

УДК 621.311.3

А. М. МУХА (ДНУЗТ), М. О. КОСТИН (ДНУЗТ), О. І. БОНДАР (ДНУЗТ),
А. В. НІКІТЕНКО (ВПУ), О. Я. КУРИЛЕНКО (ДНУЗТ),

Кафедра «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, к.125, м. Дніпро, 49010, Україна, тел.: +380563731547, e-mail: andremu@i.ua, ORCID: orcid.org/0000-0002-5629-4058

Кафедра «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, к.238, м. Дніпро, 49010, Україна, тел.: +380563731537, e-mail: nkostin@ukr.net, ORCID: orcid.org/0000-0002-0856-6397

Кафедра «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, к.125, м. Дніпро, 49010, Україна, тел.: +380563731547, e-mail: etemdiit@gmail.com, ORCID: orcid.org/0000-0003-3884-5589

Інститут електричних машин, Варшавський політехнічний університет, пл. Політехніки, 1, к. 246, м. Варшава, 00661, Польща, тел.: +48222347435, факс: +48226299817, e-mail: anatolij.nikitenko@ee.pw.edu.pl, ORCID: orcid.org/0000-0002-6426-5097

Кафедра «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, к.125, м. Дніпро, 49010, Україна, тел.: +380563731547, e-mail: elena.kyrilenko@gmail.com, ORCID: orcid.org/0000-0003-2045-917X

ПЕРЕДУМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ІСНУЮЧОГО СТАНУ ВИКОРИСТАННЯ ТА ОБЛІКУ РЕКУПЕРАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ НА ДІЛЯНКАХ ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ

Вступ

Залізничний транспорт являється одним із найбільших і стабільних споживачів електричної енергії: залізницями України, наприклад, у 2009 році на електротягу поїздів і нетягові потреби витрачено 5,4 млрд. кВт•год, що складає біля 4,2% від загального споживання електроенергії в державі [1,2]. При цьому із всієї спожитої електроенергії 80...84% використовується власне на електричну тягу [3]. І в той же час фактичний середній закупівельний тариф на активну електроенергію для Укрзалізниці щорічно зростає і, наприклад, складає (грн/МВт•год) 221,7; 358,61; 428,55; 502,8; 892,86; 1035,71 відповідно в роки: 2006; 2008; 2009; 2010; 2012; 2014. І до того ж прогнозується, що цей тариф у подальшому буде зростати лінійно. Зазначене робить актуальною необхідність критичного аналізу принципів і розробки заходів електрозбереження на залізничному електричному транспорті, яке має не лише загальногалузеве, але й загальнодержавне значення.

Однією із найважливіших складових електророзберігаючих технологій перевізного процесу на залізницях України є рекуперація електроенергії електрорухомим складом (ЕРС). І в той же час в силу ряду причин рекуперація на дорогах України за останні 20-25 років не лише не розвивається, але навіть відпрацьовані раніше її ре-

жими використовуються дуже слабо, про що свідчить зазначене нижче.

Об'єктивно шляхом використання рекуперативного гальмування (РГ) можливе повертання електроенергії об'ємом до 8...12% від енергії, витраченої на електротягу поїздів [4], а деякі автори [5-6] збільшують ці проценти до 15...30% для електропоїздів. В той же час в останні 20-25 років об'єм енергії рекуперації не перевищує 2,21% від спожитої [1]. Зокрема, на Придніпровській і Донецькій залізницях у 1999-2000 р.р. цей об'єм склав відповідно 1,7...2,7% і 0,6...2,6%, а по Укрзалізниці 1,3...2,6% [5]. Більш того, цей відсоток щорічно знижується настільки [2], що в останні 15 років цей показник в середньому не перевищує 1,71% [4]. До цього слід додати, що в нинішній час, у порівнянні з 70-80 роками, на електрифікованих ділянках залізниць України в цілому об'єм рекуперованої електроенергії зменшився в 6 разів (у відсотковому співвідношенні від загальних витрат на електротягу) і в 5...6 разів також зменшилась величина питомої (на 1 т•км бруто роботи) електроенергії рекуперації [5].

