

РОЗРАХУНОК ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЗА РАХУНОК УПРАВЛІННЯ ПОКАЗНИКАМИ ПОТОКУ ПОЇЗДІВ

Вступ

Для господарств залізничного транспорту важливим завданням є оцінка потенціалу енергозбереження. Дане завдання важливе як у теоретичному, так і практичному плані. Маючи науково-обґрунтований потенціал енергозбереження можна виявити раціональні напрямки інвестицій в енергозберігаючі проекти, ефективно управляти споживанням паливно-енергетичних ресурсів і в цілому проводити політику енергозбереження на залізничному транспорті. При експлуатації систем електропостачання залізниць важливим є рівень використання величини потенціалу енергозбереження при стимулюванні енергозбереження. На сьогоднішній день не досить використовується потенціал енергозбереження в господарствах електрифікації й електропостачання, існують значні резерви [1, 2].

В даний час на залізничному транспорті існує багато різних методів енергозбереження, вони представляють собою різноманітні способи покращення енергоефективності. Споживання електроенергії транспортом знаходиться на 4-му місці після промисловості, населення та комунально-побутових споживачів у загальному енергетичному балансі України. Економія навіть незначного відсотка споживання електроенергії викликає відчутну економію коштів [3,4]. Забезпечення чітко визначеного руху поїздів впливає на споживання електроенергії. В першу чергу споживання електроенергії залежить від організації перевізного процесу та значною мірою визначається узгодженою роботою всіх підрозділів: локомотивних та вагонних депо, станцій,

сигналізації та зв'язку, станцій та дистанцій електропостачання. Існує низка розроблених методів щодо оптимізації руху поїздів за режимними картами [5-7]. Згадані методи були прийняті за основу створення програмного комплексу для тренування машиністів локомотивів.

В даній роботі розглянуто метод покращення енергетичної ефективності системи тягового електропостачання за рахунок оптимізації графіків руху поїздів. Цей метод може бути реалізований без значних витрат коштів [8-10]. В статті аналізується потенціал енергозбереження за рахунок корегування потоку поїздів. Розрахуємо втрати потужності в тяговій мережі при існуючому графіку руху поїздів та запропонуємо корегований графік з меншою нерівномірністю.

Розрахунок втрат в системі тягового електропостачання при існуючому графіку

Схема розрахункової електрифікованої ділянки наведена на рис. 1.

Вихідні дані для електричного розрахунку:

- на тягових підстанціях використовуються випрямлячі ВТПКД-МБ-12п-3150А-3,3кВ, УВКЕ-1-3000А-3,3кВ;
- пікети тягових підстанцій, а також ППС та ПСК;
- тип контактної підвіски на ділянці М-120+2МФ-100;
- схема живлення тягової мережі-паралельна;
- довжина міжпідстанційної зони – 14,9 км;
- типи електровозів, що курсують на ділянці – ВЛ8, ДЕ1, ЧС7.

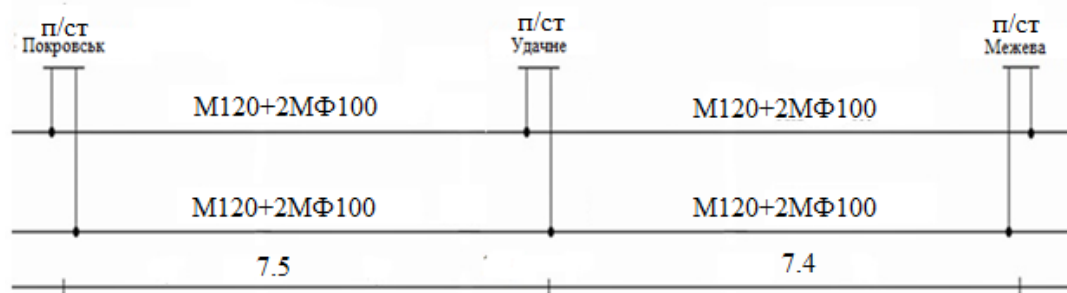


Рис. 1. Розрахункова схема електрифікованої ділянки

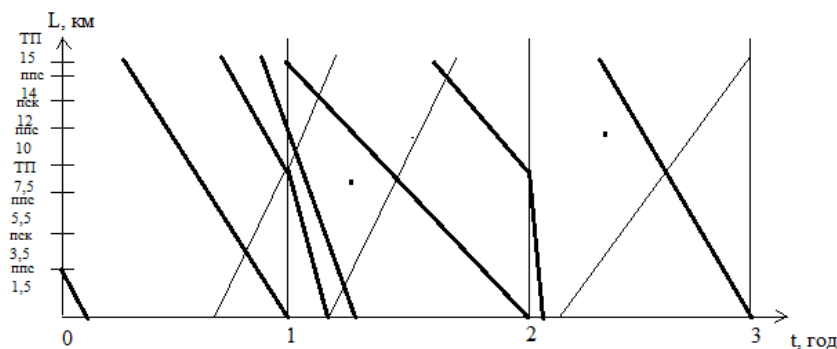


Рис. 2. Існуючий графік руху поїздів на електрифікованій ділянці 'Покровськ-Межева'

