

УДК 621.331

**В. Г. КУЗНЕЦОВ**, д-р техн. наук, проф., ДНУЗТ, Дніпропетровськ;

**Д. О. БОСИЙ**, канд. техн. наук, доц., ДНУЗТ, Дніпропетровськ;

**Т. І. КИРИЛЮК**, асистент ДНУЗТ, Дніпропетровськ

### **ВИЗНАЧЕННЯ РЕГЛАМЕНТУ ЗМІНИ КОЕФІЦІЄНТА ВТРАТ**

На основі методу Монте-Карло, встановлено закон розподілу коефіцієнта втрат. Визначені ступені впливу кожного з факторів на втрати електроенергії в контактній мережі. Надані рекомендації що до періодичності зміни коефіцієнта втрат.

**Ключові слова:** втрати електроенергії, лічильник втрат, коефіцієнт втрат, метод Монте-Карло, коефіцієнт кореляції, регламент зміни, налаштування лічильника.

**Вступ.** Величина втрат електроенергії в елементах системи тягового електропостачання є визначальним фактором оцінки ефективності процесів електропостачання і електроспоживання в будь-якій електроенергетичній системі. Точне вимірювання втрат прямими методами в контактній мережі неможливе через стохастичний характер навантаження. Найбільш перспективний спосіб визначення втрат енергії в контактній мережі – використання лічильників втрат, встановлених на фідерах контактної мережі та реєструючих інтегральне значення ампер - квадрат - годин. Остання розробка компанії Ельстер Метроніка - мікропроцесорний лічильник електроенергії Альфа А1800 з функцією обліку втрат (в модифікації лічильника присутня літера V) та спеціалізований програмний пакет Metercat (AlphaPlus W2.1).

Метод виміру втрат енергії заснований на реєстрації величини ампер - квадрат - годин на фідерах тягових підстанцій. До лічильника вводиться коефіцієнт втрат, який враховується в передаточній функції перехідного пристрою, і лічильник показує одразу втрати електроенергії.

На сьогоднішній день проведено багато досліджень [1-6] що до визначення коефіцієнта втрат, але відсутні рекомендації по регламенту його зміни. Для практичного застосування результатів досліджень необхідно знати як часто змінювати коефіцієнт втрат.

**Мета статті.** Надати рекомендації що до регламенту зміни коефіцієнта втрат для ділянок постійного та змінного струмів.

**Основний матеріал.** Для вирішення поставленої задачі скористаємось методом Монте-Карло та рівняннями регресії для визначення коефіцієнта втрат, що були отримані в [7]. Проведемо математичне моделювання в середовищі Crystal Ball за наступним алгоритмом (рис. 1).

Для формування моделі попередньо були визначені закони розподілу факторів [7], що впливають на коефіцієнт втрат (табл. 1).

Таблиця 1 – Вихідні дані для моделювання

Вихідні дані моделі	Закон розподілу	Параметри закону
Кількість поїздів на розрахунковій зоні	Біноміальний	$P=0,0822$ , $n=43$
Зношування контактних проводів	Логнормальний	$m=17,2$ , $\sigma=5,67$
Температура навколишнього середовища	Вейбула	$k=50,51$ , $v=4,6924$
Швидкість руху електрорухомого складу	Логнормальний	$m=47,52$ , $\sigma=22,07$