Зазначене вище обумовлене рядом причин, частково приведених в [4], а також, на нашу думку, тим, що надійність, стабільність і електрична ефективність існуючих (в подальшому – традиційних) режимів РГ в більшості залежить

© Муха А. М. та ін., 2017

від системи тягового електропостачання (СТЕ). Її інфраструктура не в повній мірі відповідає сучасним вимогам з ефективності отримання, передачі та використання енергії рекуперації.

Дійсно, рекуперація електроенергії та передачі її в контактну мережу можливі за таких умов: вихідна напруга рекуперуючих тягових двигунів (ТЕД) електрорухомого складу (згідно сумі ЕРС їх якорів) має бути вищою напруги на струмоприймачі, але не повинна перевищувати максимально допустиме значення згідно з потенціальними умовами на колекторах ТЕД; в системі тягового електропостачання повинні бути споживачі рекуперованої електроенергії або інверторні агрегати на тягових підстанціях; при передачі рекуперованої енергії відбуваються її втрати в контактній мережі і елементах тягових підстанцій; застосування інверторів в якості поглиначів рекуперованої енергії призводить до прискореного старіння контактного проводу у зв'язку з протіканням додаткових надлишкових струмів рекуперації, які до того ж знижують пропускну спроможність контактної мережі за умовами нагріву; діапазон швидкостей, при якому можливе РГ вузький, при цьому швидкість нижньої границі має високе значення, оскільки в зоні невеликих швидкостей ефект від рекуперації малий, а небезпека виникнення поштовху струму при вмиканні РГ на таких швидкостях зростає.

Викладені вище «жорсткі»умови можливого здійснення РГ і «погане» неефективне використання рекуперованої і переданої в контактну мережу електроенергії призводять до зривів рекуперації і знижують віру машиністів у її надій-

ність, в результаті вони за часто уникають застосовувати рекуперативне гальмування.

Тому з метою удосконалення системи обліку та підвищення ефективності отримання і використання енергії рекуперації електровозів постійного струму шляхом модернізації силових та допоміжних кіл електровозів типу ВЛ11М6 протягом 2014-2015 років було проведено дослідження в умовах реальної експлуатації на ділянках Придніпровської залізниці здійснено часовий моніторинг напруг і струмів в режимах рекуперації електровозів ВЛ11М6. Передумовою проведення таких досліджень є обґрунтування вибору дослідної ділянки

Вибір дослідної ділянки

Для обґрунтованого вибору ділянок дослідних поїздок проведено аналіз даних щодо виконаної роботи локомотивами на ділянках ДП «Придніпровська залізниця» за 2013 рік. Найбільший об'єм робіт зафіксовано на ділянках: Красноармійськ-Чапліне; Чапліне-пост 239; Верховцево-П'ятихатки; Синельникове-Вольнянськ. З точки зору рекуперативного гальмування, на підставі даних щодо профілю цих ділянок, для проведення експериментальних досліджень доцільно обрати ділянки з максимальних ухилом, а саме 11,5 % та 9,2 % (Верховцево-П'ятихатки); 9,2 % (Баглей-Сухачівка); 8,3 % (Сухачівка-Горайнове); 6,3 % (Н-Д Вузол - Ілларіонове); 5,2 % (Синельникове - Роздори); 6,0 % (Роздори-Письмена); 4,8 % (Письмена-Ульяновка). Найбільше сумарне значення виконаної роботи (рис.2.1) зафіксовано на ділянках між ст.Н-Д Вузол та ст. Чапліне, саме тому цю ділянку визначаємо як експериментальну.