Будемо використовувати методику розрахунків систем тягового електропостачання, яка розроблена в ДНУЗТ [3].

На ділянці електропостачання 'Покровськ-Межева' існує нерівномірний графік руху поїздів наведений на (рис.2). Даний графік не є енергоефективним, за допомогою вирівнювання інтервалів між поїздами можна зменшити втрати електроенергії в тяговій мережі, не вкладаючи значних інвестицій.

В якості показника нерівномірності потоку поїздів будемо використовувати коефіцієнт варіації міжпоїздного інтервалу. Визначимо коефіцієнт нерівномірності та його складові.

Коефіцієнт варіації визначається за формулою (1):

$$K_B = \frac{\sigma_T}{m_T}, \quad (1)$$

де m_T - математичне очікування інтервалу між поїздами;

σ_T - середньоквадратичне відхилення інтервалів між поїздами.

Математичне очікування міжпоїздного інтервалу визначається за формулою (2) на основі аналізу графіку руху поїздів

$$m_T = \frac{\sum t_i}{n}, \quad (2)$$

де $\sum t_i$ - сума інтервалів між поїздами;

n - кількість інтервалів між поїздами.

Середньоквадратичне відхилення визначається (3)

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{\sum (t_i - m_T)^2}{n-1}}, \quad (3)$$

Скориставшись формулами (2) та (3) для існуючого графіку руху поїздів отримано $m_T=20$ хв., $\sigma_T=11,18$ хв., $K_B=0,559$.

За розрахунковою схемою електрифікованої ділянки створено схему заміщення (рис.3).

Тяговий розрахунок проводився для потягу ВЛ-8. Для розглянутої задачі приймаємо, що на ділянці рухаються поїзди однієї категорії.

За допомогою тягового розрахунку для дослідної ділянки були визначені струми електровозу (рис.4)

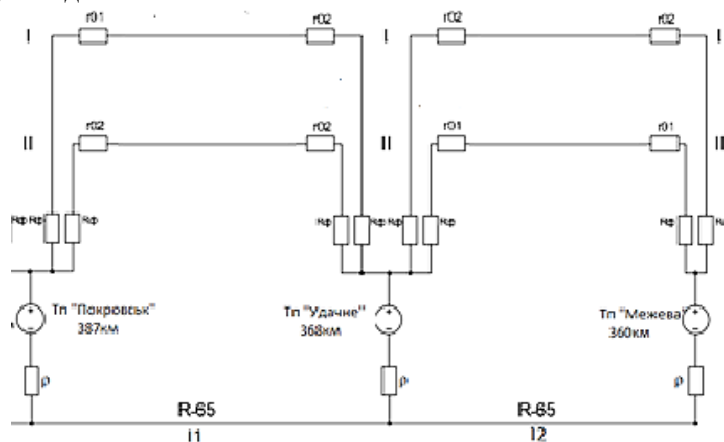


Рис. 3. Схема заміщення дослідної ділянки 'Покровськ – Межева' $r01, r02$ – опір контактної мережі, Rf – опір фідера, p – опір тягової підстанції, $R65$ – тип рейок

© Кузнецов В. Г., Кравцов А. В., 2018

Таблиця 1 - Характеристики поїздів різних категорій

№ категорії поїзду	Характеристика		
	Категорія	Вага брутто, т	Тип електровозу
1	Вантажний	1400	ВЛ-8

