

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна

КИРИЛЮК ТЕТЯНА ІГОРІВНА

УДК 621.332.3:621.3.017.4



**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ
В КОНТАКТНІЙ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ**

Спеціальність 05.22.09 - електротранспорт

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2013

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Кузнецов Валерій Геннадійович,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, доцент кафедри електропостачання залізниць.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Саєнко Юрій Леонідович,
Приазовський державний технічний університет, декан енергетичного факультету;

кандидат технічних наук, доцент
Рудевіч Наталія Валентинівна,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри автоматизації енергосистем.

Захист дисертації відбудеться “06” червня 2013 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01 у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

Автореферат розіслано “26” квітня 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
д-р техн. наук, доцент



А. М. Муха

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Залізничний транспорт – один з найбільших споживачів електроенергії в Україні. У 2011 р. загальне споживання електроенергії залізницями з урахуванням підприємств, що підпорядковані Укрзалізниці, склало 6 216,8 млн кВт·год, власне споживання – 6 167,1 млн кВт·год. Зокрема, на тягу поїздів було використано 5 249,5 млн кВт·год, експлуатаційно-виробниче споживання становило 870,8 млн кВт·год, комунально-побутове споживання – 46,7 млн кВт·год. Основна частка втрат електроенергії припадає на тягу поїздів, зокрема в 2011 р. середні втрати електроенергії в контактній мережі склали 10,84 %. Структура втрат електроенергії у відсотках від загального обсягу переробленої електроенергії в 2011 р. по залізницях становила: Донецька – 16 %, Придніпровська – 15,07 %, Південна – 11,44 %, Львівська – 17,26 %, Одеська – 5,06 %, Південно-Західна – 6,53 %.

Зменшення втрат електроенергії – державне завдання, що відповідає державній цільовій економічній програмі енергоефективності й розвитку сфери виробництва енергоресурсів з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2012 – 2015 роки.

Усі залізниці України купують електроенергію на оптовому ринку електроенергії (ОРЕ). Купівля електричної енергії безпосередньо на ОРЕ для задоволення власних потреб і потреб сторонніх споживачів – стратегічний напрямок їх діяльності, який підтверджується як досвідом роботи залізниць на ОРЕ, так і концепцією розвитку ОРЕ, що схвалена Кабінетом Міністрів України. Умови роботи з ОРЕ потребують постійного аналізу рівня втрат у контактній мережі.

На сьогодні втрати електричної енергії в контактній мережі визначаються шляхом розрахунку відповідно до «Інструкції по розрахунку технологічних втрат електроенергії в пристроях тягового електропостачання», затвердженої наказом Укрзалізниці від 29. 08. 2003 р. № 342-ЦЗ. Але цей спосіб дає досить наближені значення. Підвищити точність та ефективність контролю за втратами можна за допомогою непрямого методу.

Цей метод має середню похибку 7,5 %, яку можна зменшити, якщо враховувати низку факторів, що впливають на втрати електроенергії в контактній мережі, а саме: схему живлення ділянки, знос контактних проводів, кількість поїздів на розрахунковій зоні, температуру навколишнього середовища, швидкість руху, значення споживаного струму електровоза.

Тому дисертаційна робота, яка присвячена вирішенню задачі удосконалення методу визначення втрат електроенергії в контактній мережі, є актуальною для електрифікованого залізничного транспорту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана за завданнями Укрзалізниці відповідно до державних програм і науково-дослідних робіт:

- Державна цільова економічна програма енергоефективності й розвитку сфери виробництва енергоресурсів з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2012 – 2015 роки;

- Постанова Кабінету Міністрів України від 23. 04. 1999 р. № 661 «Про заходи державної підтримки залізничного транспорту»;

- «Розробка наукових основ раціональних режимів системи тягового електропостачання» (№ ДР 0110U000897);

- «Оптимізація витрат Донецької залізниці при закупівлі електроенергії на тягу поїздів з розробкою рекомендацій» (№ ДР 0111U003607);

- «Дослідження наднормативних небалансів обліку електричної енергії на тягових підстанціях Донецької залізниці і розробка рекомендацій по їх приведенню до нормативних вимог» для тягової підстанції Штерівка» (№ ДР 0111U003606).

Автор брала участь у виконанні вказаних науково-дослідних робіт як виконавець.

Метою дисертаційної роботи є удосконалення методу визначення втрат електроенергії в контактній мережі.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

1. Проаналізувати непрямі способи визначення втрат електроенергії в контактній мережі.

2. Виділити фактори, що впливають на коефіцієнт втрат, та розробити їх математичні моделі.

3. Отримати закони розподілу впливаючих факторів та визначити межі їх зміни.

4. Записати аналітичні вирази для визначення коефіцієнта втрат для ділянок постійного та змінного струмів на основі повного факторного експерименту.

5. Встановити закон розподілу та межі зміни коефіцієнта втрат. Надати рекомендації щодо регламенту його зміни.

6. Експериментально підтвердити отримані теоретичні результати.

Об'єкт дослідження – процеси споживання електричної енергії в тяговій мережі електрифікованих залізниць.

Предмет дослідження – втрати електричної енергії в контактній мережі.

Методи дослідження. Основні теоретичні положення дисертації отримані за допомогою інтегрального та матричного числення (при розробці математичної моделі для визначення коефіцієнта втрат у загальному вигляді), математичної статистики та теорії ймовірностей (при дослідженні зміни кількості поїздів, швидкості руху поїздів, зносу контактних проводів, зміни температури проводу та струму, що споживає електровоз), теорії планування експерименту (при розробці регресійних залежностей для визначення коефіцієнта втрат) та статистичного моделювання (при визначенні характеру зміни коефіцієнта втрат).

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються. Основні наукові положення, висновки і

рекомендації, які містяться в дисертації, достатньо обґрунтовані та вірогідні, оскільки:

- експериментальні дослідження коректно поставлено та кваліфіковано виконано, а розбіжність теоретичних розрахунків і дослідних даних не перевищує загальноприйнятих значень;
- дослідні результати одержано на основі великого обсягу реального матеріалу з подальшою обробкою методами математичної статистики;
- значну частину експериментальних даних одержано різними незалежними методами.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше отримано аналітичну залежність для визначення коефіцієнта втрат електроенергії, що враховує кількість поїздів на міжпідстанційній зоні, тобто зміну реальної поїзної ситуації, і тому дозволяє більш точно визначати втрати електроенергії в контактній мережі.

2. Вперше встановлено закон статистичного розподілу коефіцієнта втрат, що дає можливість оцінити його межі та надати рекомендації щодо регламенту його зміни.

3. Набув подальшого розвитку непрямий метод визначення втрат електроенергії в частині врахування додаткових факторів, а також отримані рівняння регресії для визначення коефіцієнта втрат для ділянок постійного та змінного струмів, що дозволяє підвищити точність визначення втрат.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Запропоновано вдосконалений непрямий метод обліку втрат електроенергії в контактній мережі, який зменшує похибку визначення величини втрат на 6,9 % порівняно з розрахунком за діючою методикою.

2. Розроблено методику визначення коефіцієнта втрат, яка враховує додаткові фактори. Це дає можливість зменшити похибку обліку втрат на 2,1 % порівняно з існуючим непрямим методом.

3. Запропоновано для ділянки постійного струму (Придніпровської залізниці) налаштовувати лічильник за середнім значенням коефіцієнта втрат (1,03), а для ділянки змінного струму (Одеської залізниці) змінювати коефіцієнт втрат кожні 4 години.

4. Розроблено пристрій, який у поєднанні з портативними аналізаторами потужності дозволяє вимірювати втрати потужності в контактній мережі за відсутності лічильників втрат.

Особистий внесок здобувача. Постановку мети та завдань дослідження виконано спільно з науковим керівником. Основні наукові положення, теоретичні та експериментальні дослідження, викладені в дисертаційній роботі, отримано дисертантом самостійно. У роботах, які написані в співавторстві, автору належать: [1] – розрахунок економії коштів при різних варіантах закупівлі електроенергії; [2] – розрахунок та аналіз допустимих та фактичних небалансів дослідної тягової підстанції; [3] – аналіз результатів експериментально визначених умовних втрат у тяговій мережі; [4] – запропоновано миттєве та еквівалентне значення опору та принципи розподілу

втрат потужності між фідерами тягової підстанції; [5] – отримана залежність коефіцієнта втрат від кількості поїздів на міжпідстанційній зоні; [8] – аналіз досвіду використання електронних лічильників втрат; [9] – планування витрати електроенергії з урахуванням впливаючих факторів; [10] – аналіз причин виникнення небалансів на Львівській залізниці; [11] – запропоновано шляхи вирішення проблеми небалансів електроенергії; [12] – показано переваги переводу тяги поїздів на вищий рівень напруги; [14] – аналіз використання непрямих методів; [15] – визначено значення миттєвих та еквівалентних опорів для різних схем живлення; [16] – вираз для визначення коефіцієнта втрат в загальному вигляді.

