин і ДД; годинна витрата палива; швидкість руху ВКС на спуску. Останні три параметри є основними при оцінці працездатності й енергетичної ефективності ТЕП у режимі рекуперації. Осцилограми розрахунків параметрів ТЕП за допомогою математичної моделі (яка відповідає структурній схемі на рис. 4) при заданні швидкості спуску 10, 20, 30 і 0, км/год, на дорозі з уклоном 7.5% для ненавантаженого ВКС зображені на рис. 6, де позначено:  $V$  - швидкість руху ВКС, км/год;  $\omega$  - частота обертання вала ДД, рад/с;  $Q$  - годинна витрата палива, кг/год;  $I_p$  - струм рекуперації (струм якоря ТГ), А;  $I_r$  - струм через гальмовий резистор  $R_m$ , А.

Рис. 6. Осцилограми розрахунку параметрів ТЕП при заданні швидкості спуску ВКС 0-30 км/год на дорозі з уклоном 7.5%, а) - при обмеженні мінімуму витрати палива значенням 9.9 кг/год (зниження годинної витрати на 50%), б) - при обмеженні частоти обертання вала ДД ( $n=1550$  об/хв)

З осцилограм видно, що при збільшенні максимального струму рекуперації з 200А до 400А струм через гальмовий резистор (струм ЕДГ) знижується з 250А до 50А, сума струмів залишається незмінною. Отже, основним режимом є рекуперативне гальмування, бо СУ забезпечує режим електричного гальмування у першу чергу за рахунок струму рекуперації. Тільки в разі досягнення значення обмеження струму рекуперації додається режим ЕДГ.

Проведене комп'ютерне дослідження засвідчило, що в усьому діапазоні зміни маси автосамоскида й уклону дороги, що відповідають технічним умовам експлуатації ВКС типу БелАЗ-7509, забезпечується задана швидкість руху і припустимі режими експлуатації електроустаткування і дизельного двигуна. Отже, для ВКС з автономною електроенергетичною установкою можливе застосування РГ як основного способу ЕГ.

**Четвертий розділ** дисертаційної роботи присвячено оцінці вірогідності пропонованої методики досліджень методом фізичного моделювання режиму рекуперації енергії гальмування. Тактика проведення комплексу експериментальних досліджень містила в собі дослідження на обкатному стенді ДД гірничо-транспортного цеху Полтавського ГЗКа і на фізичній моделі в реальних умовах. На обкатному стенді при прокручуванні тяговим генератором дизеля 8ДМ-21А експериментально визначена залежність потужності, що споживає ТГ у руховому режимі роботи, від частоти обертання вала системи ДД - ТГ. У сталому режимі ця потужність, за винятком потужності втрат у якірному колі ТГ, дорівнює потужності механічних утрат системи ДД-ТГ. Для фізичного моделювання режиму рекуперації енергії гальмування ТГ автосамоскида БелАЗ-7512 був підключений до керованого перетворювача обкатного стенда. При споживанні тяговим генератором електричної енергії від перетворювача відбувається зниження навантаження ДД і, відповідно, зниження споживання ДП, завдяки чому імітувався режим рекуперації енергії гальмування. Вимір споживання ДП провадився при постійних значеннях потужності рекуперації. На рис. 7 зображені

графіки залежностей витрати палива від потужності рекуперації, які отримані розрахунковим (3) і експериментальним (1) шляхами. Незначну розбіжність результатів, що не перевищує 10%, можна пояснити використанням експериментальних даних при проведенні теоретичних розрахунків.

**У п'ятому розділі** аналізується вплив технологічних умов експлуатації ВКС на зниження витрати ДП у технологічному циклі з рекуперацією енергії гальмування. Зазначений аналіз зроблений у діапазонах зміни значень уклону дороги 3-10% і швидкості руху на спуску 5-30 км/год, для ненавантаженого (667000Н) та навантаженого (1402000Н) ВКС типу БелАЗ-7509. Глибину спуску в технологічному циклі ВКС прийнято 90 м, що відповідає значенню, закладеному в собівартості продукції залізно-рудного кар'єру "ПолтавГЗК". Довжина горизонтальної ділянки дороги - 0.5км. Середня швидкість на підйомі з вантажем прийнята 10 км/год, без вантажу - 15 км/год, швидкість руху на горизонтальній ділянці з вантажем - 12 км/год, без вантажу - 18 км/год.