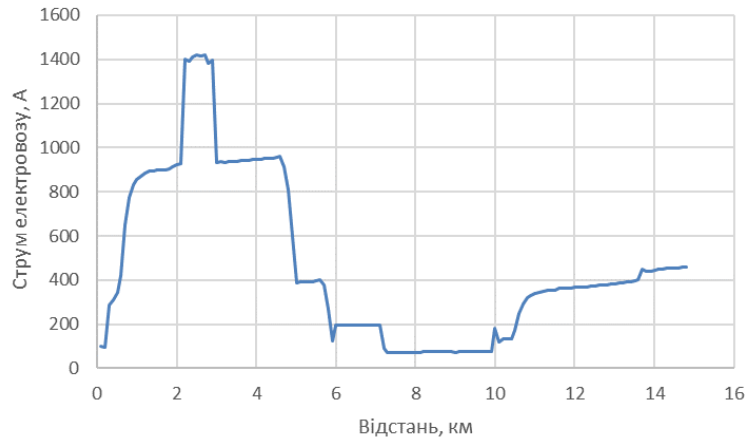


Рис. 4. Результати тягового розрахунку

Всі розрахунки значень втрат проводились у середовищі Maple.

Розрахунок проводиться погодинно, для першої реалізації приведені падіння напруги, графік струмів і миттєві втрати потужності.

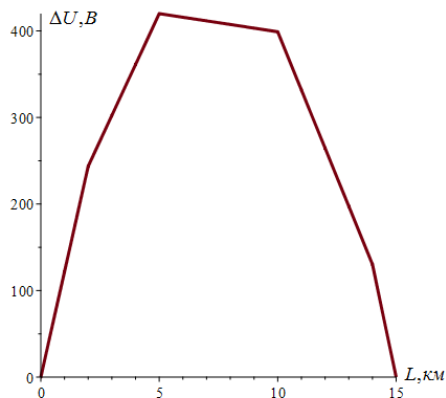


Рис. 5. Падіння напруги на міжпідстанційній зоні

Сумарні втрати потужності в тяговій мережі для першого перерізу графіку склали 3031 кВт.

Розрахунок втрат при коригованому графіку руху

Проведемо корегування графіку руху поїздів. Спільно з поїздним диспетчером визначено межі корегування існуючого графіку для забезпечення зменшення втрат електроенергії в тяговій мережі. Розрахунки проводились аналогічно розрахункам для існуючого нерівномірного графіку руху для ділянки Покровськ – Межева.

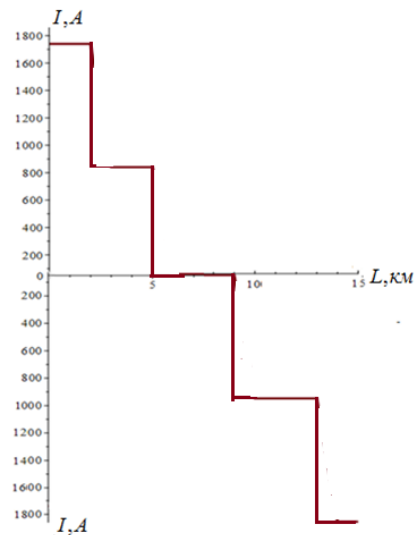


Рис. 6. Графік струмів

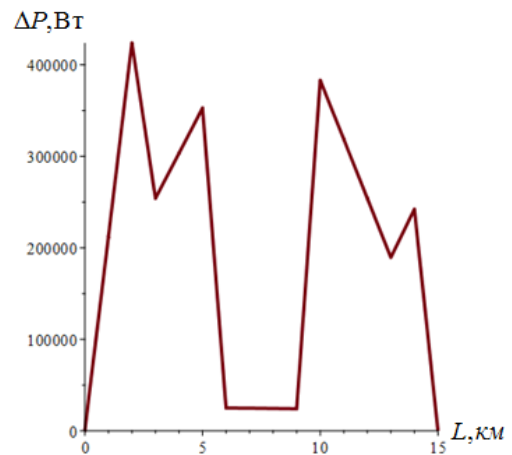


Рис. 7. Миттєві втрати потужності

Коригований графік руху

Пропонований коригований графік руху представлений на рис. 8.

Як і в випадку існуючого графіку був розрахований коефіцієнт варіацій міжпоїздного інтервалу. Для коригованого графіку руху поїздів K_v склав 0,109.