Роботи [6, 7, 13] написані та опубліковані без співавторів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на 4, 5, 6 - й Міжнародній науково-практичній конференції «Електрифікація залізничного транспорту Транселектро», м. Місхор, 2010 – 2012 рр.; 3, 4 - й Міжнародній науково-практичній конференції «Електромагнітна сумісність і безпека на залізничному транспорті», м. Дніпропетровськ, 2010 – 2011 рр.; 1, 2, 3 - й Міжнародній науково-практичній конференції «Енергозбереження на залізничному транспорті», Жденієво, 2010 – 2012 рр.; 72-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», м. Дніпропетровськ, 2012 р.

Публікації. Основні положення дисертації опубліковано у 16 наукових працях, з них: 6 – у фахових виданнях, 1 – у науковому журналі, 9 – у тезах доповідей та в матеріалах міжнародних науково-практичних конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, що викладено на 118 сторінках машинописного тексту і які містять 57 рисунків і 31 таблицю, переліку літературних джерел із 115 найменувань на 12 сторінках, 5 додатків на 15 сторінках. Повний обсяг дисертації складає 145 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету роботи та основні завдання, які необхідно вирішити для досягнення мети, сформульовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, подано дані про апробацію роботи та публікації.

У першому розділі проаналізовано способи контролю електроспоживання на електрифікованих залізницях України.

Контроль електроспоживання на Укрзалізниці здійснюється за допомогою нормування витрат паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), інструментальних засобів та методичних заходів (рис. 1).

Нормування питомих витрат енергоресурсів у суспільному виробництві України здійснюється з метою раціонального використання та економії енергоресурсів і є основою для застосування економічних санкцій за їх нераціональне використання та запровадження економічних механізмів стимулювання енергозбереження.

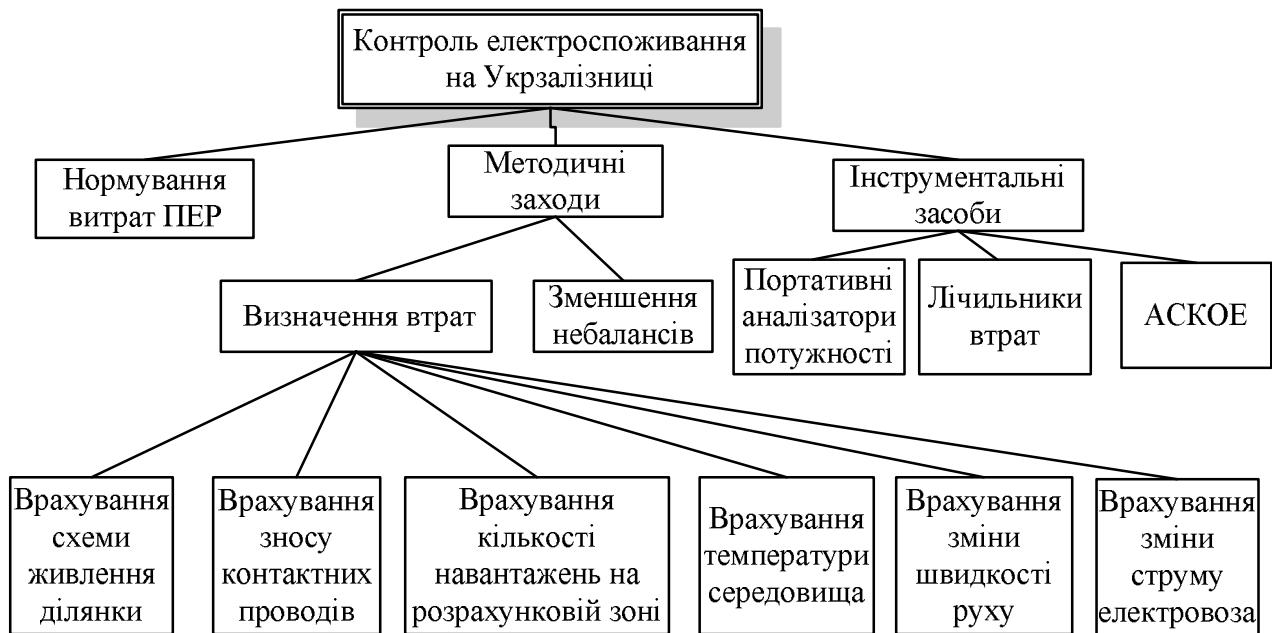


Рисунок 1 – Структурна схема задачі контролю енергоспоживання на Укрзалізниці

До інструментальних засобів належать портативні аналізатори потужності, лічильники втрат та АСКОЕ (автоматизована система комерційного обліку електроенергії).

До методичних заходів – зменшення небалансів та визначення втрат електроенергії в контактній мережі. На сьогодні втрати електроенергії в контактній мережі визначають шляхом розрахунку відповідно до «Інструкції по розрахунку технологічних втрат електроенергії в пристроях тягового електропостачання».

Визначення втрат електроенергії в тяговій мережі електрифікованих залізниць має певні особливості, які, в першу чергу, зумовлені змінним навантаженням залежно від величини та місцезнаходження.

У працях А. В. Бардушко, О. Л. Бикадорова, В. Т. Доманського, М. Е. Крестьянова, А. Н. Кувичинського, К. Г. Марквардта, В. Т. Черемисіна запропоновано непрямий метод визначення втрат електроенергії в контактній мережі. Він базується на реєстрації величини ампер-квадрат-годин на фідерах тягових підстанцій. Лічильник встановлюється на фідері живлення, вимірює ампер-квадрат-години за одиницю часу та масштабує їх до втрат електроенергії постійним коефіцієнтом (коефіцієнтом втрат). Відомий метод має похибку на рівні 7,5 %. Це зумовлено неточним визначенням коефіцієнта втрат. Запропоновано вдосконалити непрямий метод врахуванням додаткових факторів: схеми живлення ділянки, зносу контактних проводів, кількості поїздів на розрахунковій зоні, температури навколишнього середовища, швидкості руху, струму електровоза.

У другому розділі запропоновано теоретичні підходи до визначення втрат електроенергії в контактній мережі електричного транспорту непрямим способом. Розглянуто принципи визначення миттєвих та еквівалентних опорів для різних схем живлення контактної мережі. Запропоновано підходи до

визначення коефіцієнта втрат електроенергії з урахуванням зносу контактних проводів та кількості поїздів на міжпідстанційній зоні. Наведено принципи визначення коефіцієнта втрат з урахуванням швидкості та струму електрорухомого складу, температури нагрівання контактного проводу.

У загальному вигляді втрати електроенергії в контактній мережі визначаються за таким виразом:

$$\Delta W = k_B \cdot \int_0^T I_{\Phi}^2(t) dt, \quad (1)$$

де ΔW – втрати електроенергії в контактній мережі, кВт·год;

k_B – коефіцієнт втрат;

$I_{\Phi}^2(t)$ – квадрат струму фідера в даний момент часу, А²;

T – час руху поїзда ділянкою, год.

Для визначення k_B в дисертаційній роботі втрати в контактній мережі розділені по фідерах, оскільки лічильники встановлюються на кожному фідері та потребують індивідуального налаштування. Складові миттєвих втрат потужності побудовані на прикладі ділянки довжиною 20 км і для швидкості поїзда 60 км/год для двосторонньої та вузлової схем живлення контактної мережі.