Абсолютне зниження витрати палива на ділянці спуску (чи в технологічному циклі БКС) визначимо за формулою  $\Delta Y = Y_c - Y_{cp}$ , де  $Y_c$  - витрата палива на ділянці спуску без режиму рекуперації, кг;  $Y_{cp}$  - витрата палива на ділянці спуску в режимі РГ, кг;  $Y = Q \cdot t_c$ ,  $t_c = h / (i \cdot V)$ , де  $t_c$  - час руху на ділянці спуску, год;  $h$  - глибина спуску, м;  $Q$  - годинна витрата ДП, кг; у режимі РГ визначається за формулою (3), без режиму РГ- за формулою  $Q_c = q_{ic} (N_{ec} + N_m)$ . З урахуванням цього

$$\Delta Y = q_{ic} ((N_{ec} + N_m) - (N_{ea} + N_m) + V \cdot (G_a \cdot \sin \alpha - f \cdot G_a \cdot \cos \alpha - K_g \cdot A_g \cdot V^2) \cdot \eta_p \cdot \eta_{mz} \cdot \eta_{md}) \cdot h / (i \cdot V). \quad (5)$$

Відносне зниження витрати палива  $P(\%)$  у результаті рекуперації енергії гальмування за технологічний цикл ВКС визначається за формулою  $P\% = 100 \cdot \Delta Y / Y_c$ , де  $Y_c$  - витрата палива в технологічному циклі без режиму рекуперації, кг, визначається за формулою  $Y_c = \sum_{k=1}^n q_k \cdot N_k \cdot t_k$ , кг, де  $q_k$  - ефективна питома витрата палива, що відповідає режиму роботи ДД, кг/кВт\*год,  $N_k$  - потужність ДД на  $k$ -тій ділянці дороги, кВт.  $t_k$  - тривалість руху на  $k$ -тій ділянці дороги у технологічному циклі, год.

Установлено, що залежність економії дизельного палива в технологічному циклі ВКС від уклону дороги та швидкості руху має екстремум, що відповідає потужності гальмування в момент припинення споживання ДП. Економія палива в технологічному циклі зі спуском ненавантаженого ВКС типу БелАЗ-7509 може досягти 8% (при швидкості руху на спуску 15 км/год), зі спуском навантаженого - 22% (при 10 км/год), як це видно з рис.8.

Прийнявши ряд спрощень у формулі (5), для руху ВКС у режимі РГ із витратою палива одержимо формулу  $\Delta Y = G \cdot h \cdot (1 - f / i)$ , з якої випливає, що режим РГ можливий, якщо  $i > f$ , а

значення економії палива за технологічний цикл пропорційно масі ВКС і зростає зі збільшенням уклону дороги, практично не залежить від швидкості руху на ділянці спуску. При русі на спуску з припиненням споживання ДП  $\Delta Y_c = 0$  формула (5) набуде вигляду  $\Delta Y = q_{ic} \cdot (N_{ec} + N_m) \cdot h / (i \cdot V)$ , з якої випливає, що після досягнення максимуму (в момент припинення споживання ДП) значення економії палива починає зменшуватися з ростом швидкості руху й уклону дороги при заданій глибині спуску. Максимальне можливе значення економії, як це видно з рис.8, збільшується зі збільшенням уклону дороги і зменшенням швидкості руху ВКС на спуску. Отже, ВКС із режимом рекуперативного гальмування доцільно використовувати в кар'єрах з великими значеннями уклону дороги (більше 6%), де неприпустимі великі швидкості руху на спуску, а також у технологічних циклах зі спуском навантаженого ВКС.

Відповідно до проведених розрахунків вартість зекономленого палива за рік самоскидом БелАЗ вантажопідйомністю 75 тонн при технологічному циклі зі спуском ненавантаженого ВКС при двозмінному графіку роботи (швидкість спуску  $V_c=15$  км/год на дорогах із середнім укладом  $i=7.5\%$ ) складає 32000 грн, а зі спуском цілком навантаженого (при  $V_c=10$  км/год) - 46000 грн. Строк окупності від 2 до 5 років залежно від вартості додатково встановленого устаткування та умов технологічного циклу.

## ВИСНОВКИ

У дисертації наведені теоретичне узагальнення і нове вирішення наукового завдання, що виявляється в обґрунтуванні доцільності використання РГ для підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода ВКС з автономною енергетичною установкою. Відповідно до результатів теоретичних і експериментальних досліджень можливо сформулювати такі висновки:

1. Підвищити енергетичну ефективність роботи ТЕП можливо за рахунок використання енергії гальмування ВКС, застосувавши рекуперативне гальмування як основний спосіб ЕЕ. Це дає змогу знизити споживання ДП і поліпшити умови охолодження ТЕД.