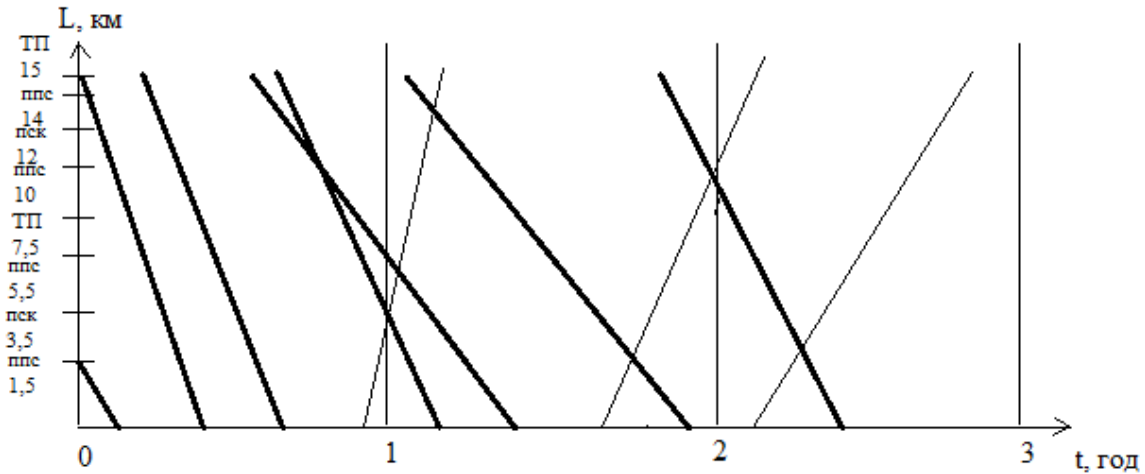


Рис. 8. Коригований графік руху

Розрахунок втрат електроенергії при коригованому графіку руху

За допомогою програми Maple побудуємо графіки падіння напруги (рис.9), графік струму (рис. 10), розподіл миттєвих втрат на ділянці (рис.11) аналогічно першого випадку для першої точки перерізу графіку руху.

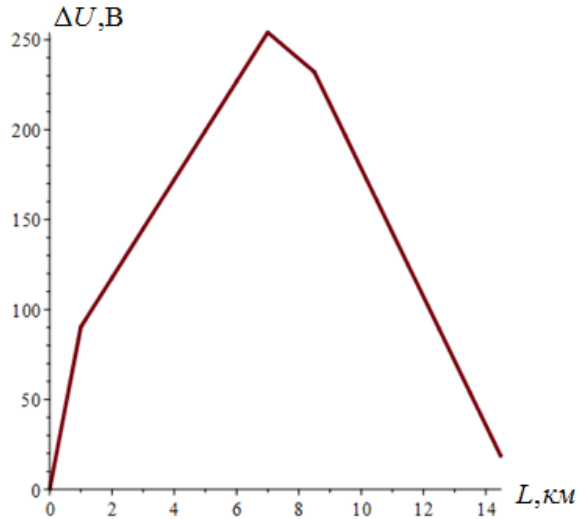


Рис. 9. Падіння напруги на ділянці для коригованого графіку руху

Сумарні миттєві втрати в тяговій мережі для першої точки перерізу графіку руху склали 997,45 кВт.

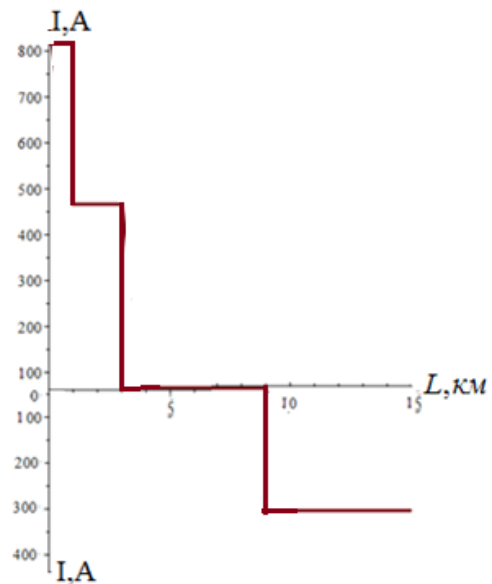


Рис. 10. Графік струмів для коригованого графіку руху

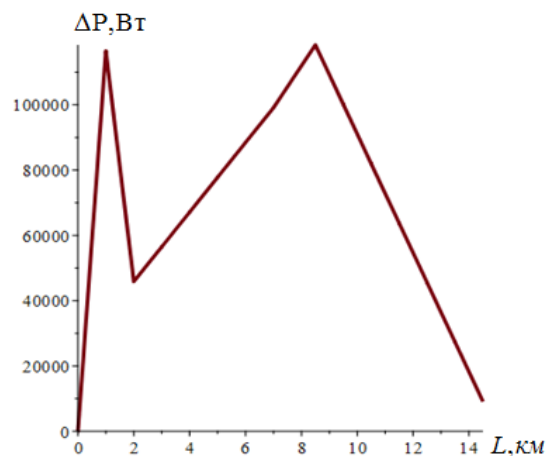


Рис. 11. Розподіл миттєвих втрат для коригованого графіку руху

© Кузнецов В. Г., Кравцов А. В., 2018

Розрахунок потенціалу енергозбереження

Виконавши електричні розрахунки для тягової мережі при існуючому та корегованому графіках руху було побудовано графік втрат потужності для обох графіків руху (рис. 12). Максимальні значення втрат склали відповідно

3031,56 кВт для існуючого і 1355,54 кВт для корегованого графіків руху поїздів.