Миттєві втрати потужності для двосторонньої схеми живлення в загальному вигляді визначаються сумою добутку квадратів струмів фідерів на відповідні опори тягової мережі:

$$\begin{aligned} \Delta P(t) &= \eta_0 x(t) \left(I(t) \frac{L-x(t)}{L} \right)^2 + \eta_0 (L-x(t)) \left(I(t) \frac{x(t)}{L} \right)^2 = \\ &= \eta_0 \cdot I^2(t) \left[x(t) \frac{(L-x(t))^2}{L^2} + (L-x(t)) \frac{x(t)^2}{L^2} \right], \end{aligned} \quad (2)$$

де $\Delta P(t)$ – миттєві втрати потужності в контактній мережі, Вт;

η_0 – питомий опір контактної мережі, Ом/км;

$x(t)$ – координата поїзда, км;

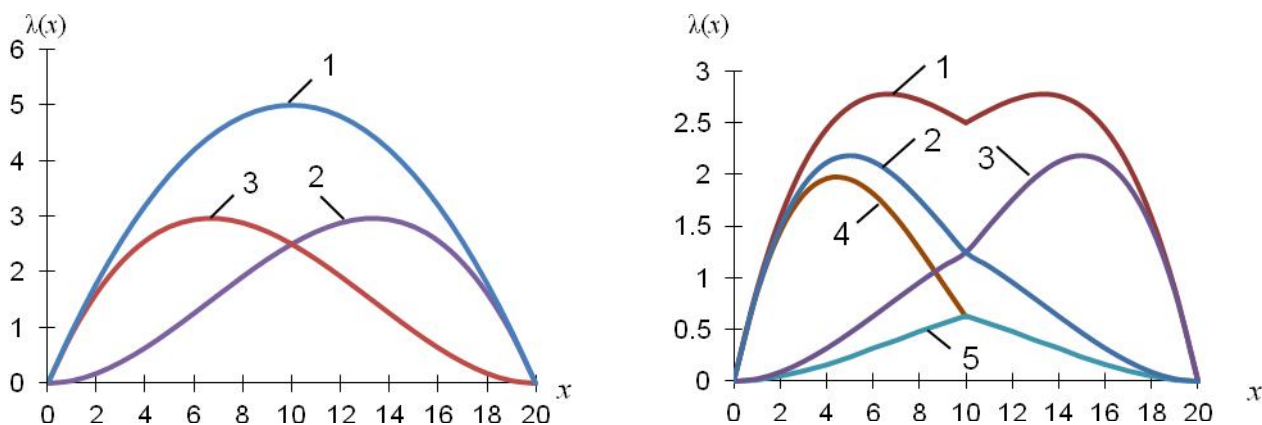
$I(t)$ – струм поїзда в даний момент часу, А;

L – довжина міжпідстанційної зони, км.

Позначимо
$$x(t) \frac{(L-x(t))^2}{L^2} + (L-x(t)) \frac{x(t)^2}{L^2} = \lambda(x).$$

Форма кривої миттєвих втрат залежить від схеми живлення. Криві миттєвих втрат електроенергії зображені на рис. 2.

Першою складовою $\lambda(x)$ визначена частина миттєвих втрат потужностей, яка припадає на першу тягову підстанцію, другим – на другу підстанцію під час слідування одного поїзда.



а – двостороння схема живлення; *б* – вузлова схема живлення;
 1 – загальні; 2, 3 – складові втрат від струмів першої та другої підстанції;
 4 – складова втрат від струму попутного фідера; 5 – складова втрат від
 струму суміжного фідера

Рисунок 2 – Складові миттєвих втрат потужності в контактній мережі

Коефіцієнт втрат у загальному вигляді є функцією від таких величин:

$$k_B = f(k_{CX}; k_n; k_{3H}; k_V; k_I; k_t), \quad (3)$$

де k_{CX} – коефіцієнт, що враховує схему живлення контактної мережі;

k_n – коефіцієнт, що враховує кількість поїздів на розрахунковій зоні;

k_{3H} – коефіцієнт, що враховує знос контактних проводів;

k_V – коефіцієнт, що враховує зміну швидкості електрорухомого складу;

k_I – коефіцієнт, що враховує зміну струму, що споживає електровоз під час руху розрахунковою зоною;

k_t – коефіцієнт, що враховує зміну температури контактного проводу.

Коефіцієнт схеми k_{CX} (табл. 1) визначено аналітичним шляхом з попереднім записом виразів втрат електроенергії для різних схем живлення та квадратів струмів фідерів.

Таблиця 1 – Миттєві, еквівалентні опори та k_{CX} для різних схем живлення.

Схема живлення	$r(t)$	$r_{\text{екв}}$	$k_{\text{сх}}$
Консольна	$r_0 L \frac{t}{T}$	$\frac{1}{2} r_0 L$	$\frac{1}{2}$
Двостороння		$\frac{1}{4} r_0 L$	$\frac{1}{4}$
Вузлова*		$\frac{2}{11} r_0 L / \frac{1}{2} r_0 L$	$\frac{2}{11} / \frac{1}{2}$
Примітка. У чисельнику наведено значення для попутного фідера, у знаменнику – для суміжного			

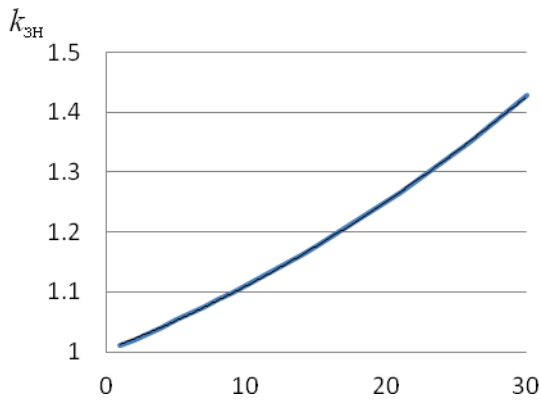
Миттєвий опір $r(t)$ є опором ділянки тягової мережі від шин тягової підстанції до навантаження. Від $r(t)$ залежать втрати потужності від струму даного фідера контактної мережі та визначається за таким виразом:

$$r(t) = \frac{\Delta P(t)}{I_{\Phi}^2(t)}. \quad (4)$$

Від величини $r_{\text{екв}}$ залежать втрати електроенергії від струму даного фідера контактної мережі

$$r_{\text{екв}} = \frac{\Delta W}{\int_0^T I_{\Phi}^2(t) dt} = \frac{\int_0^T r(t) I_{\Phi}^2(t) dt}{\int_0^T I_{\Phi}^2(t) dt}. \quad (5)$$

Залежність втрат електроенергії в контактній мережі від зносу контактних проводів запропоновано враховувати коефіцієнтом $k_{\text{зн}}$.



Для визначення зносу проаналізовано журнали стану контактних проводів та обчислено середній знос. Залежність $k_{\text{зн}}$ від середнього зносу контактних проводів (рис. 3) визначається таким чином:

$$k_{\text{зн}} = \frac{1}{1 - \frac{DS\%}{100}}, \quad (6)$$

Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта $k_{\text{зн}}$ від середнього зносу контактних проводів

де $DS\%$ – середній знос контактних проводів у відсотках.

Вплив кількості поїздів на міжпідстанційній зоні на втрати електроенергії в контактній мережі запропоновано враховувати коефіцієнтом k_n .

На рис. 4 зображена розрахункова схема, на основі якої записано вираз (7).

Припустимо, що струми поїздів однакові й розташовані на однаковій відстані.

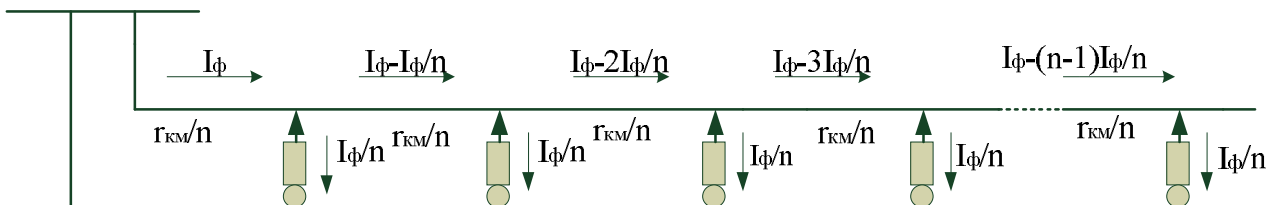


Рисунок 4 – Консольна схема живлення з n навантаженнями

З огляду на припущення можна записати

$$DP = I_{\Phi}^2 \frac{r_{\text{KM}}}{n} + \frac{I_{\Phi}^2}{n} \frac{r_{\text{KM}}}{n} + \frac{I_{\Phi}^2}{n} \frac{r_{\text{KM}}}{n} + \dots + \frac{I_{\Phi}^2}{n} \frac{r_{\text{KM}}}{n} = \frac{r_{\text{KM}}}{n} \sum_{i=1}^n \frac{I_{\Phi}^2}{n} = \frac{r_{\text{KM}}}{n} \frac{I_{\Phi}^2}{n} \sum_{i=1}^n 1, \quad (7)$$

де I_{Φ}^2 – квадрат струму фідера, A^2 ;

r_{KM} – опір контактної мережі міжпідстанційної зони, Ом;

n – кількість поїздів на міжпідстанційній зоні;

i – порядковий номер поїзда.