2. Зниження споживання ДП може бути досягнуте як за рахунок зниження навантаження на ДД, так і в результаті часткової чи повної компенсації потужності механічних утрат ДД, що дорівнюють 60-70% індикаторної потужності ДД у гальмовому режимі роботи трансмісії.

3. Доведено, що зниження годинної витрати ДП при РГ залежить від маси ВКС, швидкості руху на спуску й уклону дороги. Потужність гальмування на спуску з укладом менше 3% недостатня для практичного використання з метою збільшення енергетичної ефективності ТЕП.

4. Установлено, що для забезпечення технічних умов експлуатації ДД потужність рекуперативної повинна бути обмежена значенням, при якому досягається або максимальна частота обертання його вала, або мінімальне споживання ДП, що визначає температурний режим ДД. Максимальна

потужність рекуперації для ВКС БелАЗ складає близько 25% номінальної потужності його ДД.

5. Збільшення подачі охолоджуючого повітря до ТЕД залежить від значення потужності рекуперації, та не перевищує 36% при досягненні номінальної частоти обертання ДД типу 6ДМ21А. При обмеженні потужності рекуперації з метою недопущення припинення споживання ДП - збільшення не більш 6-8 %.

6. Установлено, що для підвищення ефективності режиму рекуперації та зниження втрат потужності в якірному колі системи ТГ-ТД збудження ТГ повинне змінюватися пропорційно електрорухомій силі ТЕД.

7. Доведено, що реалізація рекуперативного гальмування із самозбудженням ТЕД можлива тільки при достатній швидкодії контуру регулювання якірного струму системи ТГ-ТЕД, що можливо при імпульсному регулюванні.

8. Установлено, що при незалежному збудженні ТЕД ефективність рекуперативного гальмування вища при постійному максимальному значенні магнітного потоку.

9. Проведене комп'ютерне дослідження показало, що в усьому діапазоні зміни маси автосамоскида й уклону дороги, що відповідають технічним умовам експлуатації, забезпечується задана швидкість руху і припустимі режими експлуатації електроустаткування і ДД, що підтверджує можливість застосування рекуперативного гальмування як основного способу електричного гальмування ВКС.

10. Експериментально підтверджена можливість режиму роботи ДД зі зниженням споживання дизельного палива, якщо ТГ працює у руховому режимі. Розбіжність результатів розрахункових і експериментальних - не більше 10%.

11. Значення економії палива в технологічному циклі ВКС при рекуперації енергії гальмування пропорційно масі автосамоскида і зростає зі збільшенням уклону дороги. Максимальна економія досягається при значенні потужності рекуперації в момент припинення споживання дизельного палива.

12. Автосамоскиди типу БелАЗ-7509 із режимом РГ доцільно використовувати в кар'єрах із середнім значенням уклонів не менш 6%. У технологічному циклі зі спуском без вантажу можлива економія до 8%, зі спуском навантаженого - до 22%. Строк окупності в цінах 2003 року складає від 2 до 5 років залежно від вартості додаткового електроустаткування та умов експлуатації.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

8. Величко Т.В., Войцеховский Д.В., Литовченко Р.В., Балашов А.А., Шевченко А.И. О возможности повышения эффективности энергосиловых установок автомобилей при торможении //Проблемы создания новых машин и технологий. –Кременчуг: КГПИ. -1999. -Вып. 2. -С.150-153.

Здобувачу належить аналіз режимів енергосилової установки з дизельним двигуном при РГ.

9. Корнет В.Н., Шевченко А.И., Темченко А.Г., Величко Т.В. Повышение эффективности энергосиловой установки карьерных автосамосвалов //Проблемы создания новых машин и технологий. - Кременчуг: КГПИ. - 2000. - Вып. 1. -С.349-350.

Здобувачу належить аналіз роботи ТЕП при РГ та ЕДГ ВКС.

10. Шевченко А.И., Синев К.Е., Величко Т.В. Возможные способы реализации экономического управления электромеханической трансмиссией большегрузных автомобилей с тяговым генератором постоянного тока //Проблемы создания новых машин и технологий. - Кременчуг: КГПУ. - 2000. - Вып. 2. -С.73-80.

Здобувачу належить розробка функціональних схем систем управління ТЕП постійного струму з основним режимом рекуперативного гальмування.

