

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ НА ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ

Виконано дослідження впливу коефіцієнта варіацій міжпоїздного інтервалу на втрати електроенергії в тяговій мережі.

*Ключові слова:* втрати електроенергії в тяговій мережі, коефіцієнт варіацій міжпоїздного інтервалу

Выполнено исследование влияния коэффициента вариации межпоездного интервала на потери электроэнергии в тяговой сети.

*Ключевые слова:* потери электроэнергии в тяговой сети, коэффициент вариации межпоездного интервала

The researches of the influence of variation coefficient of inter-train interval on the losses of electric power in traction line are discussed.

*Keywords:* losses of electric power in traction line, variation coefficient of inter-train interval

### Вступ

На сьогоднішній день провідна роль у здійсненні вантажоперевезень належить електрифікованому транспорту. Одним з напрямів удосконалення технології перевізного процесу є визначення раціональних режимів системи тягового електропостачання. Багато учених займалися даною проблемою [2, 8, 3, 1, 5]. Проте питання впливу організації руху поїздів, показників поїздопотоків на енергетичні показники системи тягового електропостачання потребує подальшого вивчення.

Дослідження цих питань вимагає застосування методів розрахунку систем електропостачання, які можуть враховувати характеристики транспортного процесу.

На кафедрі електропостачання ДНУЗТ розроблено метод розрахунку систем тягового електропостачання, де потік поїздів представляється як потік відновлення [7, 6]. Ця методика розрахунку системи електропостачання заснована на представленні потоку поїздів як потоку випадкових подій з обмеженим наслідком, а струмоспоживання електровозів як нестационарного випадкового процесу. Вона може бути використана не тільки для вирішення завдання оптимізації, але і як самостійна методика розрахунку системи електропостачання або входити складовою частиною в інші завдання оптимізації системи тягового електропостачання.

Такий підхід дозволяє враховувати вплив нерівномірності потоків поїздів на енергетичні показники системи електропостачання електрифікованого транспорту (перш за все – втрати електроенергії в елементах системи тягового електропостачання).

### Мета дослідження

Метою даної статті є дослідження закономірностей впливу показників потоку поїздів на втрати електроенергії в тяговій мережі. Знання цих закономірностей дозволить знайти раціональні режими роботи системи електропостачання електрифікованого транспорту.

### Основна частина

Існуючі методи розрахунку мереж базуються на заданих схемах живлення, кількості, розміщення та значень навантажень. Навантаження можуть бути задані у вигляді струмів або потужності. Розрахунок тягової мережі принципово відрізняється від розрахунку стаціонарних мереж. Система тягового електропостачання представляє собою багатовимірну стохастичну нелінійну систему. При виборі методів розрахунків таких систем приходиться знаходити компроміс між: точністю або трудомісткістю.

Найбільш розповсюджені наступні три групи методів розрахунку систем електропостачання, які показано на рис. 1:

- 1) методи розрахунку по заданому графіку руху поїздів;
- 2) методи розрахунку по середніх розмірах руху поїздів;
- 3) методи розрахунку з урахуванням нерівномірності руху поїздів;

*Методи розрахунку по заданому графіку руху поїздів*

Ці методи розрахунку, засновані на використанні графіка руху поїздів і кривих споживаних струмів, отриманих за наслідками тягових розрахунків.

До цієї групи методів можна віднести: методи рівномірного перетину графіка руху поїздів, характерних перетинів графіка руху поїздів,

безперервного дослідження графіка руху поїздів.

Основною складністю у використанні цих методів є трудомісткість.



Рис. 1. Існуючі методи розрахунку систем електропостачання електричного транспорту

*Методи розрахунку по середніх розмірах руху поїздів*

Методи розрахунку по середніх розмірах руху поїздів створювалися і розвивалися в 20-і рр. минулого сторіччя.

Ці методи також не враховують коливання числа поїздів. Результати розрахунків в цьому випадку будуть заниженими.

До цієї групи методів можна віднести методи рухомих навантажень, рівномірно розподіленого навантаження, узагальнений аналітичний метод.

