

УДК 629.423

*Ю. В. Черняк, к.т.н., доцент*

*(завідувач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

*В. О. Гатченко, к.т.н.*

*(доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

*С. В. Каращук*

*(аспірант кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

*А. В. Гаюр*

*(аспірант кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

## **АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СИСТЕМАМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЕРС ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

*У статті виконано аналіз використання електричної енергії ЕРС залізниць України за різними видами руху. Проаналізована ефективність і визначена потужність електричних втрат у пускових резисторах електровоза постійного струму.*

*Ключові слова: енергозбереження, електровоз постійного струму, коефіцієнт корисної дії, тяговий двигун, тяговий електропривід.*

*В статті виконано аналіз використання електричної енергії ЕРС залізниць України. Проаналізована ефективність і визначена потужність електричних втрат у пускових резисторах електровоза постійного струму.*

*Ключевые слова: энергосбережение, электровоз постоянного тока, коэффициент полезного действия, тяговый двигатель, тяговый электропривод.*

**Постановка проблеми.** Підвищення вартості енергоресурсів призводить до збільшення собівартості залізничних перевезень, таким чином для залізниць України постає гостре питання підвищення енергоефективності рухомого складу.

Робота магістральних електровозів пов'язана з нерівномірністю швидкості його руху, що пояснюється постійно змінним значенням крутості профілю елементів колії, наявністю постійних та тимчасових обмежень швидкості руху тощо. Це призводить до нерівномірної роботи тягового електропривода та необхідності у наявності широкого діапазону регулювання приводом.

© Черняк Ю. В., Гатченко В. О., Каращук С. В., Гаюр А. В., 2016

Експлуатаційний парк електрорухомого складу (ЕРС) постійного струму складається з локомотивів, які працюють з реостатно-контакторною системою управління напругою на затискачах колекторних тягових двигунів, яка має електричні втрати в пускових реостатах. Хоча система й була впроваджена на вітчизняних залізницях у 30-х роках ХХ ст., проте й досі нові електровози постійного струму мають таку ж схожу систему регулювання.

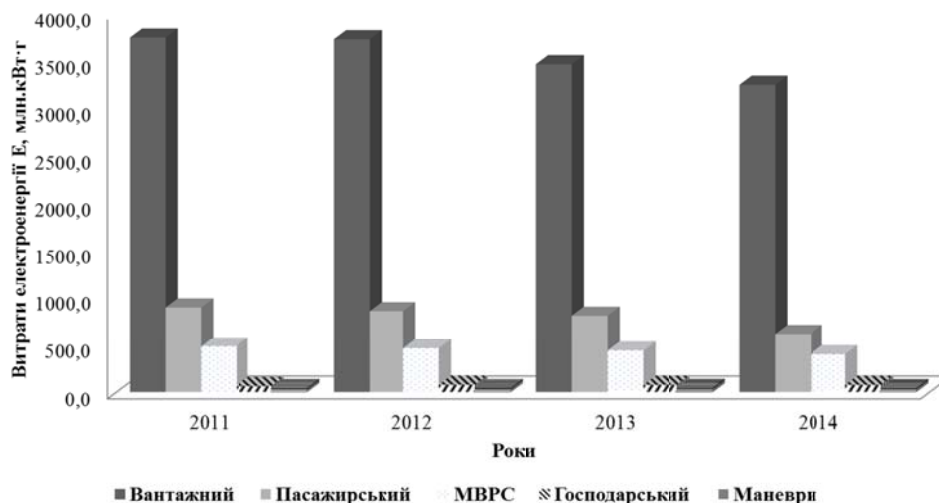
Заміна існуючих систем регулювання швидкості руху ЕРС постійного струму на асинхронний тяговий електропривід у сучасних економічних умовах країни не є доцільним, оскільки встановлення асинхронного електропривода на ЕРС є дуже дорогим, тому постає задача пошуку іншого енергоефективного способу регулювання швидкості ЕРС.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** В публікаціях [1-5] розглянуті методи підвищення енергоефективності залізниць, визначені методи зменшення енергоємності як швидкісного тягового рухомого складу, так і вантажних локомотивів, розглянуті методи управління витратами електроенергії на тягу поїздів, проаналізовані проекти модернізацій електровозів.