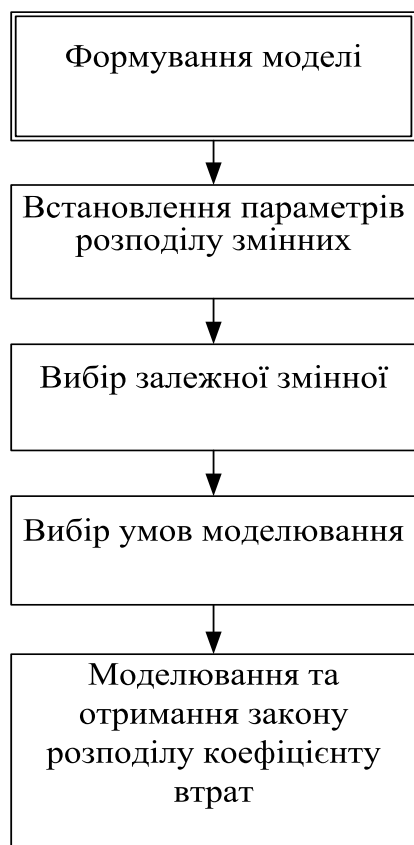


Рис. 1 – Алгоритм моделювання за допомогою методу Монте-Карло в середовищі Crystal Ball

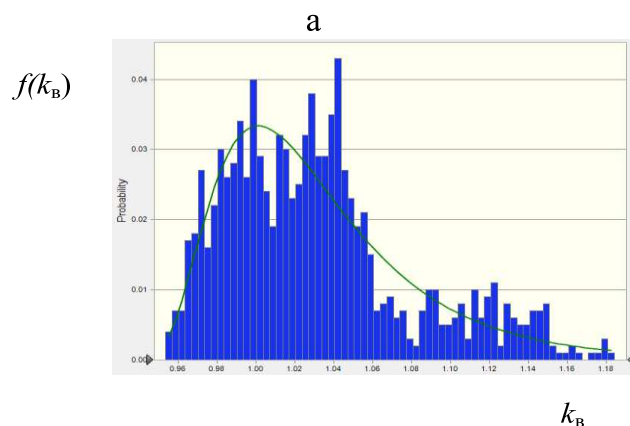
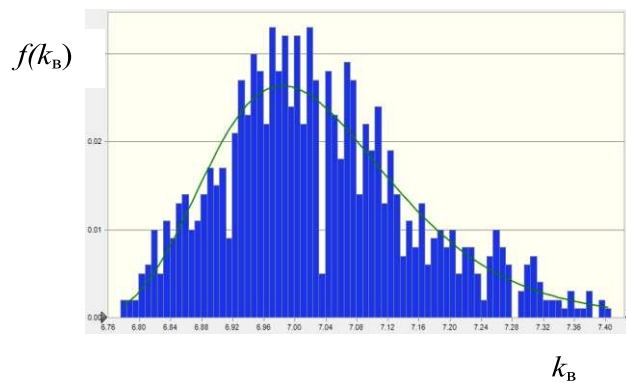


Рис. 2 – Гістограми розподілу коефіцієнта втрат а – ділянка змінного струму (Одеська залізниця), б – ділянка постійного струму (Придніпровська залізниця)

В результаті моделювання отримані гістограми розподілу коефіцієнта втрат для ділянок постійного та змінного струмів (рис. 2 а, б), встановлено, що коефіцієнти втрат підпорядковуються логнормальному розподілу. Отримані наступні характеристики розподілу коефіцієнта втрат (табл. 2)

Таблиця 2 – Характеристики розподілу коефіцієнта втрат електроенергії

Математичне очікування, $\mu$	Медіана, $Me$	Мода, $Mo$	Середнє квадратичне очікування, $\sigma$	Дисперсія, $D$	Асиметрія, $\gamma_1$	Експес, $\gamma_2$	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	1,0	0,06	0,00	1,79	9,19	0,05

За результатами моделювання встановлено, що на досліджуваних ділянках коефіцієнт втрат змінюється в таких межах (табл. 3).

Таблиця 3 – Межі зміни коефіцієнта втрат

Значення $k_B$	Ділянка постійного струму	Ділянка змінного струму
Мінімальне значення	0,94	6,56
Максимальне значення	1,33	7,79

Для надання рекомендацій щодо регламенту зміни коефіцієнта втрат визначимо ступінь впливу кожного з факторів. Для ділянки постійного струму коефіцієнт кореляції (рис. 3) між коефіцієнтом втрат і температурою навколишнього середовища складає 0,0462; між коефіцієнтом втрат і зношуванням контактних проводів – 0,2635, між коефіцієнтом втрат і швидкістю руху електрорухомого складу – 0,4865, між коефіцієнтом втрат і кількістю поїздів на розрахунковій зоні – (-0,7942).