Виконавши розрахунок відсоткових втрат, був отриманий графік відсоткових втрат потужності (рис. 13). На цьому ж рисунку показано область потенціалу енергозбереження.

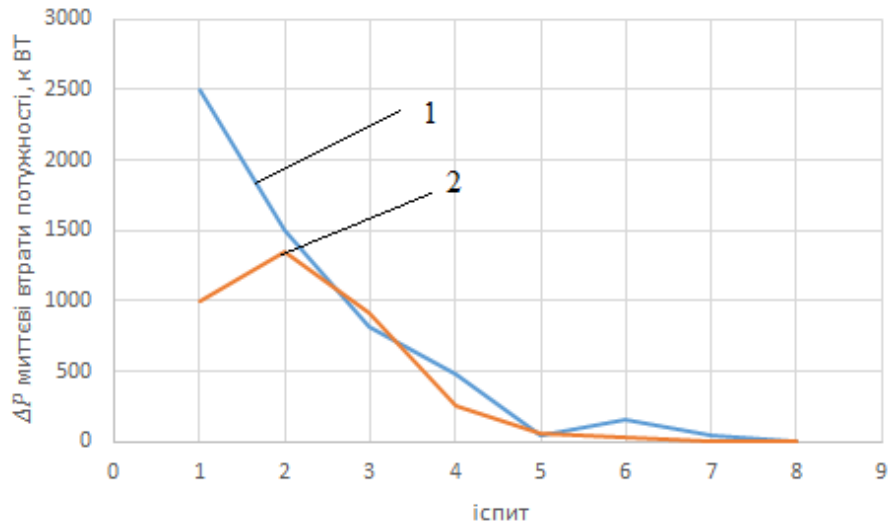


Рис. 12. Миттєві втрати потужності: 1 – нерівномірний, 2 – корегований

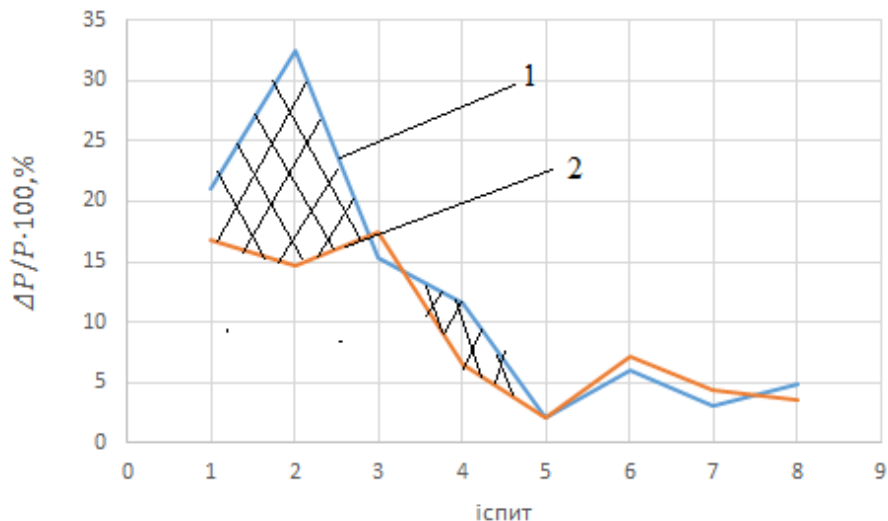


Рис. 13. Відсоткові втрати потужності в тяговій мережі: 1 – нерівномірний, 2 – корегований

Висновки

В даній роботі розглядалося питання енергоефективності діючих графіків руху поїздів на ділянці Покровськ – Межева. В результаті досліджень можна зробити такі висновки:

1. Нерівномірність потоку поїздів в тяговій мережі впливає на енергетичні характеристики. Величина втрат електроенергії в елементах системи електропостачання є визначальним фактором оцінки ефективності процесів електропостачання і електроспоживання в будь-якій електроенергетичній системі.