**Мета статті** – проаналізувати використання електричної енергії за різними видами руху ЕРС УЗ; проаналізувати експлуатаційний парк електровозів залежно від виконуваної роботи та роду живлення; розрахувати потужність незворотних втрат електричної енергії в пускових реостатах електровоза постійного струму серії ВЛ8.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

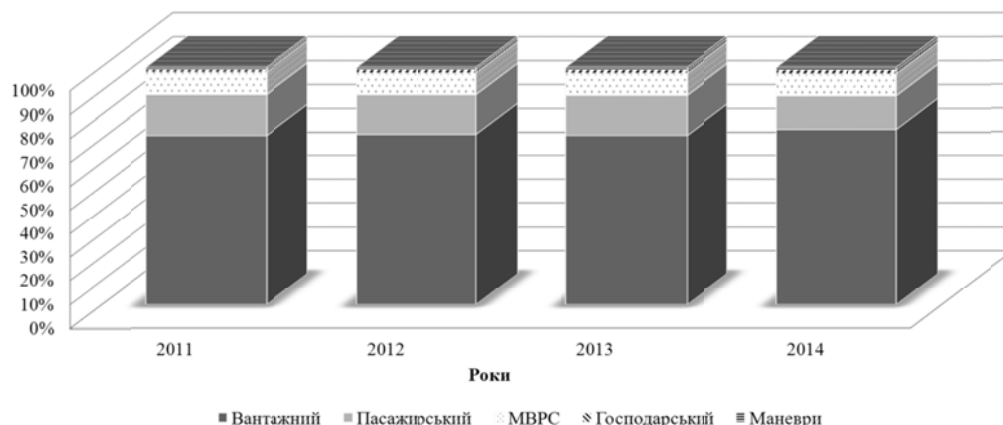
Важливим завданням перед впровадженням нових систем регулювання параметрів тягового електропривода є аналіз витрат електроенергії ЕРС експлуатаційного парку залізниць.



**Рис. 1. Використання електричної енергії на тягу поїздів за різними видами руху електрорухомим складом УЗ за період 2011-2014 рр.**

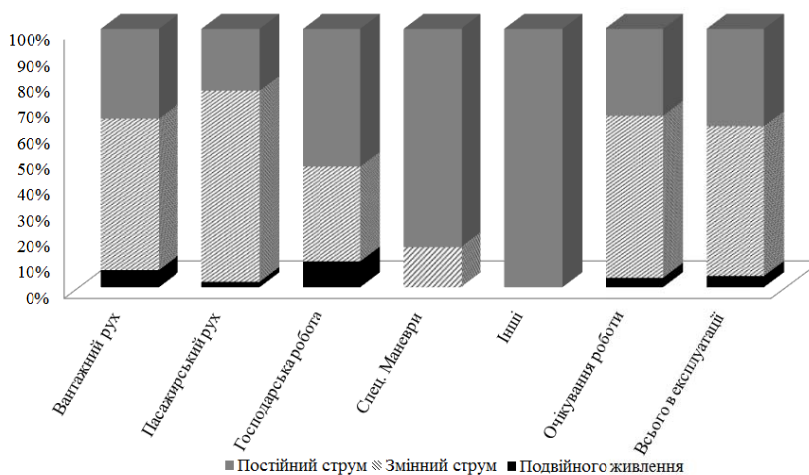
Використання електричної енергії за різними видами руху ЕРСУЗ за період 2011-2014 рр. вказане на рис. 1. Сумарні середні витрати електричної енергії на тягу поїздів на рік складають 4908,27 млн кВт•год.

На рис. 2 представлено відсоток від загальних витрат використання електричної енергії за різними видами руху ЕРС УЗ за період 2011-2014 рр. З діаграм видно, що 72,3% витрат електроенергії припадає на вантажний рух; 16,2% на пасажирський рух; 9,1% витрачається моторвагонним рухомим складом; 1,5% на господарський рух та 0,9% на виконання маневрової роботи. З діаграм видно, що вантажний рух є одним із найбільших споживачів електричної енергії.