Для ділянки змінного струму коефіцієнт кореляції між коефіцієнтом втрат і температурою навколишнього середовища складає 0,0129; між коефіцієнтом втрат і зношуванням контактних проводів – 0,0815; між коефіцієнтом втрат і кількістю поїздів на розрахунковій зоні – (-0,8562).

Отже найбільша кореляція між коефіцієнтом втрат і кількістю поїздів на розрахунковій зоні (-0,7942 для ділянки постійного струму, -0,8562 для ділянки змінного струму). Оскільки кореляція від’ємна, значить із збільшенням числа поїздів зменшується коефіцієнт втрат. Це підтверджується попередніми дослідженнями.

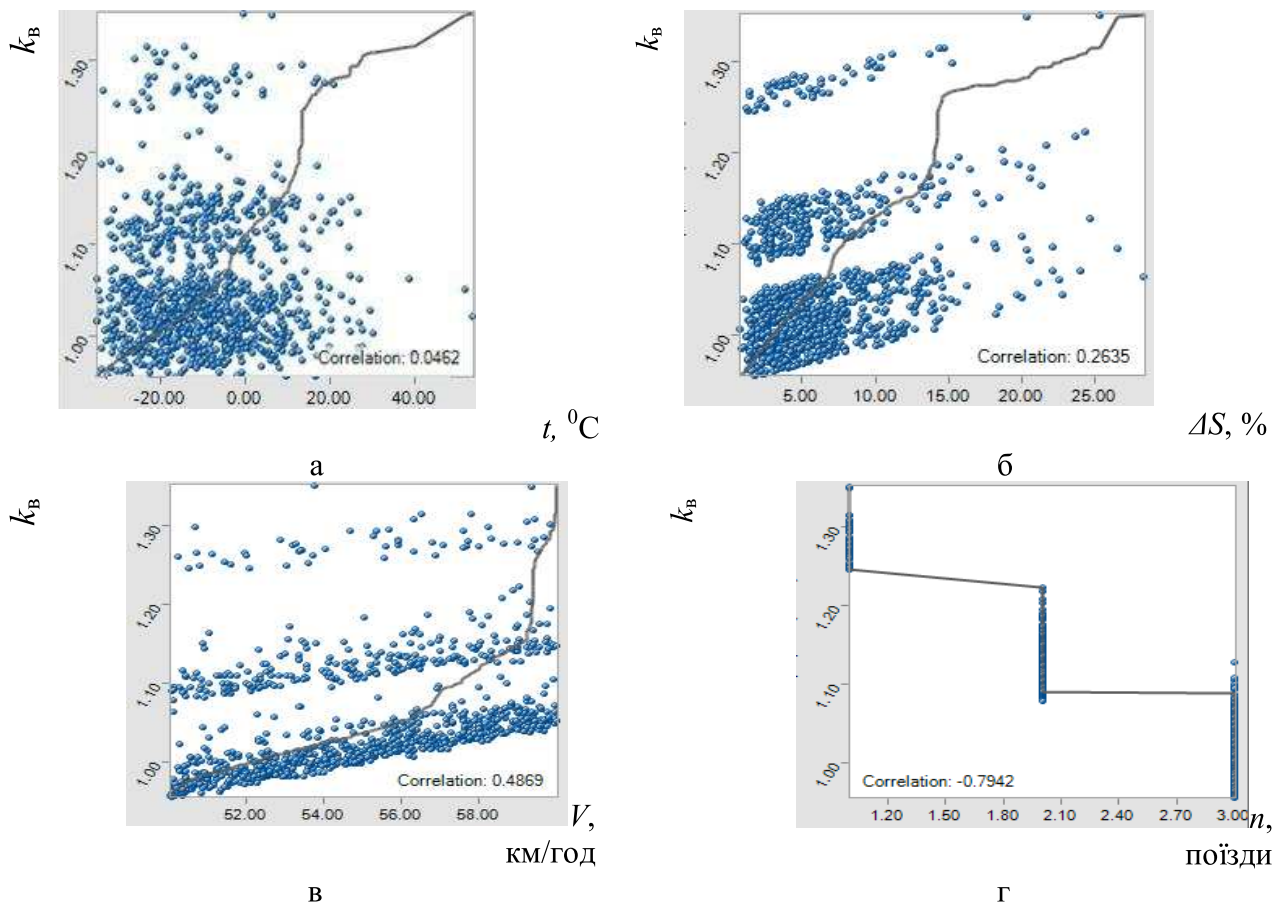
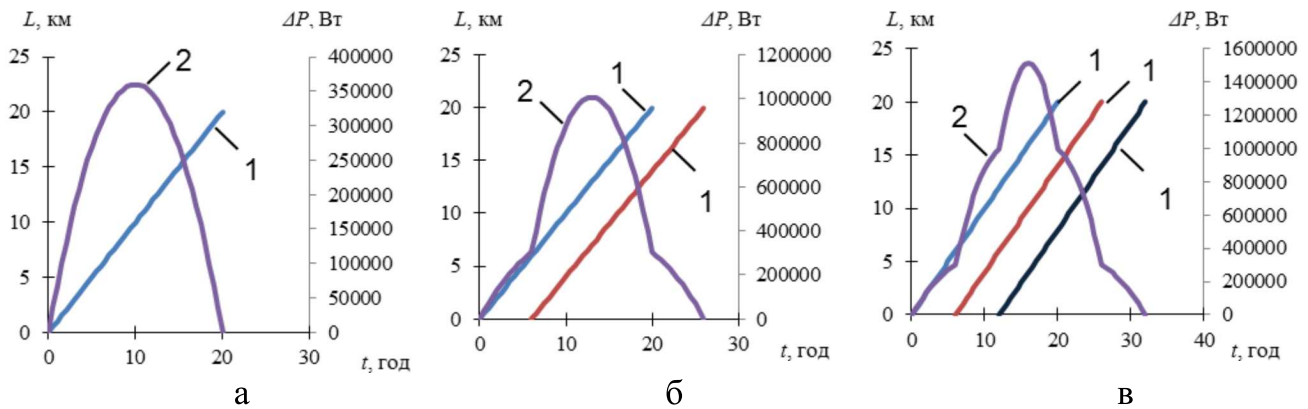