2. Згідно з проведеним дослідженням, розрахунок відсотків втрат в тяговій мережі показав, що при нерівномірному графіку руху найбільші втрати склали 32,5 %, при корегованому 17,5 %, найменші 2,09 % для нерівномірного графіку, 2,02 % для корегованого графіку руху, різниця втрат складає в кращому випадку 15 %, в найменшому 0,074 %. Таким чином за рахунок коригування графіку руху поїздів на ділянці можна зменшити втрати потужності в тяговій мережі на 0,1...15 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

REFERENCES

1. Кузнецов, В. Г. Оценка потенциала энергосбережения систем электроснабжения тяги поездов постоянного тока [Текст] / В. Г. Кузнецов, Б. А. Костюковский // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”.-2012.-№26.-С.109-116.
2. Кузнецов, В. Г. Подходы к определению потенциала энергосбережения железнодорожного предприятия [Текст] / В. Г. Кузнецов, Н. М. Ковальчук // Тези 1-ї науково-практичної конференції "Енергооптимальні технології перевізного процесу".-2016.-Д.:ДНУЗТ.-С.78-79.
3. Сиченко, В. Г. Энергетика тяговых сетей [Текст]: монографія / В. Г. Сиченко, В. Г. Кузнецов, Д. О. Босий, О. І. Саблін.-Дніпро: Вид-во ПФ «Стандарт-Сервіс», 2017.-210с.
4. Денисюк С. П. Энергозбереження та енергетичний менеджмент у пристроях тягового електропостачання [Текст]: навчальний посібник / С. П. Денисюк, В. Г. Кузнецов, В. Г. Сиченко, О. М. Крупинський; Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015.– 264с.
5. Модульный тренажер машиниста / А. С. Акулов, К. І. Железнов, О. М. Заболотний, Л. В. Урсуляк, Є. В. Чабанюк, Д. В. Черняев, А. О. Швець // Локомотив-інформ. – 2017. – № 7–8. – С. 42–49.
6. Навчальні модульні тренажери для спеціалізованої техніки / А. С. Акулов, К. І. Железнов, О. М. Заболотний, Л. В. Урсуляк, Є. В. Чабанюк, Д. В. Черняев, А. О. Швець. – Локомотив-інформ. – 2017. – № 11–12. – С. 46–51.
7. Програмне забезпечення для візуалізації та вивчення електричних та пневматичних схем тягового рухомого складу / А. С. Акулов, К. І. Железнов, О. М. Заболотний, Л. В. Урсуляк, Є. В. Чабанюк, Д. В. Черняев, А. О. Швець. – Локомотив-інформ. – 2017. – № 9–10. – С. 44–49.
8. Кузнецов, В. Г. Дослідження впливу показників транспортного потоку на втрати електроенергії в тяговій мережі / В. Г. Кузнецов, О. М. Полях, А. О. Полях // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — Д., 2011. — Вип. 36. — С. 84—87
9. Калашников, К. О. Зменшення втрат електроенергії в тяговій мережі постійного струму шляхом вибору раціональної дислокації тягових навантажень : авт. дис. к. т. н. / К. О. Калашников ; Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2014. - 20 с.
10. Кузнецов В. Г. Управління транспортним потоком для зменшення експлуатаційних витрат електрифікованих залізниць / В. Г. Кузнецов, Д. О. Босий, К. О. Калашников // Електрифікація транспорту. — 2013. — № 6. — С. 71—79.