**Рис. 2. Відсоток від загальних витрат використання електричної енергії за різними видами руху ЕРС УЗ за період 2011-2014 рр.**

Проаналізувавши витрати електроенергії за видами руху, необхідно визначити які локомотиви споживають дану енергію. На рис. 3 зображено розподіл експлуатаційного парку електровозів УЗ в залежності від виконуваної роботи та роду живлення станом на (19.02.2015).



**Рис. 3. Розподіл експлуатаційного парку електровозів УЗ в залежності від виконуваної роботи та роду живлення**

З рис. 3 зрозуміло, що найбільша кількість електровозів постійного струму задіяна у вантажному русі – 28,6 % локомотивів, 6,6 % – у пасажирському русі,

14,6 % на виконанні господарської роботи, 14,1 % електровозів використовується при виробництві спецманеврів та 3,4 % на інших видах робіт. Загалом, 38 % від загальної кількості електровозів в експлуатації УЗ – електровози постійного струму.

Відомо, що на електровозах постійного струму реалізована реостатно-контакторна система управління (РКСУ), в якій передбачено два методи для регулювання швидкості руху поїзда: по-перше – це регулювання напруги підведеної до двигунів шляхом регулювання величини опору послідовно увімкнених з ТЕД пускових резисторів, а по-друге – підвищення швидкості руху за рахунок послаблення магнітного поля.

В РКСУ немає можливості плавно змінювати струм. Для пуску електровоза при паралельному з'єднанні ТЕД послідовно з ними необхідно увімкнути пусковий реостат з великим значенням опору, це б призвело до великих втрат в реостаті під час пуску. Тому зменшення втрат досягається за рахунок перемикання груп тягових двигунів з одного з'єднання на інше. Обмежене число можливих перемикань не дозволяє отримати достатньо економічний пуск, тому навіть при наявності декількох схем з'єднань ТЕД в пускових резисторах, які обмежують струм, виділяється значна кількість енергії.

Розглянемо процес пуску ЕРС постійного струму з РКСУ напруги на застискачах ТЕД.

На рис.4 зображено типову схему регулювання напруги на тягових електродвигунах під час розгону.

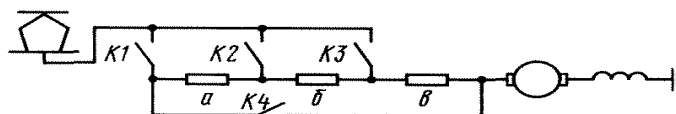


Рис. 4. Типова схема регулювання напруги на тягових електродвигунах під час розгону

Із збільшенням швидкості руху в тягових двигунах буде наводитися зростаюча електрорушійна сила, яка направлена проти дії прикладеної напруги живлення. При цьому струм двигунів, сила тяги і, як наслідок, прискорення почнуть зменшуватися. Для забезпечення приблизно постійного прискорення потрібно зменшувати опір реостата так, щоб струм двигунів і дотична сила тяги залишалися постійними. При великих потужностях тягових двигунів і значних струмах важко здійснити плавне реостатне регулювання. Тому застосовують ступеневе: вимикають окремі секції реостата за допомогою електропневматичних індивідуальних контакторів.

Для оцінки ефективності використання електричної енергії на ЕРС розглянемо величину потужності незворотних електричних втрат, які припадають на пускові реостати під час розгону.

До виходу на ходову позицію в ланцюг ТЕД постійно ввімкнутий пусковий реостат. Як відомо, електричні втрати в реостатах:

$$P_{\text{втр.реост.}} = I_{\text{ТЕД}}^2 \cdot R_p, \quad (1)$$

де  $I_{\text{ТЕД}}$  – струм ланцюга тягового двигуна;

$R_p$  – опір пускового реостату.