Рис. 3 – Кореляція коефіцієнта втрат для ділянки постійного струму: а – температура навколишнього середовища; б – зношування контактних проводів; в – швидкість руху ЕРС; г – кількість поїздів на міжпідстанційній зоні

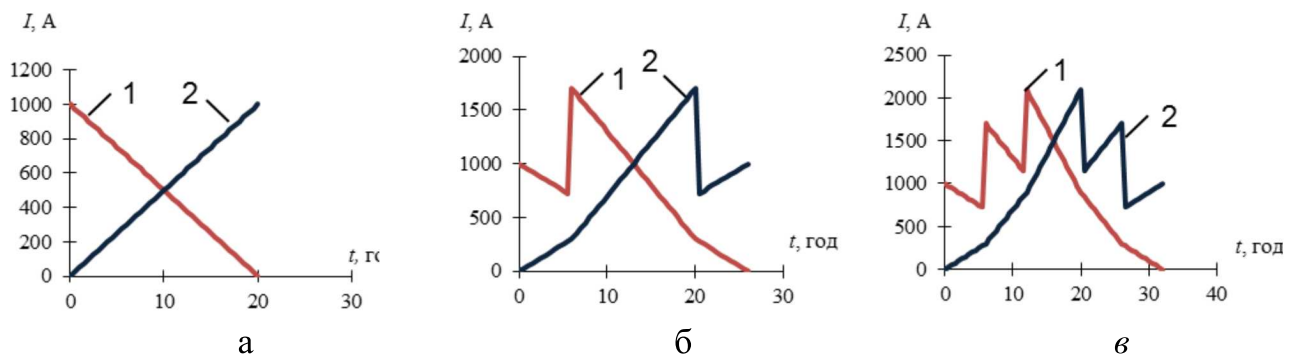
З огляду на вищесказане дослідимо вплив кількості поїздів на ділянці постійного струму (Ч-У Придніпровської залізниці) із двостороннім живленням на коефіцієнт втрат. Схема живлення – двостороння. На першому етапі побудуємо розподіли миттєвих втрат потужності в контактній мережі при різній кількості поїздів (рис. 4).