Виходячи з того, що для дійсної та еквівалентної схем DP повинні співпадати, справедливий такий вираз:

$$r_{\text{екв.сх}} I_{\Phi}^2 = \frac{r_{\text{KM}}}{n} \sum_{i=1}^n \frac{I_{\Phi}^2}{n} = \frac{r_{\text{KM}}}{n} \frac{I_{\Phi}^2}{n} \sum_{i=1}^n 1, \quad (8)$$

звідки

$$r_{\text{екв.сх}} = r_0 L \frac{\sum_{i=1}^n (n+1-i)^2}{n^3}. \quad (9)$$

Для визначення k_n (рис. 5) запишемо суму квадратів n перших натуральних чисел, кількість яких визначається кількістю поїздів на міжпідстанційній зоні

$$S = 1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots = \sum_{i=1}^n i^2. \quad (10)$$

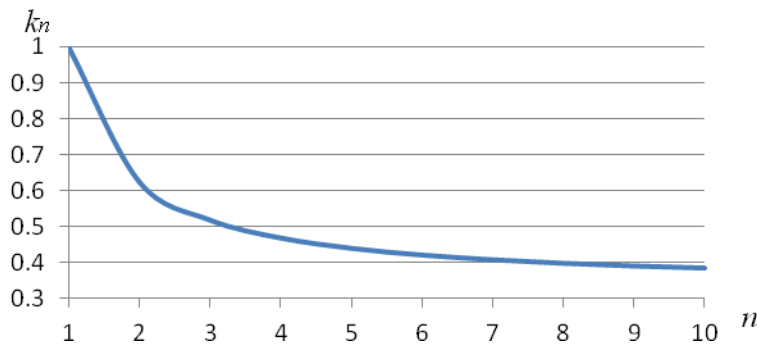


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнта k_n від кількості поїздів на міжпідстанційній зоні

На основі методу невизначених коефіцієнтів запишемо

$$r_{\text{екв.сх}} = r_0 L \frac{2n^2 + 3n + 1}{6n^2}, \quad (11)$$

де $\frac{2n^2 + 3n + 1}{6n^2} = k_n$.

$$k_n = \frac{1}{3} + \frac{1}{2n} + \frac{1}{6n^2}. \quad (12)$$

Вплив температури на втрати електроенергії в контактній мережі запропоновано враховувати коефіцієнтом k_t (13).

На основі рівняння теплового балансу записано вираз

$$k_t = \frac{cS}{I^2} \frac{\beta S \left(T + T \left(e^{\frac{T}{T^0} - 1} \right) \right) - t_{н.с}^0 T}{T + \alpha \left[\beta S \left(T + T \left(e^{\frac{T}{T^0} - 1} \right) \right) - 20T \right]}, \quad (13)$$

де c – коефіцієнт тепловіддачі;

S – площа поперечного перерізу проводу, мм²;

I – струм лінії, А;

α – температурний коефіцієнт опору проводу, 1/°C;

T^0 – постійна нагрівання;

$t_{н.с}^0$ – температура навколишнього середовища, °C;

β – коефіцієнт тепловіддачі проводу при теплообміні, Вт/(м·°C).

У третьому розділі проведено експериментальне дослідження факторів, що впливають на коефіцієнт втрат електроенергії в контактній мережі на прикладі ділянок постійного та змінного струмів для подальшого встановлення закону розподілу коефіцієнта втрат. Визначені закономірності зміни швидкості руху та виконано аналіз кількості поїздів на розрахунковій ділянці. Досліджено знос контактних проводів, зміну температури навколишнього середовища та струму електрорухомого складу.

На рис. 6 та рис. 7 зображено дослідні ділянки постійного струму Придніпровської залізниці (контактний провід 2МФ-100) та змінного струму Одеської залізниці (контактний провід МФ-100).

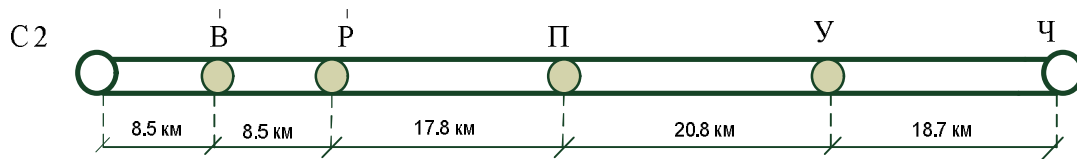


Рисунок 6 – Схема ділянки Чаплине - Синельникове 2 Придніпровської залізниці

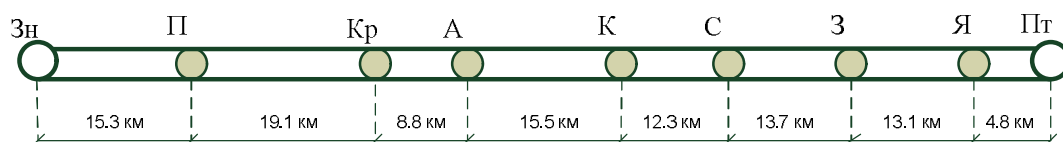
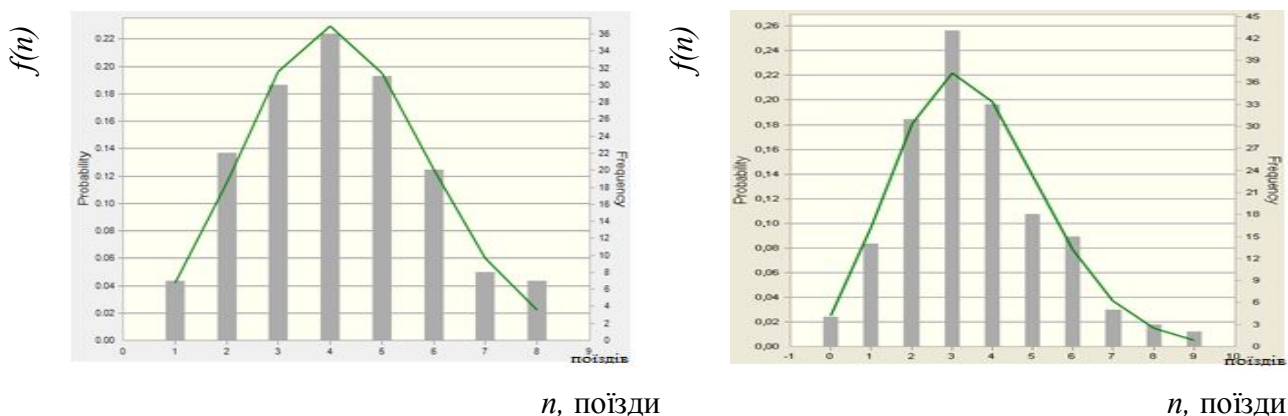


Рисунок 7 – Схема ділянки Знам'янка - П'ятихатки Одеської залізниці

Для аналізу розподілу кількості поїздів (рис. 8) на міжпідстанційній зоні використано виконані графіки руху на експериментальних ділянках за тиждень з кроком 1 год.



a – Одеської залізниці;

б – Придніпровської залізниці;

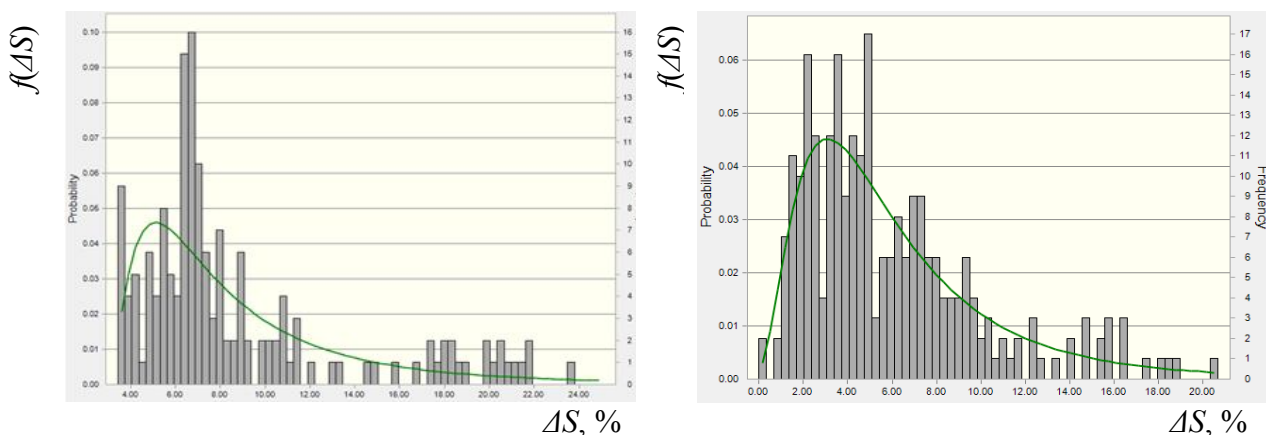
Рисунок 8 – Гістограми розподілу кількості поїздів на міжпідстанційних зонах

Виконані дослідження показали, що кількість поїздів на міжпідстанційній зоні підпорядковується біноміальному розподілу (табл. 2).