Згідно з рекомендаціями щодо ефективного розгону поїзда рекомендовано для пуску застосовувати величину струму 400-500 А на ланку послідовних ТЕД. Визначимо потужність витрат електричної енергії в пускових реостатах. Вона буде залежати від значення струму ланки двигуна, схеми з'єднання ТЕД (кількості паралельних ланок) та від значення опору пускового реостату, тобто позиції контролера машиніста.

При русі на неходових позиціях – енергія, яка витрачається на реостатах переходить у теплову, що спричиняє їх нагрів. В процесі пуску, особливо для важких поїздів, та гірських профілів колії час виходу на безреостатну позицію збільшується, що в свою чергу може призвести до перегріву резисторів та виходу їх з ладу [6]. Тому вони охолоджуються вентиляторами охолодження ТЕД, а на деяких електровозах – окремими вентиляторами, які охолоджують резистори. Це дозволяє збільшити час руху на реостатних позиціях, проте споживає додаткову електричну енергію, що зменшує коефіцієнт корисної дії тягового електропривода.

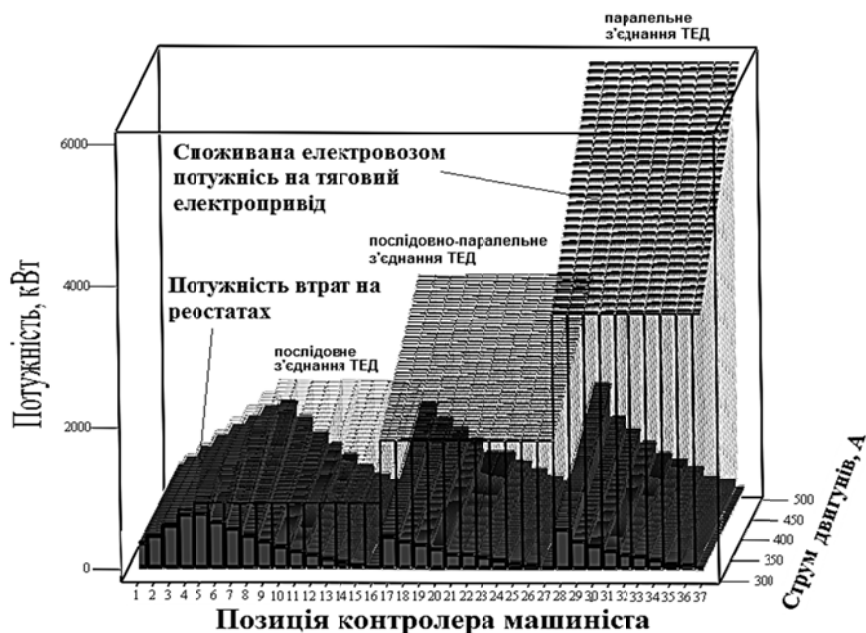


Рис. 5. Порівняння потужності втрат електричної енергії в пускових реостатах з споживаною тяговим електроприводом електровоза серії ВЛ8

З рис. 5 видно, що на пускові реостати припадає значна кількість підведеної до електровоза потужності. Проаналізуємо величину втрат електричної енергії на реостати в залежності від споживаної електроенергії тяговим електроприводом електровоза серії ВЛ8.

Коефіцієнт використання електроенергії системою тягового електропривода електровоза при РКСУ залежить від потужностей втрат в реостаті, тому:

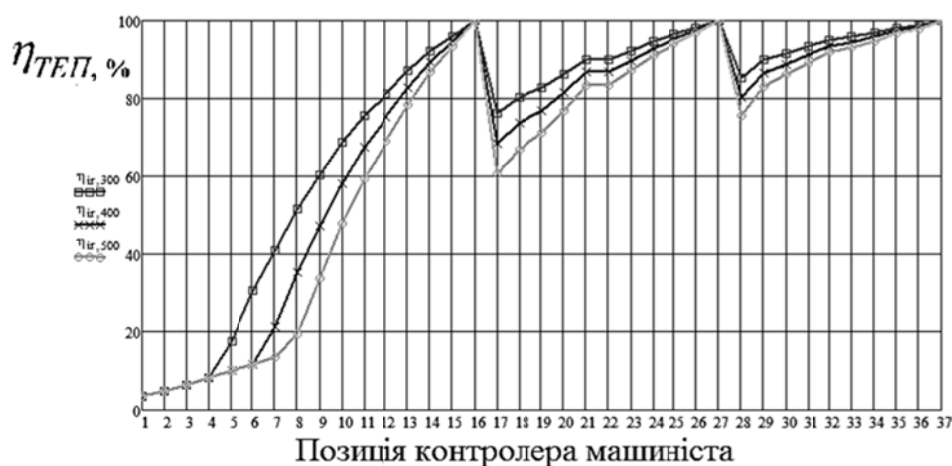
$$\eta_{ТЕП} = \frac{P_{спож.ТЕП} - P_{втр.реост.}}{P_{спож.ТЕП}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $P_{спож.ТЕП}$  – електроенергія споживана тяговим електроприводом (ТЕП) електровоза.

$$P_{спож.ТЕП} = I_{ТЕД} \cdot U_{к.м.} \cdot a \quad (3)$$

де  $U_{к.м.}$  – напруга контактної мережі ( $U_{к.м.}=3000В$ );

$a$  – кількість паралельних гілок ТЕД електровоза, залежить від схеми з'єднання ТЕД ( $a=1$  для послідовного з'єднання,  $a=2$  – для послідовно-паралельного,  $a=4$  – для паралельного).



**Рис. 6. Коефіцієнт використання електроенергії системою тягового електропривода електровоза ВЛ8 при 300, 400 та 500А на ланку послідовних ТЕД**

Відмінна від 100% величина коефіцієнта використання електроенергії системою тягового електропривода вказує на наявність резерву підвищення ККД електровоза, а отже, постає питання у необхідності дослідження можливості впровадження інших методів регулювання тяговими двигунами на ЕРС постійного струму.

На ЕРС постійного струму з колекторними тяговими двигунами вітчизняного та закордонного виробництва застосовують послаблення збудження ТЕД перед увімкненням наступного з'єднання тягових двигунів. Це дозволяє зменшити час ходу на реостатних позиціях. Проте це ефективно лише на автоматичних, тобто безреостатних позиціях.

В подальшому необхідно проаналізувати часові параметри руху ЕРС постійного струму з реостатно-контакторною системою управління з метою визначення повних незворотних витрат електричної енергії на пускових резисторах.

### Висновки

1. Проаналізовано використання електричної енергії за різними видами руху ЕРС УЗ за період 2011-2014 рр. В результаті аналізу встановлено, що загальні середні витрати електричної енергії на рік складають 4908,27 млн кВт•год. Причому 72,3 % витрат електроенергії припадає на вантажний рух; 16,2 % на пасажирський рух; 9,1 % витрачається моторвагонним рухомим складом; 1,5 % на господарський рух та 0,9 % на виконання маневрової роботи.

2. Проаналізовано експлуатаційний парк електровозів УЗ в залежності від виконуваної роботи та роду живлення. Встановлено, що найбільша кількість електровозів постійного струму задіяна у вантажному русі – 28,6 % локомотивів, 6,6 % – у пасажирському русі, 14,6 % на виконанні господарської роботи, 14,1 % електровозів використовується при виробництві спец.маневрів та 3,4 % на інших видах робіт. Загалом, 38% від загальної кількості електровозів в експлуатації УЗ – електровози постійного струму.

3. Встановлено, що експлуатаційний парк електровозів постійного струму залізниць України використовує застарілу реостатно-контакторну систему управління тяговим електроприводом, що викликає незворотні втрати електричної енергії на пускових реостатах електровоза, внаслідок чого значно знижується коефіцієнт корисної дії електрорухомого складу.