1 – нитка графіка руху, 2 – загальні миттєві втрати в контактній мережі

Рис. 4 – Миттєві втрати потужності в контактній мережі: а – один поїзд; б – два поїзди; в – три поїзди

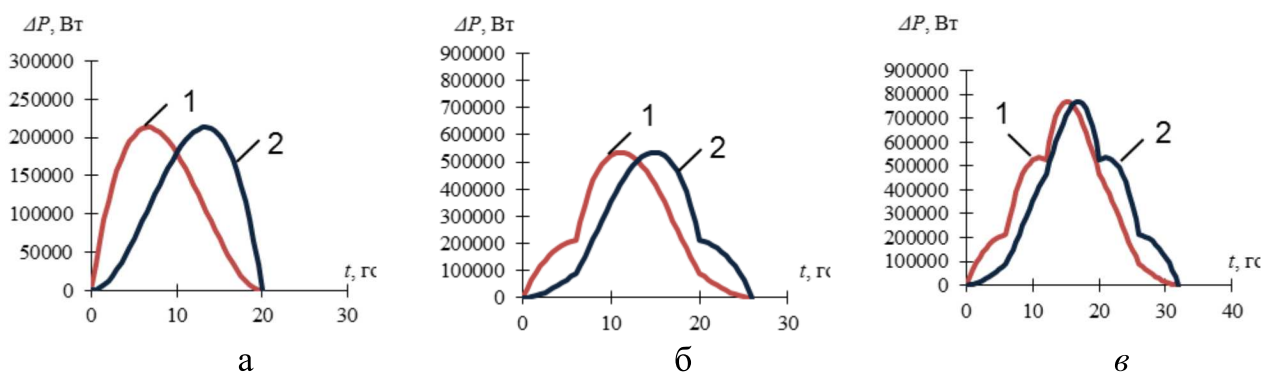
Оскільки для визначення коефіцієнта втрат необхідно знати струми фідерів, то на другому етапі побудуємо струми першого та другого фідера при одному, двох, та трьох поїздах на ділянці (рис. 5).



1 – струм першого фідера, 2 – струм другого фідера

Рис. 5 – Струми фідерів тягової підстанції: а – один поїзд; б – два поїзди; в – три поїзди

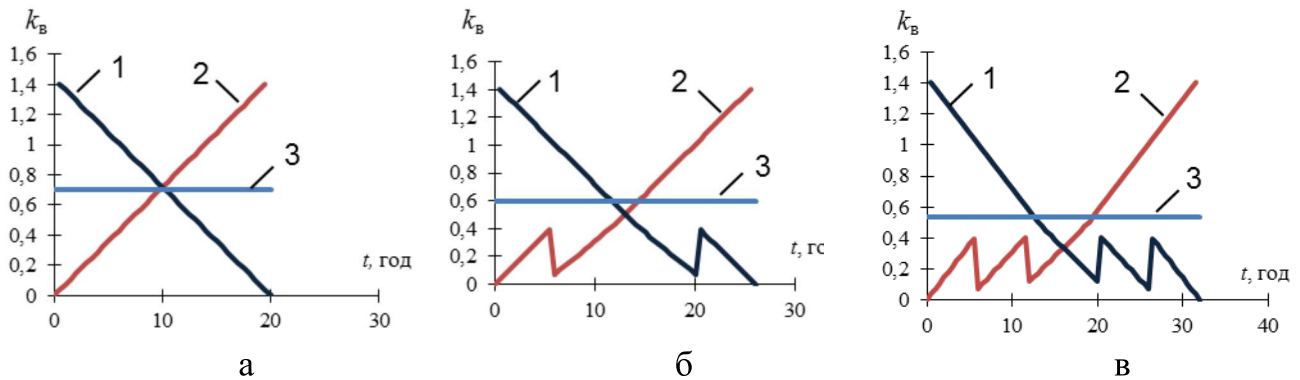
Оскільки лічильники втрат встановлюються на кожному фідері та потребують індивідуального налаштування, то необхідно знати яка частина втрат припадає на перший фідер, а яка на другий. На третьому етапі побудуємо миттєві втрати потужності окремо від кожного з фідерів (рис. 6).