1. Kuznetsov, V. G. Otsenka potentsyala enerhosberezheniya system elektrosnabzheniya tiahov poezdov postoiannoho toka [Assessment of the energy saving potential of DC traction power supply systems] / V. G. Kuznetsov, B. A. Kostyukovskyi // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu „KhPI”.-2012.-№26.-S.109-116.
2. Kuznetsov, V. H. Podkhody k opredeleniyu potentsyala enerhosberezheniya zheleznodorozhnoho predpriyatiya [Approaches to the definition of the energy saving potential for a railway enterprise] / V. G. Kuznetsov, N. M. Kovalchuk // Tezy 1-yi naukovopraktychnoi konferentsii "Enerhooptymalni tekhnolohii pereviznoho protsesu".-2016.-D.:DNUZT.-S.78-79.
3. Sychenko, V. G. Enerhetyka tiahovykh mrezh [Power engineering of traction networks]: monohrafiia / V. H. Sychenko, V. H. Kuznetsov, D. O. Bosyi, O. I. Sablin.-Dnipro: Vyd-vo PF «Standart-Servis», 2017.-210s.
4. Denysiuk S. P. Enerhozberezhennia ta enerhetychnyi menedzhment u prystroiakh tiahovoho elektropostachannia [Energy saving and energy management in traction power devices] : navchalnyi posibnyk / S. P. Denysiuk, V. H. Kuznetsov, V. H. Sychenko, O. M. Krupynskyi; Dnipropetr. nats. un-t zalizn. transp. im. akad. V. Lazariana. – Dnipropetrovsk, 2015.– 264s.
5. Modulnyi trenazher mashynista [Modular simulator of driver] / A. S. Akulov, K. I. Zheliezov, O. M. Zabolotnyi, L. V. Ursuliak, Ye. V. Chabaniuk, D. V. Cherniaiev, A. O. Shvets // Lokomotyv-inform. – 2017. – № 7–8. – S. 42–49.
6. Navchalni modulni trenazhery dlia spetsializovanoi tekhniki [Training modular simulators for specialized equipment] / A. S. Akulov, K. I. Zheliezov, O. M. Zabolotnyi, L. V. Ursuliak, Ye. V. Chabaniuk, D. V. Cherniaiev, A. O. Shvets. – Lokomotyv-inform. – 2017. – № 11–12. – S. 46–51.
7. Prohramne zabezpechennia dlia vizualizatsii ta vyvchennia elektrychnykh ta pnevmatychnykh skhem tiahovoho rukhomoho skladu [Software for visualization and study of electric and pneumatic circuits of rolling stock] / A. S. Akulov, K. I. Zheliezov, O. M. Zabolotnyi, L. V. Ursuliak, Ye. V. Chabaniuk, D. V. Cherniaiev, A. O. Shvets. – Lokomotyv-inform. – 2017. – № 9–10. – S. 44–49.
8. Kuznetsov, V. G. Doslidzhennia vplyvu pokaznykiv transportnoho potoku na vtraty elektroenerhii v tiahovii mrezhii [Дослідження впливу показників транспортного потоку на втрати електроенергії в тяговій мережі] / V. G. Kuznetsov, O. M. Poliakh, A. O. Poliakh // Visn. Dnipropetr. nats. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazariana. — D., 2011. — Vyp. 36. — S. 84—87
9. Kalashnykov, K. O. Zmenshennia vtrat elektroenerhii v tiahovii mrezhii postiinoho strumu shliakhom vyboru ratsionalnoi dyslokatsii tiahovykh navantazhen [Reduction of electric power losses in the DC traction network by choosing a rational dislocation

© Кузнецов В. Г., Кравцов А. В., 2018

of traction loads]: avt. dys. k. t. n. / K. O. Kalashnikov ; Dnipropetr. nats. un-t zalizn. transp. im. akad. V. Lazariana. - D.: Vyd-vo Dnipropetr. nats. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazariana, 2014. - 20 s.

10. Kuznetsov V. G. Upravlinnia transportnym potokom dlia zmenshennia ekspluatatsiinykh vytrat elektryfikovanykh zaliznyts [Transport flow management to reduce the operating costs of electrified railways] / V. . Kuznetsov, D. O. Bosyi, K. O. Kalashnikov // Elektryfikatsiia transportu. — 2013. — № 6. — S. 71—79.

У роботі аналізується потенціал енергозбереження системи тягового електропостачання за рахунок корегування показника нерівномірності потоку поїздів для електрифікованої ділянки. Розглянуто порівняння двох графіків руху поїздів з різної нерівномірністю за критерієм втрат електроенергії в тяговій мережі. Розглянуто діючий графік руху поїздів на дистанції електропостачання. Для діючого графіку розраховано втрати електроенергії в тяговій мережі для. Запропоновано коригований графік руху поїздів, в якому показник нерівномірності менший. Діючий і запропонований графік руху поїздів порівняно за критерієм втрат електроенергії в тяговій мережі. Величина втрат електроенергії в елементах системи електропостачання є визначальним фактором оцінки ефективності процесів електропостачання і електроспоживання в будь-якій електроенергетичній системі. В якості показника нерівномірності потоку поїздів прийнято коефіцієнт варіації.

Зменшити втрати електроенергії в тяговій мережі можливо за допомогою коригування показників нерівномірності транспортного потоку. Чим менша нерівномірність потоку поїздів тим менші втрати електроенергії в елементах системи тягового електропостачання. Запропоновано коригований графік потоку поїздів. Встановлено границі технічно досяжного потенціалу енергозбереження в системі тягового електропостачання за рахунок корегування показника нерівномірності потоку поїздів на електрифікованій ділянці. В сучасних умовах роботи залізницям України необхідно шукати шляхи енергозбереження з мінімальними інвестиціями. За рахунок корегування нерівномірності потоку поїздів можна зменшити втрати електроенергії в тяговій мережі. Встановлення потенціалу енергозбереження дозволяє планувати витрати на енергоощадні заходи, ранжувати їх по заданим критеріям, шукати дофінансування від фінансових інституцій.