11. Шевченко А.И., Синев К.Е. Динамика энергетической установки большегрузных автомобилей в режиме торможения //Проблемы создания новых машин и технологий. - Кременчуг: КГПУ. - 2000. - Вып. 2. -С.81-83.

Здобувачу належить розробка математичних моделей та проведення дослідження ТЕП у режимі рекуперативного гальмування.

5. Шевченко А.И. Принципы построения систем управления электромеханической трансмиссией большегрузных автомобилей с электроприводом переменного тока //Проблемы создания новых машин и технологий. -Кременчуг: КГПУ, 2001. - Вып. 1. -С.53-58.

8. Шевченко А.И., Синев К.Е. Улучшение динамики энергетической установки большегрузных автомобилей в режиме торможения. Вестник Национального технического университета “Харьковский политехнический институт”. – Харьков: НТУ “ХПИ”. - 2001. - Вып.10. - С.207-209.

Здобувачу належать розробка заходів для поліпшення статичних і динамічних показників ТЕП і проведення дослідження методом моделювання.

7. Шевченко А.И. Возможные способы построения систем управления электрической трансмиссии большегрузных автомобилей с тяговым генератором переменного тока // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. - Кременчук: КДПУ. - 2001. - Вип. 2. - С.31-33.

8. Шевченко А.И., Синев К.Е. Эффективность системы рекуперативно-динамического торможения большегрузных карьерных автосамосвалов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. - Кременчук: КДПУ. - 2001. - Вип. 2. - С.23-26.

Здобувачу належить аналіз енергетичної ефективності ТЕП при РГ та ЕДГ.

9. Шевченко А.И. Построение систем управления электромеханической трансмиссией с рекуперативным торможением //Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. -

Кременчук: КДПУ. -2003. -Вип. 1. -С.51-54.

10. Шевченко А.И. Режим рекуперации электромеханической трансмиссии большегрузного автосамосвала //Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. - Кременчук: КДПУ. - 2003. -Вип. 2. -С.69-72.

11. Синчук О.Н., Шевченко А.И. О целесообразности рекуперативного торможения большегрузных карьерных автосамосвалов с электромеханической трансмиссией // Вестник Национального технического университета “Харьковский политехнический институт”. –Харьков, НТУ “ХПИ”. - 2003. - Вып.10. -С.415-419.

Здобувачу належить постановка задач досліджень і проведення розрахунків.

12. Декларацийний патент 40223А Україна, 7 Н02J7/14, Н02Р9/14, Н02Р9/42. Спосіб гальмування транспортного засобу з автономною енергетичною установкою та електромеханічною трансмісією та пристрої для його здійснення. / Родькін Д.Й., Темченко А.Г., Величко Т.В., Кожушок Г.М., Коржикова О.В., Корнет В.М., Шевченко О.І. - №2000105907; Заявл. 19. 10. 2000; Опубл. 16. 07. 2001; Бюл. №6. -3с.

Здобувач брав участь у розробці способу гальмування, що запатентовано.

## АНОТАЦІЇ

**Шевченко О.І. Підвищення енергетичної ефективності тягового електропривода кар'єрних самоскидів великої вантажопідйомності. - Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.09.03 - електротехнічні комплекси і системи. - Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2003.

Дисертація присвячена підвищенню енергетичної ефективності ТЕП великовантажних автосамоскидів з автономною електроенергетичною установкою шляхом використання енергії гальмування в умовах глибоких кар'єрів, на прикладі автосамоскидів типу БелАЗ-7509. З цією метою проаналізована робота електромеханічного устаткування ВКС і встановлено, що його низька ефективність обумовлена нераціональним використанням енергії, що виробляють ТЕД у генераторному режимі роботи. Доведено, що підвищення ефективності роботи ТЕП можливе при застосуванні РГ як основного способу ЕГ, у результаті зниження споживання дизельного палива і збільшенні продуктивності системи охолодження ТЕД. Установлено, що потужність рекуперації повинна бути обмежена з урахуванням забезпечення технічних умов експлуатації ДД.

Установлена аналітична залежність між зниженням витрати палива в технологічному циклі та технологічних параметрах експлуатації ВКС при рекуперації енергії гальмування. Установлено, що максимальна економія палива в технологічному циклі автосамоскида досягається при значенні



потужності рекуперації в момент припинення споживання дизельного палива.

Обґрунтованість і вірогідність наведених у роботі положень і рекомендацій підтверджені результатами комп'ютерного моделювання та близькістю результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

**Ключові слова:** великовантажний кар'єрний самоскид, тяговий електропривод, дизельний двигун, система керування, рекуперативне гальмування.