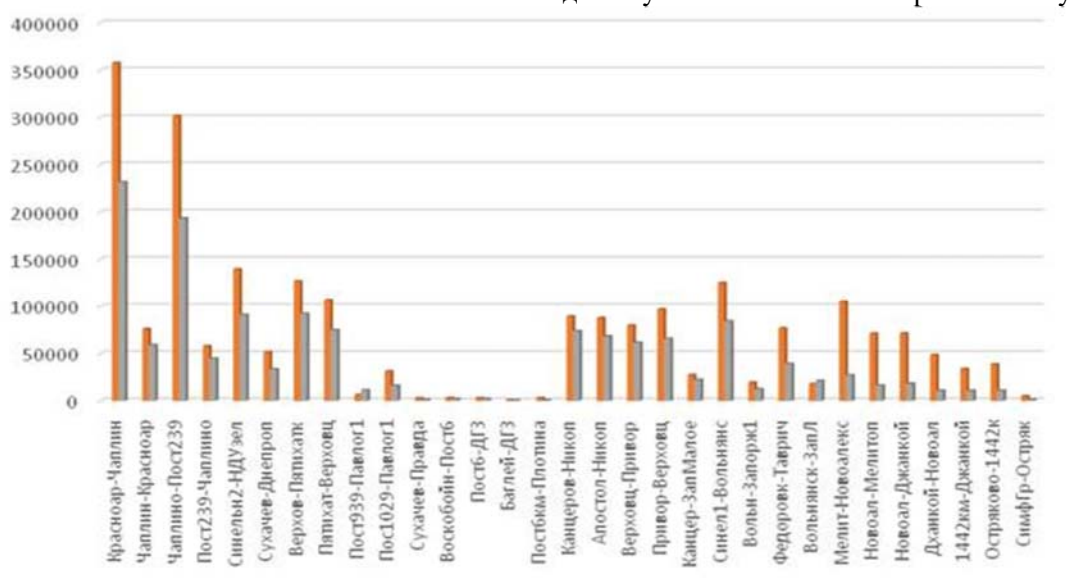


Рис. 1. Робота (ткм. бр.) виконана у 2013 (оранжеві стовпці) та 2014 (сірі стовпці) роках

Аналіз схем системи електропостачання на дослідній ділянці

Використовуючи метод експертних оцінок було встановлено, що для проведення необхідних експериментальних досліджень необхідне переведення дослідної ділянки на однопутну схему, з живленням від відокремленої фідерної зони, крім того час проведення досліджень повинен складати не менш однієї години. Враховуючи інтенсивність руху на ділянці від ст. П'ятихатки до ст. Синельникове, при одночасному зменшити інтенсивності руху з боку ст. Чаплине, для проведення експериментальних досліджень обрано ділянку між тяговими підстанціями ЕЧЕ-19 Роздори (254 км ПК5) та ЕЧЕ-20 Письменна (272 км ПК9), яка належить до дистанції електропостачання Нижньодніпровськ-Вузол (ЕЧ-2) Придніпровської залізниці.

Обрана ділянка є двоколійною та електрифікована за системою електричної тяги постійного струму. Загальна довжина складає 17,8 км (усього 4 блок-ділянки). При русі від Роздорів до Письменної профіль ділянки містить спочатку спуск 2,9 ‰ довжиною біля 8 км, а потім підйом 6,0 ‰ (решта ділянки). У межах ділянки знаходиться ст. Письменна. Схема живлення ділянки – двобічна з паралельним з'єднанням контактних підвісок колій.

На експериментальній ділянці розташовано пост секціонування контактної мережі ПСК Терса та пункти паралельного з'єднання ППС

260 км, ППС 269 км, які є нормально увімкненими.

Для проведення експериментальних досліджень узгоджено використання електровозів типів ВЛ8, до якого підключено тягово-енергетична лабораторія (динамометричний вагон-лабораторія) та ВЛ11М6. Часова реєстрація напруги на струмоприймачах и струмів електровозів проводить за допомогою реєстраційних систем діагностування і контролю вагона-лабораторії та електровозу ВЛ11М6.

Висновки

На підставі проведених досліджень, разом зі співробітниками дорожньої електротехнічної лабораторії розроблено та узгоджено в установленому порядку програми проведення експериментів щодо зняття часових залежностей струму та напруги у наступних режимах роботи системи тягового електропостачання:

-«без навантаження»;

-«електровоз в режимі рекуперації»;

-«Перший електровоз – у режимі рекуперації, другий – у режимі тяги» на фідерній зоні підстанції Роздори (ЕЧ-2 Нижньодніпровськ-Вузол).