Таблиця 2 – Характеристики розподілу кількості поїздів на міжпідстанційних зонах, поїзди

Математичне очікування μ	Медіана Me	Мода Mo	Середнє квадратичне очікування, σ	Дисперсія D	Асиметрія γ_1	Ексцес γ_2	Коефіцієнт варіації V
Одеська залізниця							
4,17	4,00	4,00	1,71	2,93	0,23	2,91	0,41
Придніпровська залізниця							
3,54	3,00	4,00	1,80	3,24	0,46	3,17	0,50

Для вивчення динаміки зносу проаналізовано журнали стану контактних проводів та визначено середні зноси на досліджуваних ділянках (рис. 9)



a – ділянки Одеської залізниці;

б – ділянки Придніпровської залізниці;

Рисунок 9 – Гістограми розподілу середнього зносу контактних проводів

За результатами статистичних досліджень виявлено, що знос контактних проводів підпорядковується логнормальному розподілу (табл. 3).

Аналогічно отримано розподіли для інших факторів. Встановлено, що швидкість поїздів на міжпідстанційних зонах та зміна струму електрорухомого складу підпорядковуються логнормальному розподілу, зміна температури навколишнього середовища – розподілу Вейбула.

Таблиця 3 – Характеристики розподілу середнього зносу контактних проводів, мм²

Математичне очікування μ	Медіана Me	Мода Mo	Середнє квадратичне очікування, σ	Дисперсія D	Асиметрія γ_1	Експес γ_2	Коефіцієнт варіації V
Одеська залізниця							
9,30	7,40	5,10	6,50	42,19	3,98	40,59	0,64
Придніпровська залізниця							
6,36	5,03	3,08	5,08	26,76	2,55	16,47	0,79

У четвертому розділі отримано рівняння регресії для визначення коефіцієнта втрат для ділянок постійного та змінного струмів на основі повного факторного експерименту.

З використанням експериментальних даних попереднього розділу виконано імітаційне моделювання, яке показало, що для ділянок Придніпровської залізниці середні втрати електроенергії в контактній мережі складають 12,4 %, а середній коефіцієнт втрат 1,16 Ом, для Одеської – 6,3 % та 5,58 Ом відповідно.

Для ділянки постійного струму проводився повний факторний експеримент 2ⁿ. Отримано рівняння регресії. Для розрахунку коефіцієнтів рівняння побудовано розширену матрицю, яка враховує взаємодію факторів. Коефіцієнти рівняння регресії, абсолютна величина яких дорівнює довірчому інтервалу або більша за нього, визнані статистично значущими та записано кінцеве рівняння. Модель перевірена на адекватність за допомогою критерію Фішера та визнана неадекватною. З огляду на це план експерименту добудовано до плану другого порядку (композиційний план) та сформовано функцію відгуку у вигляді повного квадратичного полінома без втрати інформації про попередньо зроблені дослідження. На основі ортогонального центрально-композиційного плану другого порядку записано рівняння регресії для визначення коефіцієнта втрат для ділянки постійного струму. Кінцеве рівняння має такий вигляд:

$$k_B = 1,439 + 0,021n^2 - 0,378n + 0,003nV_{cp} + 0,004DS\% + 0,005t_{н.с.}^0. \quad (14)$$

Для цієї моделі розрахункове значення критерію Фішера $F_{розрах} = 1,091$.

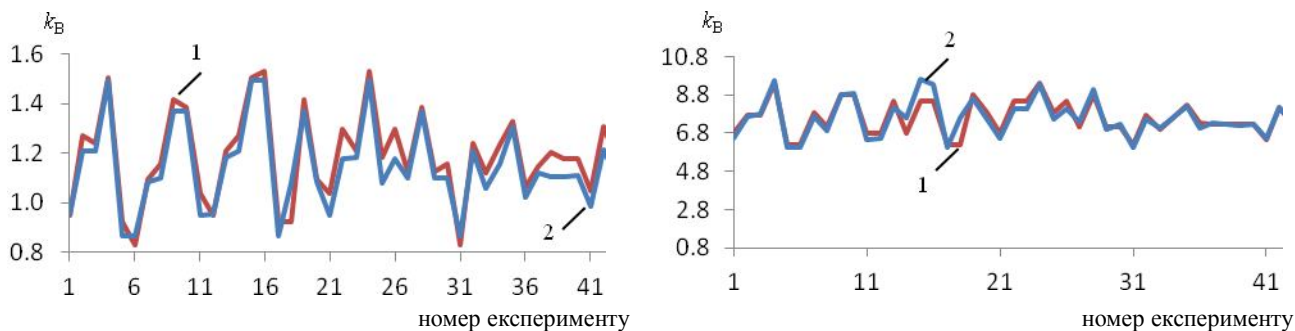
Для заданих параметрів табличне значення $F_{табл} = 1,6$. Отже, модель адекватна.

Аналогічно отримано рівняння регресії для визначення коефіцієнта втрат для ділянки змінного струму:

$$k_B = 9,022 + 0,056n^2 - 0,72n + 0,024DS\% + 0,033t_{н.с.}^0. \quad (15)$$

Виконано порівняння значень коефіцієнтів втрат, знайдених за результатами імітаційного моделювання та обчислених за рівняннями (14) та (15).

Як видно із рис. 10, коефіцієнти втрат, знайдені за результатами моделювання та за рівнянням регресії, майже не відрізняються, що свідчить про високу точність отриманих рівнянь.



а – ділянка постійного струму; *б* – ділянка змінного струму;
1 – k_B за рівнянням регресії; 2 – k_B за результатами моделювання

Рисунок 10 – Коефіцієнти втрат за результатами експерименту та за отриманим рівнянням регресії

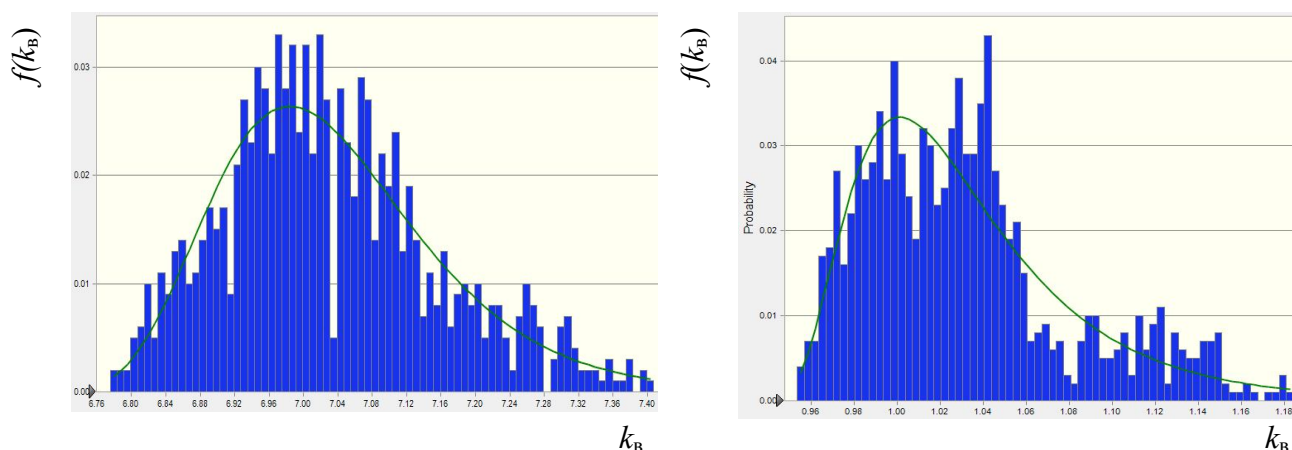
У *п'ятому розділі* встановлено закон розподілу та межі зміни коефіцієнта втрат. Надано рекомендації щодо регламенту його зміни. Наведено схемну реалізацію пристрою для вимірювання втрат електроенергії в контактній мережі. Експериментально підтверджено отримані теоретичні результати.

Моделювання для визначення характеру зміни коефіцієнта втрат виконано в середовищі Crystal Ball на основі методу Монте-Карло (табл. 4).

Таблиця 4 – Вихідні дані для моделювання

Вихідні дані моделі	Закон розподілу	Параметри закону
Кількість поїздів на розрахунковій зоні	Біноміальний	$P=0,0822$, $n=43,00$
Знос контактних проводів	Логнормальний	$\mu=17,20$, $\sigma=5,67$
Температура навколишнього середовища	Вейбула	$k=50,51$, $v=4,69$
Швидкість руху електрорухомого складу	Логнормальний	$\mu=47,52$, $\sigma=22,07$

За гістограмами, отриманими в результаті моделювання, встановлено, що коефіцієнти втрат для ділянок змінного та постійного струмів підпорядковуються логнормальному розподілу (рис. 11).