*Методи розрахунку з урахуванням нерівномірності руху поїздів*

До цієї групи методів можемо віднести: методи які базуються на представленні струму і кількості поїздів випадковим розміром, методи які базуються на представленні процесу руху поїздів як потоку випадкових подій.

Розглянемо метод який базуються на представленні процесу руху поїздів як потоку випадкових подій. Якщо розглянути число поїздів у фідерної зоні випадкове із-за випадкового їх розташування в зоні живлення і безперервного руху, це число є основним чинником, що визначає навантаження в системі тягового електропостачання.

Будь-яка випадкова величина якнайповніше характеризується законом її розподілу, який

визначає імовірність знаходження у фідерній зоні конкретного числа поїздів. Тобто ця методика розрахунків буде враховувати нерівномірність навантаження. І цю методику ми використали для дослідження залежності впливу показників транспортного потоку на втрати електроенергії в тяговій мережі.

Зміна положення поїздів при русі по ділянках є стохастичним процесом і неідентичним у просторі та часі. Поїзда в потоці слідує з різними швидкостями на різних відстанях один від одного, таким чином швидкості поїздів та інтервали між ними, зафіксовані у випадкові моменти часу є також випадковими показниками. Отже рух поїздів, маючи детерміновану основу, яка визначається графіком руху, по своїй фізичній природі – процес ймовірнісний. Також слід відрізнити часовий і просторовий процеси руху потоку поїздів [4].

Визначення умовних ймовірностей появи поїздів базується на використанні густини відновлення, яка в теорії надійності відома ще як параметр потоку відмов. Визначається вказаний параметр через густину розподілу міжпоїзних інтервалів шляхом вирішення інтегрального рівняння Вольтерра другого роду:

$$h(t) = f(t) + \int_0^t f(x)h(t-x)dx, \quad (1)$$

де  $f(t)$  – густина розподілення міжпоїзних інтервалів;

$h(t)$  – інтенсивність потоку поїздів;

$t$  – час.

Поведінка функції  $h(t)$  сильно залежить від коефіцієнта варіації, а також міжпоїзного інтервалу.

Рівняння (1) можемо записати і в іншій формі, якщо потрібно визначити імовірність розподілу:

$$f(t) = h(t) + \int_0^t h(t-x)f(x)dx, \quad (2)$$

При вирішенні рівняння Вольтерра другого роду, і використавши методика розрахунків систем тягового електропостачання, яка розроблена в ДНУЗТ. Ми можемо перейти до знаходження втрат електроенергії в тяговій мережі за наступними формулами.

Інтенсивність потоку поїздів  $h(t)$  пов'язана з інтенсивністю потоку  $\lambda(l)$  інтегральним рівнянням [4]

$$\lambda(l) = \frac{h(t)}{\vartheta}, \quad (3)$$

де  $\vartheta$  – середня швидкість руху поїздів.

Середній струм на шинах тягової підстанції [6]:

$$\bar{i}_v = \sum_{v=1}^m \bar{i}_v \cdot \bar{n}_v \cdot \bar{\psi}_{sv}; \quad \bar{n}_v = \lambda_v \cdot l_v, \quad (4)$$

де  $\bar{i}_v$  – середній струм зони;

$\bar{i}_v$  – середній струм в тяговій мережі на  $v$ -тій секції;

$\bar{n}_v$  – кількість поїздів на  $v$ -тій секції;

$\bar{\psi}_{sv}$  – значення функції струмового завантаження перетину „S” при розташуванні поїзда на  $v$ -му відрізьку.

Середні втрати потужності в тяговій мережі від навантажень поїздів виразимо інтегралом від епюри середнього квадрата струму на розрахунковій ділянці

$$\Delta \bar{p} = \int_0^l \bar{i}_v^2(s) \cdot r_0(s) ds, \quad (5)$$

де  $\Delta \bar{p}$  – середні втрати потужності;

$l$  – відстань;

$\bar{i}_v$  – еквівалентний струм;

$r_0$  – опір.