1, 2 – втрати потужності від першого та другого фідерів

Рис. 6 – Втрати потужності в контактній мережі від першого та другого фідерів: а – один поїзд; б – два поїзди; в – три поїзди;

Поділивши рис. 6 на квадрат рис. 5 отримаємо миттєві та середні коефіцієнти втрат для різної кількості поїздів (рис. 7).



1, 2 – миттєві коефіцієнти втрат для першого та другого фідерів; 3 – середній коефіцієнт втрат

Рис. 7 – Миттєві коефіцієнти втрат для першого та другого фідерів та їх середнє значення: а – один поїзд; б – два поїзди; в – три поїзди

Середнє значення коефіцієнта втрат при одному поїзді на ділянці 0,7, при двох 0,6, при трьох 0,53.

На прикладі ділянки Ч-У Придніпровської залізниці розглянемо як в реальних умовах змінювався коефіцієнт втрат. На основі даних по розподілу кількості поїздів

на дослідній ділянці та отриманих коефіцієнтів втрат побудуємо залежність зміни коефіцієнта втрат у часі за тиждень (рис. 8).

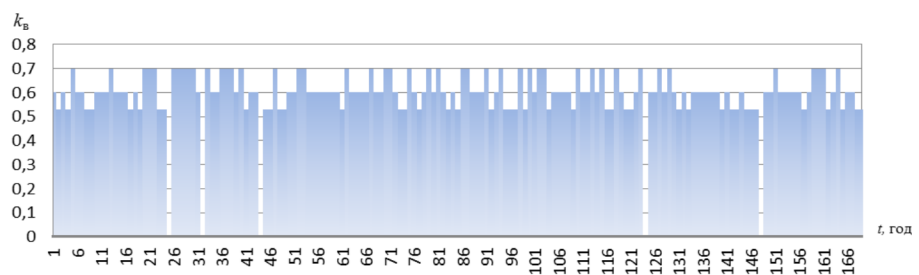


Рис. 8 – Зміна коефіцієнта втрат за тиждень на ділянці Ч - У Придніпровської залізниці

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. (рис. 9).

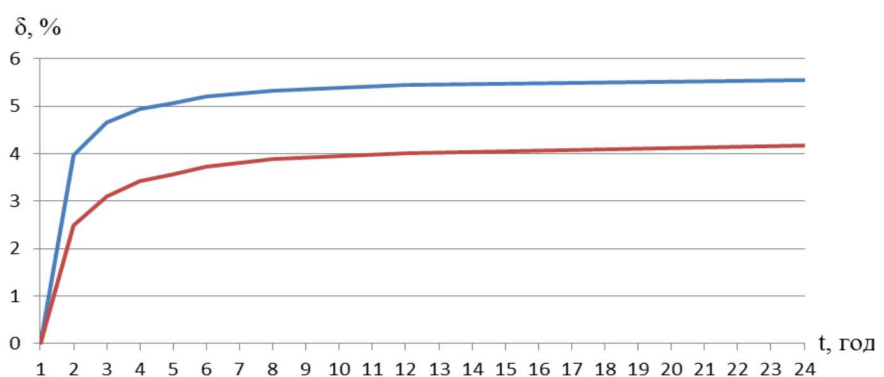


Рис. 9 – Похибка визначення втрат електроенергії в залежності від періодичності зміни  $k_B$  за добу

Всі розрахунки проводились в середовищі Mathcad.