Ключові слова: графік руху, енергозбереження, система тягового електропостачання, втрати електроенергії, тягова мережа.

УДК 621.331

В. Г. КУЗНЕЦОВ, А. В. КРАВЦОВ (ДНУЖТ)

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. (056) 793-19-11, эл. почта: vkuz@i.ua, ORCID: orcid.org/0000-0003-4165-1056

РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ УПРАВЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПОТОКА ПОЕЗДОВ

В работе анализируется потенциал энергосбережения системы тягового электроснабжения за счет корректировки показателя неравномерности потока поездов для электрифицированного участка. Рассмотрено сравнение двух графиков движения поездов с различной неравномерностью по критерию потерь электроэнергии в тяговой сети. Рассмотрены действующий график движения поездов на дистанции электроснабжения. Для действующего графика рассчитаны потери электроэнергии в тяговой сети. Предложено скорректированный график движения поездов, в котором показатель неравномерности меньший. Действующий и предлагаемый график движения поездов сравниваются по критерию потерь электроэнергии в тяговой сети. Величина потерь электроэнергии в элементах системы электроснабжения является определяющим фактором оценки эффективности процессов электроснабжения и электропотребления в любой электроэнергетической системе. В качестве показателя неравномерности потока поездов принято коэффициент вариации.

Уменьшить потери электроэнергии в тяговой сети возможно с помощью корректировки показателей неравномерности транспортного потока. Чем меньше неравномерность потока поездов тем меньше потери электроэнергии в элементах системы тягового электроснабжения. Предложено скорректированный график потока поездов. Установлено границы технически достижимого потенциала энергосбережения в системе тягового электроснабжения за счет корректировки показателя неравномерности потока поездов на электрифицированном участке. В современных условиях работы железным дорогам Украины необходимо искать пути энергосбережения с минимальными инвестициями. За счет корректировки неравномерности потока поездов можно уменьшить потери электроэнергии в тяговой сети. Установление потенциала энергосбережения позволяет планировать расходы на энергосберегающие мероприятия, ранжировать их по заданным критериям, искать дофинансирование от финансовых институтов.

Ключевые слова: график движения, энергосбережение, система тягового электроснабжения, потери электроэнергии, тяговая сеть.

© Кузнецов В. Г., Кравцов А. В., 2018

UDC 621.331

V. G. KUZNETSOV, A. V. KRAVTSOV (DNURT)

Dnipropetrovsk National University of Railway Transport Academician named after Academician V. Lazaryan,
 Laraziana str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. (056) 793-19-11, e-mail: vkuz@i.ua,
 ORCID: orcid.org/0000-0003-4165-1056

CALCULATION OF ENERGY SAVING POTENTIAL BY CONTROLLING THE FLOW OF TRAINS

The paper analyzes the energy saving potential of the traction power system by adjusting the unevenness of the flow of trains for the electrified section. The comparison of two train schedules with different non-uniformity according to the criterion of electric power losses in the traction network is considered. Considered the current timetable of trains on the section of power supply. For the current timetable, the power losses in the traction network was calculated. An adjusted train timetable is proposed, in which the index of unevenness is smaller. The current and proposed timetable of trains is compared on the criterion of electric power losses in the traction network. The amount of electricity losses in the elements of the power supply system is a determining factor for assessing the efficiency of the power supply and electricity consumption processes in any power supply system. The coefficient of variation is proposed as an indicator of uneven flow of trains.

Reducing power losses in the traction network is possible by adjusting the traffic flow unevenness indicators. The less uneven flow of trains is the less electric power loss in the elements of the traction power system. It was proposed the corrected train flow timetable. It was established the boundaries of the technically accessible potential of energy saving in the traction power supply system due to the correction of the unevenness of the flow of trains on the electrified section. In current s working conditions, railways in Ukraine need to look for ways to save energy with minimal investment. By adjusting the uneven flow of trains, it's possible to reduce the power losses in the traction network. Setting up energy saving potential allows you to plan the costs of energy-saving measures, rank them according to specified criteria, seek co-financing from financial institutions.

Keywords: traffic timetable, energy saving, traction power system, power losses, traction network.

Received 23.01.2018; accepted in revised form 12.04.2018.