При струмоспоживанні по кожній та за відсутності зрівняльних струмів запишемо наступний вираз для середніх втрат потужності зони:

$$\Delta \bar{p} = r_3 \cdot (\beta_{I1} \cdot (J_1 + J_2) + \beta_{II1} \cdot (I_1^2 + I_2^2) + \beta_{II2} \cdot I_1 \cdot I_2), \quad (6)$$

де  $r_3$  – опір зони;

$J_1, J_2$  – квадрат струмів поїздів на першому та другому шляху;

$I_1, I_2$  – струм поїздів на першому та другому шляху.

Коефіцієнти виразу (6), обчислені підсумовуванням елементів відповідних блоків приведені матриць, дано в табл. 1 [6].

Таблиця 1

### Коефіцієнти

Схема живлення	Коефіцієнти					
	$\beta_{I1}$	$\beta_{II1}$	$\beta_{II2}$	$\beta_I$	$\beta_{II}$	$\beta_{II}^n$
Консольна	0,500	0,161	,	0,500	0,161	0,333
Двобічна	0,166	0,038	,	0,166	0,038	0,083
Вузлова	0,125	0,022	0,062	0,250	0,107	0,166
Трьохвузлова	0,104	0,019	0,078	0,209	0,116	0,166
П'ятивузлова	0,083	0,018	0,093	0,166	0,131	0,166

Розрахуємо втрати електроенергії в тяговій мережі ділянки постійного струму «С2-Ч». Схема заміщення ділянки представлена на рис. 2.

Вихідні дані:

- Пікети тягових підстанцій, а також ППС та ПСК;
- Нормальне положення вимикачів на ППС та ПСК показано на рис. 2;
- Тип контактної підвіски на ділянці М-120+2МФ-100+2А-185, М-120+2МФ-100+А-185.

Нерівномірність потоку поїздів будемо характеризувати коефіцієнтом варіації міжпоїзного інтервалу  $K_v = \frac{\sigma}{m}$ . Авторами створено

математичну модель в MathCad. Змінюючи  $K_v$ , розраховуємо відсоток втрат в тяговій мережі проводячи багатоваріантні розрахунки.

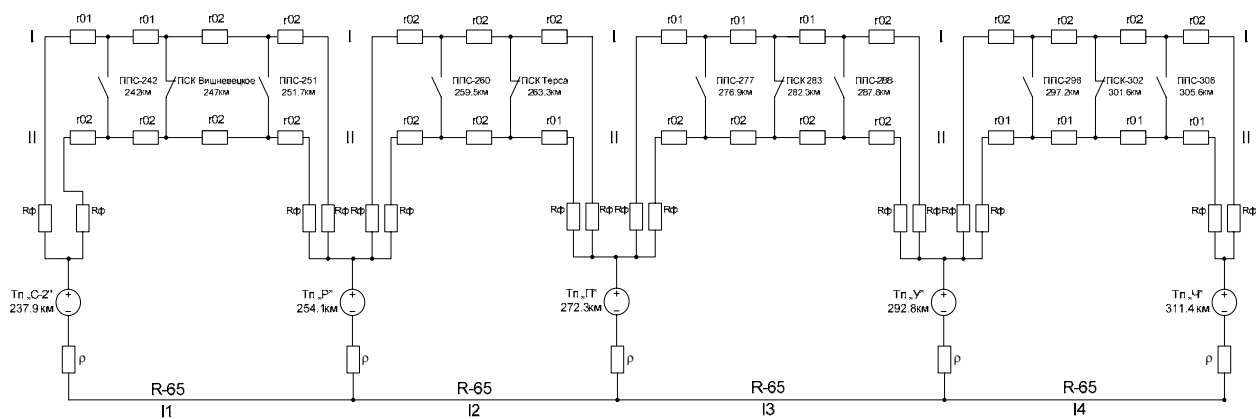


Рис. 2. Схема заміщення дослідної ділянки «С-2 – Ч»:

$r_{01}$ ,  $r_{02}$  – опір контактної мережі,  $R_{\phi}$  – опір фідера,  $\rho$  – опір тягової підстанції,  $R-65$  – тип рейок.