а – ділянка змінного струму
(Одеська залізниця)

б – ділянка постійного струму
(Придніпровська залізниця)

Рисунок 11 – Гістограма розподілу коефіцієнта втрат

Отримано такі характеристики розподілу коефіцієнта втрат (табл. 5)

Таблиця 5 – Характеристики розподілу коефіцієнта втрат електроенергії

Математичне очікування μ	Медіана Me	Мода Mo	Середнє квадратичне очікування σ	Дисперсія D	Асиметрія γ_1	Експес γ_2	Коефіцієнт варіації V
Одеська залізниця							
7,04	7,02	6,98	0,13	0,02	0,87	4,38	0,02
Придніпровська залізниця							
1,03	1,02	1,00	0,06	0,00	1,79	9,19	0,05

Визначено ступінь впливу кожного з факторів на коефіцієнт втрат (табл. 6).

Таблиця 6 – Коефіцієнти кореляції між коефіцієнтом втрат і факторами впливу

Ділянка	Коефіцієнт кореляції між коефіцієнтом втрат і			
	температурою навколишнього середовища	зносом контактного проводу	швидкістю руху електрорухомого складу	кількістю поїздів на розрахунковій зоні
Одеської залізниці	0,0129	0,0815	-	-0,8562
Придніпровської залізниці	0,0462	0,2635	0,4865	-0,7942

Як випливає із табл. 6, найбільшою є кореляція між коефіцієнтом втрат і кількістю поїздів на розрахунковій зоні. З огляду на це досліджено вплив кількості поїздів на ділянці постійного струму із двостороннім живленням (Чаплине -Ульянівка Придніпровської залізниці) на коефіцієнт втрат.

Отримано миттєві та еквівалентні коефіцієнти втрат для різної кількості поїздів. Середнє значення коефіцієнта втрат при одному поїзді на ділянці 0,7, при двох – 0,6, при трьох – 0,53 (рис. 12).

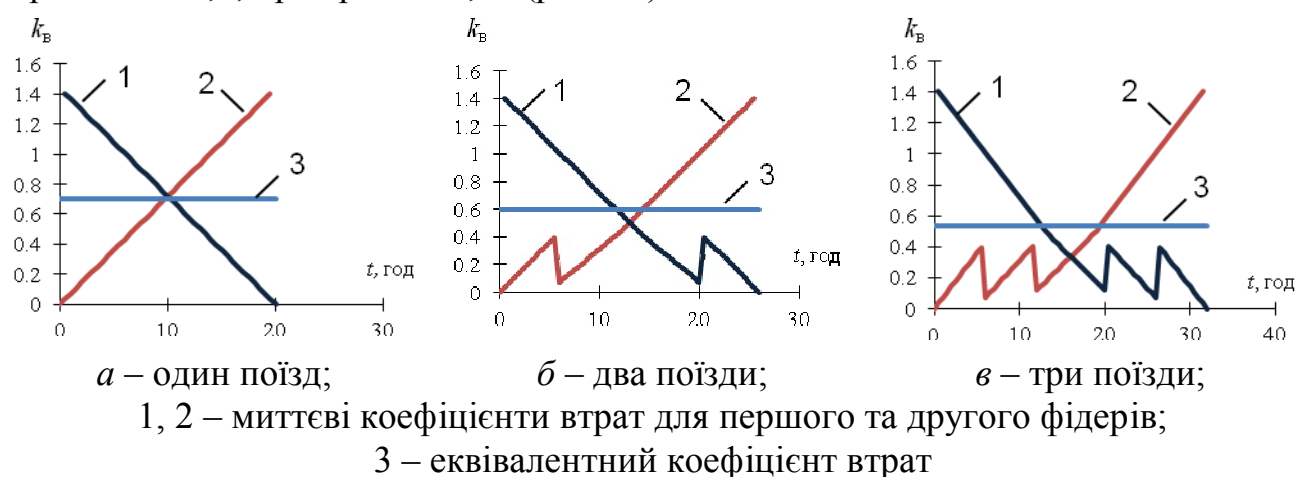


Рисунок 12 – Миттєві коефіцієнти втрат для першого та другого фідерів та їх еквівалентне (середнє) значення

На основі даних про розподіл кількості поїздів на ділянці Чаплине - Ульянівка Придніпровської залізниці та отриманих коефіцієнтів втрат побудовано залежність зміни коефіцієнта втрат від часу (рис. 13).

Аналогічні дослідження виконано для ділянки Одеської залізниці.

Для надання рекомендацій щодо регламенту зміни коефіцієнта обчислено похибку від усереднення коефіцієнтів втрат за дві, три, чотири години і т. д. до 168 год.

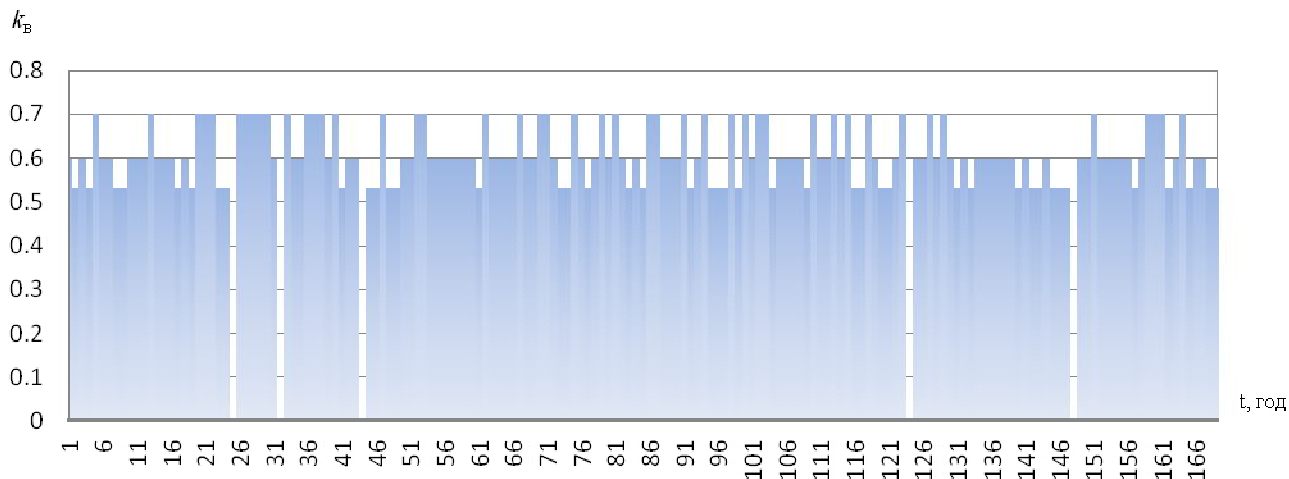


Рисунок 13 – Зміна коефіцієнта втрат за тиждень на ділянці Чаплине -Ульянівка Придніпровської залізниці

Дослідження показали, що із плином часу похибка змінюється незначно: через тиждень вона встановлюється на рівні 5,8 % для змінного струму та 4,3 % для постійного струму і надалі зростає на соті частки відсотка.

Лічильники втрат електричної енергії не набули широкого застосування при обліку споживання електричної енергії на тягових підстанціях. Але в дистанціях електропостачання використовуються сучасні портативні аналізатори споживаної потужності, зокрема прилад EDL-175 компанії *Satec*. Однією з його функціональних можливостей є інтегрування діючого значення струму, тобто розрахунок ампер-годин, що вимірюються за допомогою кліщів Роговського та узгоджувального пристрою, який перетворює споживаний струм і відповідний сигнал за допомогою окремого інтегратора. Вихідний сигнал з інтегратора підключається до спеціальних роз'ємів основного приладу, який виконує подальше обчислення діючого значення струму та його інтегрування в часі.

Використовуючи описану функцію пристрою, можна визначити ампер-квадрат-години, тобто інтеграл від квадрата струму, якщо виконати перетворення сигналу між інтегратором кліщів Роговського та безпосередньо самим пристроєм.

У дисертаційній роботі визначено передаточну функцію пристрою узгодження, яка в кінцевому випадку після виконання операції інтегрування видає квадрат діючого значення струму.

Для схемотехнічної реалізації пристрою (рис.14) застосовано дві аналогові мікросхеми AD637 та AD633, які виконують операції визначення діючого значення та множення сигналів. Для узгодження вхідного та вихідного сигналів застосовано прецензійні операційні підсилювачі ОР-07.