4. Розраховано потужність незворотних втрат електричної енергії в пускових реостатах та визначено коефіцієнт використання електроенергії системою тягового електропривода електровоза постійного струму серії ВЛ8.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Доманский И.В. Потенциал энергосбережения железниц та інноваційні напрямки розвитку його реалізації [Текст] / И. В. Доманский // Локомотив – інформ. – 2013. – № 9(87). – С. 53–55.
2. Боценко О.В. «Львівська» модернізація електровозів ВЛ11<sup>М</sup> [Текст] / О. В. Боценко // Локомотив – інформ. – 2012. – № 8(74). – С. 40–42.
3. Повышение энергоэффективности поездов Синкансен [Текст] // Железные дороги мира (Россия). – 2010. – №5. – С. 50-54.
4. Программа экономии энергии на сети SBB [Текст] // Железные дороги мира (Россия) . – 2010. – № 8. – С. 61 – 66.
5. Управление расходами на электроэнергию для тяги поездов [Текст] // Железные дороги мира (Россия) . – 2010. – №9. – С. 30 – 32.
6. Бабанин А.Б. Использование электровозов при горочной работе [Текст] / А.Б. Бабанин // Локомотив – інформ. – 2013. – № 4(82). – С. 6–8.

**Yuriy Cherniak, PhD (Technical Sciences), Associate Professor**  
**(Head of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)**  
**Victoriia Hachenko, PhD (Technical Sciences)**  
**(Associate Professor Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)**  
**Andriy Haiur**  
**(postgraduate of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)**  
**Sergiy Karashchuk**

*(postgraduate of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)*

**ASSESSMENT OF THE ENERGY EFFICIENCY OF THE TRACTION ELECTRIC DRIVE FOR ELECTRIC LOCOMOTIVES WITH DIRECT CURRENT POWER SUPPLY SYSTEM**

*In the article the analysis of the using electricity for electric locomotives in railroad of Ukraine with different types of traffic for the period 2011–2014 years. The average consumption of electric energy for traction in the year is 4,908 million kW · h. Determined that the cargo rolling stock consumes the most electricity for traction. 72.3% consuming of electric energy is cargo traction.*

*The list electric locomotives of railways Ukraine and depending on the kind of different types of traffic and power supply systems is considered. Found that the largest number electric locomotives with direct current involved in cargo traction.*

*Effectiveness of providing electric energy control system is defined by the presence of irreversible losses. Found that efficiency of the control system on electric locomotive with direct current less than unity. So the electric locomotive with direct current is possible to improve.*

*Summed that is necessary to analyze the temporal parameters of electric locomotives with direct current and rheostat-contactor control system in order to determine full irreversible power consumption on starting resistors.*

*Keywords: energy-saving technologies, coefficient of efficiency, traction motor, electric locomotive, direct current.*

**REFERENCES**

1. Domanskij I.V. Potencial energozberezheniya zaliznic' ta innovacijni napryamki rozvitku jogo realizacii [Energy saving potential of railways and innovative directions of its implementation] / I. V. Domanskij // Lokomotiv – inform. – 2013. – № 9(87). – pp. 53–55.
2. Bocenko O.V. «L'vivs'ka» modernizaciya elektrovoziv VL11M [Lviv modernization of electric locomotives VL11M] / O. V. Bocenko // Lokomotiv – inform. – 2012. – № 8(74). – pp. 40–42.
3. Povy'shenie e'nergoe'ffektivnosti poezdov Sinkansen [Improving the energy efficiency of trains Shinkansen] // Zhelezny'e dorogi mira (Rossiya) . – 2010. – №5. – pp. 50–54.
4. Programma e'konomii e'nergii na seti SBB [Energy saving program on a network SBB] // Zhelezny'e dorogi mira (Rossiya) . – 2010. – №8. – pp. 61–66.
5. Upravlenie rasxodami na e'lektroe'nergiyu dlya tyagi poezdov [Management costs of electricity for traction trains] // Zhelezny'e dorogi mira (Rossiya) . – 2010. – №9. – pp. 30–32.
6. Babanin A.B. Ispol'zovanie e'lektrovozov pri gorochnoj rabote [The use of electric locomotives at railway hump yard] / A.B. Babanin // Lokomotiv – inform. – 2013. – № 4(82). – pp. 6–8.