Після розрахунків були отримані залежності відсоткових втрат потужності від коефіцієнта варіації міжпоїздного інтервалу на фідерній зоні. Ця залежність показана на рис. 3.

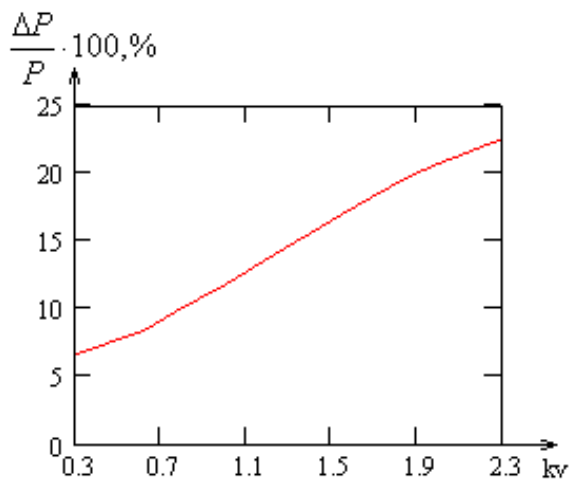


Рис. 3. Залежність відсоткових втрат потужності від коефіцієнта варіації на фідерній зоні

Регресійний аналіз відсотку втрат в тяговій мережі дозволив побудувати наступну залежність

$$\frac{\Delta P}{P} = 3,571 + 8,471 \cdot k_v.$$

Ця залежність дійсна для нашої дослідної ділянки.

### Висновки

1. На енергетичні характеристики електропостачання впливає нерівномірність потоку поїздів.
2. Отримано регресійну залежність відсотку втрат у тяговій мережі від коефіцієнта варіації міжпоїздного інтервалу, що може характеризувати нерівномірність транспортного потоку.

### БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Доманский, В. Т. Энергооптимальная технология перевозочного процесса [Текст] / В. Т. Доманский, В. П. Кручина, А. П. Юшкевич // Ж/д трансп. – 1993. – № 5. – С. 6-13.
2. Землянов, В. Б. Энергооптимальні технології аналізу та регулювання електропозживання на тягу поїздів [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.09 / Землянов Володимир Борисович; [ДНУЗТ]. – Д., 2000. – 23 с.
3. Землянов, В. Б. Интегрированная информационная технология перевода тяговых подстанций на многотарифную оплату за потребленную электроэнергию [Текст] / В. Б. Землянов, В. В. Скалозуб, В. В. Доманский // Ж/д транспорт. – 2000. – № 3. – С.41-43.
4. Левин, Д. Ю. Оптимизация потоков поездов [Текст] / Д. Ю. Левин. – М.: Транспорт, 1988. – 175 с.
5. Мирошниченко, Р. И. Режимы работы электрифицированных участков [Текст] / Р. И. Мирошниченко. – М.: Транспорт, 1982. – 207с.
6. Почаевец, Э. С. Обобщённые методы анализа режимов системы тягового электроснабжения [Текст] : учеб. пособие / Э. С. Почаевец. –Д.: ДИИТ, 1981. – 55 с.
7. Kuznetsov, V. G. Elaboration of methodology for calculation of traction power-supply system with the help of renewal stream theory [Текст] / V. G. Kuznetsov, G. Vaiciunas // Transbaltica 2009. – Proc. of the 6-th Int'l Sci. Conf. – 2009. – Vilnius: Vilnius Gediminas Technical University. – P. 123-128.
8. Скалозуб, В. В. Ресурсозберігаючі методи управління тягою поїздів і удосконалення конструкцій рухомого складу [Текст] : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.22.07 / Скалозуб Владислав Васильович; [ДНУЗТ]. – Д., 2003. – 37 с.

Надійшла до редколегії 04.10.2010.

Прийнята до друку 12.10.2010.