В подальшому згідно розробленої програми зазначені вище дослідження було виконано у повному обсязі, а отримані при цьому експериментальні данні використано під час математичного моделювання електромагнітних процесів в електричних колах розглянутих ділянок системи тягового електропостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сергієнко, М. І. Основні напрямки роботи Укрзалізниці з енергозбереження та її результати / М. І. Сергієнко // Локомотив-інформ. – 2010. – №4. – С. 24-28.
2. Лашко, А. Д. Енергозбереження на залізничному транспорті України / А. Д. Лашко, М. І. Сергієнко // Залізничний транспорт України. – 2001. – №4. – С. 7-11.
3. Малышко, И. В. Основные направления энергосбережения на железнодорожном транспорте Украины / И. В. Малышко // Локомотив-информ. – 2007. – №1. – С. 12-14.
4. Щербак, Я. В. Аналіз застосування рекуперативного гальмування на залізницях України / Я. В. Щербак, В. П. Нерубацький // Залізничний транспорт України. – 2011. - №2. – С. 30-34.
5. Сулима, С. Д. Повышение эффективности рекуперативного торможения электровозов постоянного тока : дис. ... к-та техн. наук : 05.22.09 / Сулима Станислав Дмитриевич ; Днепропетр. нац. ун-т железнодорож. трансп. им. ак. В. Лазаряна. – Д., 2001. – 189 с.

REFERENCES

1. Sergienko, M. I. Osnovni napryamky roboty i z energozberezhennya ta yii rezultaty [The main areas of "Ukrzaliznytsa's" work on energy saving and its main results / M. I. Sergienko // Locomotiv-inform. [Professional journal "Locomotive-inform"] – 2010. – №4. – P. 24-28.
2. Lashko, A. D. Energozberezhennya na zaliznychnomu transporti Ukrainy [Energy saving on the railway transport of Ukraine] / A. D. Lashko, M. I. Sergienko // Zaliznychny transport Ukrainy. [Scientific and practical journal "Railway transport of Ukraine"] – 2001. – №4. – P. 7-11.
3. Malysheko, I. V. Osnovnye napravleniya energosberezhennya na zheleznodorozhnom transporte Ukrainy [The main trends of energy saving on the railway transport of Ukraine] / I. V. Malysheko // Locomotiv-inform. [Professional journal "Locomotive-inform"] – 2007. – №1. – P. 12-14.
4. Scherbak, Y. V. Analiz zastosuvannya rekuperatyvnoho galmuvannya na zaliznytsyah Ukrainy [Analysis of using of regenerative braking on the Ukrainian railways] / Y. V. Scherbak, V. P. Nerubatsky // Zaliznychny transport Ukrainy. [Scientific and practical journal "Railway transport of Ukraine"] – 2011. - №2. – P. 30-34.

6. Капустин, Л. Д. Эффективность рекуперации пригородных электропоездов / Л. Д. Капустин // Железнодорожный транспорт. – 1963. – №11. – С. 22-25.

5. Sulima, S. D. Povyshenye effektivnosti rekuperativnogo tormozheniya elektrovozov postoyannogo toka: diss. ... kand tech. nauk : 05.22.09 [Increase in effectiveness of regenerative braking of direct current electric locomotives: thesis for the candidate of technical science degree in speciality 05.22.09 – electric transport] / Sulima Stanislav Dmitriyevich ; Dnepropetr. nats. un-t zheleznodor. transp. im. akad. V. Lazaryana. [Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after ac. V. Lazaryan] – D., 2001. – 189 p.

6. Kapustin, L. D. Effektivnost rekuperatsiy prigorodnyh elektropoezdov [Effectiveness of suburban electric trains' energy regeneration]/ L. D. Kapustin // Zheleznodorozhny transport. [Scientific journal "Railway transport"] – 1963. - №11. – P. 22-25.

Надійшла до друку 15.05.2017.

Внутрішній рецензент *Кузнецов В. Г.*

Зовнішній рецензент *Хворост М. В.*

В роботі проведено аналіз даних щодо виконаної роботи локомотивами на ділянках Придніпровської залізниці. На цій основі обґрунтовано результати вибору ділянок для дослідних поїздок з метою реєстрації часових залежностей електричних величин в основних режимах роботи системи тягового електропостачання. Також виконано аналіз особливостей роботи схем системи енергопостачання на дослідній ділянці

Ключові слова: рекуперация; электровоз; электроэнергия; облік електроенергії; напруга; струм, енерго-ефективність.