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.

Регламент зміни коефіцієнта втрат залежить від необхідної точності. Для ділянки змінного струму якщо необхідно щоб похибка не перевищувала 5 %, то



коефіцієнт втрат потрібно змінювати кожні 4 години (рис. 9). Якщо ж достатня точність із похибкою 6 %, то лічильник можна не переналаштовувати. Що ж стосується ділянки постійного струму, то за тиждень похибка не перевищує 4,3 % і надалі змінюється дуже не значно, отже лічильник можна не переналаштовувати. Достатньо введення середнього значення коефіцієнта втрат для представленої ділянки.

### **Висновки.**

1. Дослідження імовірнісного характеру коефіцієнта втрат електроенергії на основі методу Монте-Карло показало, що коефіцієнт втрат для дослідних ділянок змінного та постійного струмів підпорядковується логнормальному розподілу. Середнє значення коефіцієнта втрат для ділянки постійного струму складає 1,03, а для ділянки змінного – 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).

2. Сформовано наукові рекомендації щодо регламенту зміни коефіцієнта втрат. Встановлено, що для забезпечення похибки не більше 5 % для ділянки Одеської залізниці (змінного струму) необхідно змінювати коефіцієнт втрат кожні 4 години, а для ділянки Придніпровської залізниці (постійного струму) лічильник втрат можна не переналаштовувати.

**Список літератури:** 1. *Быкадоров А. Л.* Учёт потерь электроэнергии на электрифицированных участках переменного тока / *А. Л. Быкадоров* // Железнодорожный транспорт. – 1980. – № 4. – С. 57-59. 2. *Доманский В. Т.* Экспериментальное определение потерь энергии в электротяговых сетях постоянного тока / *В. Т. Доманский, В. Ф. Блохин, Г. А. Доманская* // Вестник ВНИИЖТа. – 1990. – № 5. – С. 29-32. 3. *Марквардт К. Г.* Косвенные способы определения потерь электрической энергии в тяговой сети / *К. Г. Марквардт, А. Н. Кувичинский, Е. Н. Давыдов* // Труды МИИТа. – 1969. – Вып. 302. – С. 102-108. 4. *Быкадоров А. Л.* Исследование коэффициента настройки счётчиков потерь энергии на имитационной модели / *А. Л. Быкадоров, В. Т. Доманский, В. М. Ляшук* // Сборник научных трудов ВЗИИТ. – 1984. – Вып. 121. – С. 62-68. 5. *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. 6. *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. 7. *Кирилюк Т. І.* Удосконалення методу контролю втрат електроенергії в контактній мережі електрифікованих залізниць: Дис. канд. техн. наук: 05.22.09. – Д., 2013. – 145 с.

*Надійшла до редколегії 11.09.2013*

УДК 621.331

**Визначення регламенту зміни коефіцієнта втрат/ Кузнецов В. Г., Босий Д. О., Кирилюк Т. І.** // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. – № 56 (1029). – С193-198. – Бібліогр.: 7назв.

На основе метода Монте-Карло, установлен закон распределения коэффициента потерь. Определены степени влияния каждого из факторов на потери электроэнергии в контактной сети. Даны рекомендации по периодичности изменения коэффициента потерь.

**Ключевые слова:** потери электроэнергии, счетчик потерь, коэффициент потерь, метод Монте-Карло, коэффициент корреляции, регламент изменения, настройки счетчика.

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.

**Keywords:** energy losses, meter of losses energy losses coefficient, the Monte Carlo method, the correlation coefficient, the rules change, meter settings.