**Шевченко А.И. Повышение энергетической эффективности тягового электропривода карьерных самосвалов большой грузоподъемности. - Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы. - Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2003.

Диссертация посвящена повышению энергетической эффективности тягового электропривода (ТЭП) большегрузных карьерных самосвалов (БКС) с автономной электроэнергетической установкой (АЭЭУ) путем использования энергии торможения в условиях карьеров. С этой целью проанализирована работа ТЭП и установлено, что его низкая эффективность обусловлена нерациональным использованием энергии, которую вырабатывают тяговые электродвигатели (ТЭД) в генераторном режиме работы. Доказано, что повышение эффективности работы ТЭП возможно при применении рекуперативного торможения (РТ) в качестве основного и электродинамического торможения в качестве дополнительного, в результате снижения потребления дизельного топлива (ДТ) и увеличении производительности системы охлаждения ТЭД. Произведен анализ энергетических режимов ТЭП при основном рекуперативном торможении БКС с АЭЭУ. Установлено, что мощность рекуперации должна быть ограничена с учетом обеспечения технических условий эксплуатации дизельного двигателя (ДД).

Разработаны требования к системам управления и предложены функциональные схемы ТЭП постоянного, переменного-постоянного и переменного тока с рекуперативным торможением в качестве основного.

Доказана возможность практической реализации ТЭП с рекуперацией энергии торможения путем построения компьютерных моделей. Проведенное компьютерное исследование показало, что во всем диапазоне изменения массы автосамосвала и уклона дороги, которые соответствуют техническим условиям эксплуатации БКС типа БелАЗ, обеспечивается заданная скорость движения и допустимые режимы эксплуатации электрооборудования и ДД.

Установлена аналитическая зависимость между снижением расхода ДТ в технологическом цикле и технологическими параметрами эксплуатации БКС при рекуперативном торможении. По-

казано: значение экономии ДТ пропорционально массе автосамосвала и возрастает с увеличением уклона дороги. После достижения максимума (в момент прекращения потребления ДТ) значение экономии топлива начинает уменьшаться с ростом скорости движения и уклона дороги. Максимально возможное значение экономии дизельного топлива в технологическом цикле увеличивается с увеличением уклона дороги и уменьшением скорости движения БКС на спуске. Поэтому БКС с режимом РГ целесообразно использовать в карьерах с большими значениями уклонов дороги (более 7%), где недопустимы большие скорости движения на спуске, а также в технологических циклах со спуском груженого ВКС.

В процессе экспериментальных исследований на обкаточном стенде дизельных двигателей и на физической модели с использованием автосамосвала БелАЗ-7512, подтверждена достоверность результатов, полученных методами теоретических исследований.

**Ключевые слова:** большегрузный карьерный самосвал, тяговый электропривод, дизельный двигатель, система управления, рекуперативное торможение.

**Shevchenko A.I. Increase of power efficiency traction of the electric drive of quarry trucks of the large carrying capacity. - Manuscript.**

The dissertation for a candidate's degree by speciality 05.09.03 – electrotechnical complexes and systems. – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2003.

The dissertation is devoted to increase of power efficiency of the traction electric drive supersize trucks with independent electropower plant using energy of braking in deep quarry, on the example trucks such as BelAZ-7509. The operation of the electromechanical equipment of supersize trucks with electrical transmission is analysed. It has been established, that its low efficiency is caused by irrational use of energy, which is developed by traction electric motors in generating mode of operations. It has been proved, that the increase of TED overall performance is possible at recuperating brake as the basic and electrodynamic's braking as additional. It is a result of decrease of consumption of diesel fuel and increase of productivity of system of traction engines cooling.

It has been established, that the recuperating capacity should be limited in order to secure of maintenance specifications of diesel engine operation.

The analytical dependence between decrease of the charge of fuel in a work cycle and technological parameters of operation trucks is received at recuperation of energy of braking. It is shown, that the maximal economy of fuel in a work cycle is achieved at recuperating capacity, at which the consumption of fuel by the diesel engine stops.

**Key words:** the quarry's truck, the traction the electric drive, the diesel engine, control system, recuperating braking.

Відповідальний за випуск к.т.н., доц. Решетняк В.І.

Підписано до друку 16.01.2004 р. Формат 145×215.

Формат паперу 60×90/16. Папір офсетний. Друк RISO.

Ум. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Замовлення № .

Відповідальність за зміст поданого для друку матеріалу несе автор.

Надруковано в типографії КДПУ

39600, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20