УДК 621.311.3

А. Н. МУХА (ДНУЖТ), Н. А. КОСТИН (ДНУЖТ), О. И. БОНДАРЬ (ДНУЗТ), А. В. НИКИТЕНКО (ВПУ), Е. Я. КУРИЛЕНКО (ДНУЖТ)

Кафедра «Электротехника и электромеханика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, к. 125, г. Днепро, 49010, Украина, тел.: +380563731547, e-mail: andremu@i.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5629-4058>

Кафедра «Электротехника и электромеханика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, к. 238, г. Днепропетровск, 49010, Украина, тел.: +380563731537, e-mail: nkostin@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0856-6397>

Кафедра «Электротехника и электромеханика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, к. 125, г. Днепро, 49010, Украина, тел.: +380563731547, e-mail: etemdiit@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3884-5589>

Институт электрических машин, Варшавский политехнический университет, пл. Политехнической, 1, к. 246, г. Варшава, 00661, Польша, тел.: +48222347435, фак.: +48226299817, e-mail: anatolij.nikitenko@ee.pw.edu.pl, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6426-5097>

Кафедра «Электротехника и электромеханика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, к. 125, г. Днепро, 49010, Украина, тел.: +380563731547, e-mail: elena.kyrilenko@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2045-917X>

ПРЕДПОСЫЛКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И УЧЕТА РЕКУПЕРАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА УЧАСТКАХ ПРИДНЕПРОВСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В работе проведено анализ данных касательно выполненной работы локомотивами на участках Придніпровської залізниці. На этой основе обоснованы результаты выбора участков для опытных поездов с целью регистрации временных зависимостей электрических величин в основных режимах работы системы тягового электроснабжения. Также выполнено анализ особенностей работы схем системы электроснабжения на опытном участке

Ключевые слова: рекуперация; электровоз; электроэнергия; учет электроэнергии; напряжение; ток; энергоэффективность.

Внутренний рецензент *Кузнецов В. Г.*

Внешний рецензент *Хворост Н. В.*

© Муха А. М. та ін., 2017

UDC 621.311.3

A. M. MUKHA, M. O. KOSTIN (DNURT), O. I. BONDAR (DNURT), A. V. NIKITENKO (WUT), O. Ya. KURYLENKO (DNURT)

Department of "Electrical Engineering and Electromechanics", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, office 125, Dnipro, 49010, Ukraine, tel.: +380563731547, e-mail: andremu@i.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5629-4058>

Department of "Electrical Engineering and Electromechanics", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, office 238, Dnipro, 49010, Ukraine, tel.: +380563731537, e-mail: nkostin@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0856-6397>

Department of "Electrical Engineering and Electromechanics", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, office 125, Dnipro, 49010, Ukraine, tel.: +380563731547, e-mail: etemdiit@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3884-5589>

Institute of "Electrical Machines", Warsaw University of Technology, Pl. Politechniki, 1, room 246, Warsaw, 00661, Poland, tel.: +48222347435, fax: +48226299817, e-mail: anatolij.nikitenko@ee.pw.edu.pl, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6426-5097>

Department of "Electrical Engineering and Electromechanics", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, office 125, Dnipro, 49010, Ukraine, tel.: +380563731547, e-mail: elena.kyrilenko@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2045-917X>

PREREQUISITES OF EXECUTION THE EXPERIMENTAL STUDIES FOR DEFINITION OF CURRENT STATE OF USING AND ACCOUNTING OF THE ELECTRICAL ROLLING STOCK'S REGENERATIVE ENERGY ON SECTIONS OF THE "PRIDNIPROVSKA" RAILWAY

In this paper the analysis of data about executed work by locomotives on sections of the "Pridniprovsk" railway is carried out. On this basis results of the choice of sections for experimental trips for the obtaining of time dependence of electrical values for the main modes of traction power supply system of are proved. It is also executed the analysis of work features of power supply system's schemes on the experimental section

Keywords: energy regeneration; electric locomotive; electric energy; electricity accounting; voltage; current, energy efficiency.

Internal reviewer *Kuznetsov V. G.*

External reviewer *Khvorost M. V.*