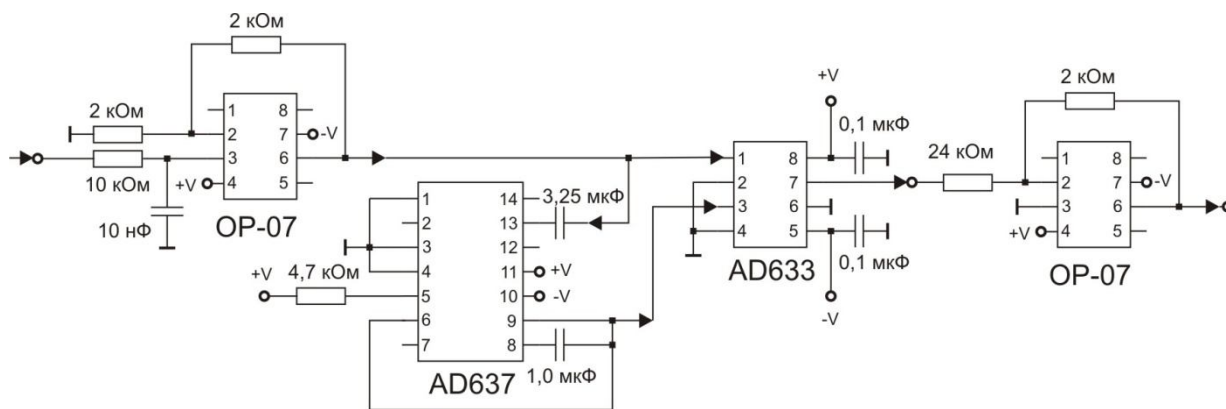


Рисунок 14 – Схемна реалізація пристрою

Виконано порівняння витрат електроенергії за показниками лічильників тягової підстанції Білгород - Дністровський та лічильниками електрорухомого складу. Для проведення експерименту було виділено ділянку Кароліно - Бугаз – Білгород - Дністровський, живлення якої здійснювалося консольно від тягової підстанції Білгород - Дністровський фідером контактної мережі № 3 (рис. 15).

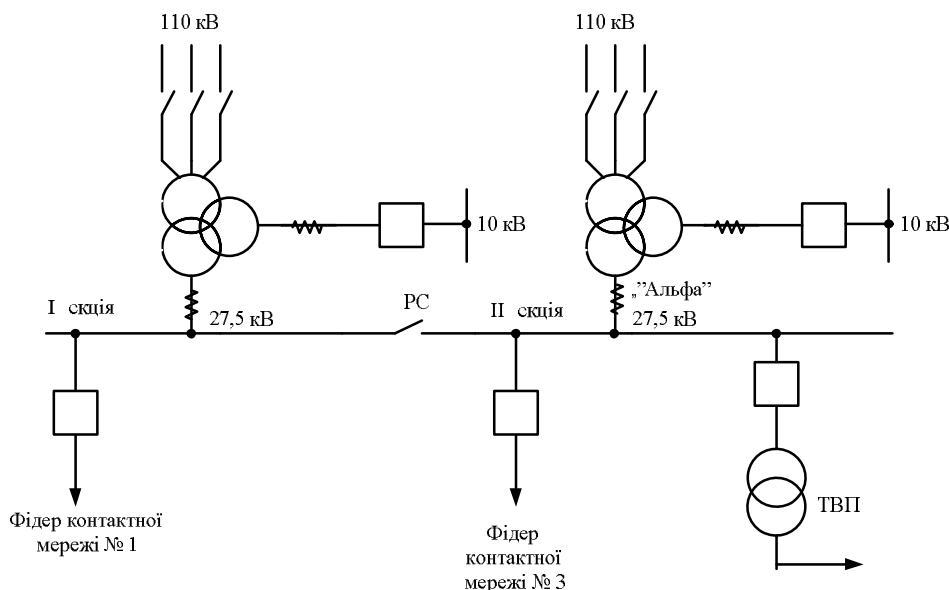


Рисунок 15 – Спрощена схема живлення контактної мережі на період проведення експерименту

Облік електроенергії на тягу поїздів здійснювався лічильником «Альфа», встановленим на ввіді 27,5 кВ тягового трансформатора № 2. З 10⁰⁰ 21 лютого до 10⁰⁰ 22 лютого ділянкою прослідувало 18 поїздів, з них: 2 пасажирських, 8 електропоїздів та 8 вантажних.

За добу експерименту витрата активної електроенергії на тягу поїздів за показниками лічильника тягової підстанції склала 12 540 кВт·год; витрата електроенергії за лічильниками електрорухомого складу – 11 433 кВт·год. Втрати в контактній мережі становили 1 107 кВт·год. Втрати електроенергії на цій ділянці, виміряні за допомогою запропонованого пристрою, склали 1 166,8 кВт·год. Похибка δ склала 5,4 %, що свідчить про високу точність. Отже втрати в контактній мережі можна вимірювати за допомогою запропонованого пристрою та не проводити складні експерименти.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота є закінченою науковою працею, у якій на основі теоретичних і експериментальних досліджень вирішена актуальна науково-технічна задача удосконалення методу визначення втрат електроенергії в контактній мережі.

У результаті досліджень одержано такі основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації:

1. На основі аналізу непрямих способів визначення втрат електроенергії в контактній мережі встановлено, що відомі методи мають похибку на рівні 7,5 %. Це зумовлено неточним визначенням коефіцієнта втрат. Тому пропонується вдосконалити непрямий метод врахуванням додаткових факторів: схеми живлення ділянки, зносу контактних проводів, кількості поїздів на розрахунковій зоні, температури навколишнього середовища, швидкості руху, струму електровоза.

2. На основі методу невизначених коефіцієнтів отримано залежність для визначення коефіцієнта втрат електроенергії, що враховує кількість поїздів на міжпідстанційній зоні. Встановлено, що опір еквівалентної схеми для різної кількості поїздів у загальному вигляді являє собою суму квадратів натурального ряду чисел.

3. Встановлено ймовірнісну природу факторів, що впливають на коефіцієнт втрат, визначено межі їх зміни та закони розподілу. Показано, що кількість поїздів на міжпідстанційній зоні підпорядковується біноміальному розподілу; швидкості поїздів на міжпідстанційних зонах, знос контактних проводів, струм поїзда – логнормальному розподілу; зміна температури – розподілу Вейбула.

4. На основі математичного моделювання роботи тягової мережі ділянок Придніпровської та Одеської залізниць встановлено, що середні втрати на досліджуваних ділянках складають 12,4 та 6,3 % відповідно. На основі повного факторного експерименту отримані рівняння регресії для визначення коефіцієнта втрат для ділянок постійного та змінного струмів.

5. На основі методу статистичних випробувань доведено, що коефіцієнт втрат електроенергії для ділянок змінного та постійного струмів підпорядковується логнормальному розподілу. Середнє значення коефіцієнта втрат для ділянки постійного струму складає 1,03, а для ділянки змінного струму – 7,04. Найбільший вплив на коефіцієнт втрат має кількість поїздів на міжпідстанційній зоні (для постійного струму коефіцієнт кореляції -0,7942, а для змінного -0,8562).

6. Надано рекомендації щодо регламенту зміни коефіцієнта втрат. Для забезпечення похибки менше 5 % для ділянки Одеської залізниці (змінного струму) необхідно змінювати коефіцієнт втрат кожні 4 години, а для ділянки Придніпровської залізниці (постійного струму) – приймається стале значення цього показника.

7. Розроблено вдосконалений метод контролю втрат електроенергії в контактній мережі на основі вимірювального комплексу, що складається з перетворювача струму та портативного аналізатора потужності. Використання

в цьому методі коефіцієнта втрат, методика обчислення якого розроблена в дисертації, дає можливість підвищити точність визначення втрат електроенергії на 6,9 % порівняно з розрахунком за діючою методикою.

8. Результати дисертаційної роботи впроваджено в службах електропостачання Донецької та Одеської залізниць, у навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Основні положення та результати дисертації опубліковано в таких роботах:

Основні праці:

1. Бітюков С. Д. Оптимізація витрат Донецької залізниці при закупівлі електроенергії на тягу поїздів / С. Д. Бітюков, В. Г. Кузнецов, Т. І. Кирилюк // Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. заліз. трансп. – 2011. – № 122. – С. 93-100.
2. Кузнецов В. Г. Дослідження небалансів електроенергії на тягових підстанціях / В. Г. Кузнецов, Т. І. Кирилюк // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: Силов електроніка та енергоефективність. – 2011. – С. 181-185.
3. Кузнецов В. Г. Експериментальне дослідження «умовних втрат» електроенергії в тяговій мережі / В. Г. Кузнецов, Ю. М. Сергатий, Т. І. Кирилюк // Восточно - Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 4/8. – С. 29-33.
4. Кузнецов В. Г. Облік втрат електричної енергії в тяговій мережі непрямим способом / В. Г. Кузнецов, Д. О. Босий, Т. І. Кирилюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2012. – № 42. – С. 103-109.
5. Босий Д. О. Удосконалення непрямого методу обліку втрат електричної енергії в контактній мережі / Д. О. Босий, Т. І. Кирилюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 5/8 (59). – С. 35-39.
6. Кирилюк Т. І. Способи підвищення ефективності електроспоживання на залізницях України / Т. І. Кирилюк // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – № 108 (102). – С. 15-25.

Додаткові праці:

7. Кирилюк Т. І. Аналіз динаміки зміни «умовних» втрат електричної енергії в тяговій мережі / Т. І. Кирилюк // Електрифікація транспорту. – 2011. – № 1. – С. 42-45.
8. Кузнецов В. Г. Визначення втрат енергії в системі тягового електропостачання / В. Г. Кузнецов, Т. І. Кирилюк // Тези доп. 1-ї Міжнародної науково-практ. конф. «Енергозбереження на залізничному транспорті», 2010, Місхор. – Д. : ДНУЗТ, 2010. – С. 8.
9. Кузнецов В. Г. Підвищення ефективності використання електроенергії не тяговими споживачами залізничного транспорту / В. Г. Кузнецов, Т. І. Кирилюк // Матеріали 3-ї Міжнародної науково - техн. Інтернет - конференції «Новітні технології в електроенергетиці». – 2010. – С. 65-66.

10. Барна А. І. Дослідження небалансів електроенергії на Львівській залізниці / А. І. Барна, В. Г. Кузнецов, Т. І. Кирилюк // Тези доп. 2-ї Міжнародної науково-практ. конф. «Енергозбереження на залізничному транспорті», 2011, Жденієво. – Д. : ДНУЗТ, 2011. – С. 8.
11. Бітюков С. Д. Проблеми небалансів електроенергії в системі тягового електропостачання / С. Д. Бітюков, В. Г. Кузнецов, Т. І. Кирилюк // Тези доп. 4-ї Міжнародної науково-практ. конф. «Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті». – Д. : ДНУЗТ, 2011. – С. 14-15.
12. Оптимізація витрат Донецької залізниці при закупівлі електроенергії на тягу поїздів / С. Д. Бітюков, В. Г. Кузнецов, В. Г. Сиченко, Т. І. Кирилюк // Тези доп. 2-ї Міжнародної науково-практ. конф. «Енергозбереження на залізничному транспорті», 2011, Жденієво. – Д. : ДНУЗТ, 2011. – С. 10-11.
13. Кирилюк Т. І. Підвищення ефективності енергоспоживання на залізницях України / Т. І. Кирилюк // Тези доп. 5-ї Міжнародної науково-практ. конф. «Транселектро-2011». – Д. : ДНУЗТ, 2011. – С. 32-34.
14. Кузнецов В. Г. Облік втрат електричної енергії в тяговій мережі непрямим способом / В. Г. Кузнецов, Д. О. Босий, Т. І. Кирилюк // Тези доп. 72-ї Міжнародної науково-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Д. : ДНУЗТ, 2012. – С. 93-94.
15. Кузнецов В. Г. Удосконалення непрямого способу визначення втрат електричної енергії в тяговій мережі / В. Г. Кузнецов, Д. О. Босий, Т. І. Кирилюк // Тези доп. 3 - ї Міжнародної науково-практ. конф. «Енергозбереження на залізничному транспорті», 2012, Воловець. – Д. : ДНУЗТ, 2012. – С. 37-38.
16. Кирилюк Т. І. Визначення коефіцієнту налаштування лічильника втрат в загальному вигляді / Т. І. Кирилюк, Д. О. Босий // Тези доп. 4 - ї Міжнародної науково-практ. конф. «Транселектро-2012», 2012, Місхор. – Д. : ДНУЗТ, 2012. – С. 25.

АНОТАЦІЯ

Кирилюк Т. І. Удосконалення методу контролю втрат електроенергії в контактній мережі електрифікованих залізниць. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.09 – електротранспорт. – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2013.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі удосконалення методу визначення втрат електроенергії в контактній мережі.

Вперше запропоновано аналітичну залежність для визначення коефіцієнта втрат електроенергії, що враховує кількість поїздів на міжпідстанційній зоні. Це дає можливість більш точно визначати втрати електроенергії в контактній мережі. Встановлено закон розподілу коефіцієнта втрат електроенергії та надано рекомендації щодо регламенту його зміни. Отримано рівняння регресії

для визначення коефіцієнта втрат електроенергії для ділянок постійного та змінного струмів, що дозволяє підвищити точність визначення втрат.

Отримані результати підтверджені експериментально. Запропонований вдосконалений непрямий метод зменшує похибку визначення втрат електроенергії на 6,9 % порівняно з розрахунком за діючою методикою.

Ключові слова: втрати електричної енергії, контактна мережа, непрямий метод визначення втрат, лічильник втрат, коефіцієнт втрат, постійний струм, змінний струм.

АННОТАЦИЯ

Кирилюк Т. И. Совершенствование метода контроля потерь электроэнергии в контактной сети электрифицированных железных дорог. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.09 – электротранспорт. – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2013.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-технической задачи усовершенствования метода определения потерь электроэнергии в контактной сети.

На основе анализа существующих методов определения потерь электроэнергии в контактной сети установлено, что приоритетными являются косвенные методы. Они основаны на использовании счетчиков потерь. Такие счетчики измеряют квадрат тока в контактной сети, который при умножении на коэффициент потерь (физически это сопротивление от шин подстанции до точки приложения нагрузки) представляет собой потери электроэнергии в контактной сети.

Выделены факторы, которые влияют на потери электроэнергии в контактной сети (схема питания межподстанционной зоны, количество поездов, износ контактных проводов, температура окружающей среды, скорость и ток электроподвижного состава), и получены их математические модели.

Выполнены эксперименты по исследованию изменения скорости и тока электроподвижного состава, количества поездов на участке, износа контактного провода, температуры окружающей среды для участков постоянного и переменного токов. Определены границы изменения и законы распределения представленных факторов. Установлено, что количество поездов на межподстанционной зоне подчиняется биномиальному распределению; скорости поездов на межподстанционных зонах, износ контактных проводов, ток поезда – логнормальному распределению, изменение температуры – распределению Вейбула.

Выполнено математическое моделирование поездной ситуации для участков Приднепровской и Одесской железных дорог, в результате которого определено, что средние потери электроэнергии в контактной сети на представленных участках составляют 12,4 и 6,3 % соответственно. Адекватность модели проверена с помощью критерия Фишера. На основе

полного факторного эксперимента получены уравнения регрессии второго порядка для определения коэффициента потерь для участков постоянного и переменного токов.

На основе метода Монте-Карло определен характер изменения коэффициента потерь, установлены границы его изменения и предоставлены рекомендации по регламенту его изменения.

Предложен преобразователь, который в сочетании с портативным анализатором мощности позволяет измерять квадрат тока и в дальнейшем, при введении соответствующего коэффициента потерь, потери электроэнергии в контактной сети. Такой подход может быть использован для измерения потерь электроэнергии на участках, где отсутствуют счетчики потерь электроэнергии.

Проведено экспериментальное подтверждение полученных результатов, которые показали, что предложенный усовершенствованный косвенный метод уменьшает погрешность определения потерь электроэнергии на 6,9 % по сравнению с расчетом по действующей методике.

Ключевые слова: потери электроэнергии, контактная сеть, косвенный метод определения потерь, счетчик потерь, коэффициент потерь, постоянный ток, переменный ток.

ABSTRACT

Kirilyuk T.I. Improving the control method of energy losses in contact line of railways. - Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.22.09 - electric transport. - Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnepropetrovsk, 2013. Dissertation is dedicated to solve the important scientific and technical task - improving the control method of energy losses in contact line.

Firstly it's proposed a model of traction power supply load for energy losses control. This allows taking into account the number of trains on railway section during determining the energy losses coefficient in traction power supply system. The author established a distribution law of energy losses coefficient and provided recommendations for its regulations. It's obtained a regression for determining the energy losses for railway sections of determinate and alternating currents that can improve the accuracy of the losses definition.

The experimental confirmations of the results have shown that the proposed improved indirect method increases the accuracy of the energy losses definition to 6.9% compared with current methodology.

Keywords: energy losses, contact line, indirect method for determining energy losses, coefficient of losses, direct current, alternating current.

Кирилюк Тетяна Ігорівна

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ
В КОНТАКТНІЙ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ**

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку «15» квітня 2013 р.
Формат паперу 60x84/16. Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0.
Тираж 100 пр. Замовлення № _____

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна

Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності ДК №1315 від 31.03.2003

Адреса видавництва і дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010.