

Розглянуто фактори, які визначають втрати електроенергії в контактній мережі. Отримано аналітичний вираз, який визначає коефіцієнт налаштування лічильника втрат в загальному виді для подальшого застосування у непрямому методу обліку втрат електричної енергії в контактній мережі

Ключові слова: енергія, електрика, контактна мережа, схема живлення, втрати, облік, непрямий метод, коефіцієнт втрат

Рассмотрены факторы, которые определяют потери электроэнергии в контактной сети. Получено аналитическое выражение, которое определяет коэффициент настройки счетчика потерь в общем виде для дальнейшего применения в косвенном методе учета потерь электрической энергии в контактной сети

Ключевые слова: энергия, электричество, контактная сеть, схема питания, потери, учет, косвенный метод, коэффициент потерь

УДОСКОНАЛЕННЯ НЕПРЯМОГО МЕТОДУ ОБЛІКУ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В КОНТАКТНІЙ МЕРЕЖІ

Д. О. Босий

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: (0562) 33-19-11,

(0562) 47-18-66

E-mail: Dake@i.ua

Т. І. Кирилюк

Аспірантка

*Кафедра «Електропостачання залізниць»

Дніпропетровський національний університет

залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна

вул. ак. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ,

Україна, 49010

E-mail: Tanya_kir@bigmir.net

Вступ

Визначення втрат електроенергії в тяговій мережі електрифікованих залізниць має ряд особливостей, які обумовлені змінним за величиною та місцезнаходженням навантаженням, що не дозволяє врахувати цілий ряд факторів які впливають на величину втрат. Як уже було доведено раніше [4, 3, 8], краще визначати втрати електроенергії в тяговій мережі непрямим способом, а саме за допомогою лічильника втрат. Такий лічильник потребує введення коефіцієнту налаштування.

Над питанням визначення коефіцієнту налаштування лічильника втрат (коефіцієнту втрат), ще у 70-ті, 80-ті роки працювали Марквардт К.Г., Бикадоров А.Л., Доманський В.Т., Бардушко А.В. та ін. Але стара елементарна база не дозволяла це зробити з необхідною точністю. Коефіцієнт налаштування лічильника втрат визначався один раз на імітаційній моделі для конкретної фідерної зони і після введення до лічильника не коригувався.

Основна частина

Для визначення коефіцієнту налаштування лічильника втрат в загальному виді пропонується удосконалити непрямий спосіб визначення втрат електроенергії. Для цього виділимо фактори, які в значній мірі впливають на втрати електроенергії в контактній мережі:

- схема живлення контактної мережі;
- кількість поїздів на розрахунковій зоні;
- зношування контактних проводів;
- зміна швидкості руху електрорухомого складу;
- зміна струму електровозу під час руху розрахунковою зоною;
- нагрівання проводів контактної мережі.

З урахуванням цих факторів запишемо вираз за допомогою якого буде визначатись коефіцієнт налаштування лічильника втрат

$$R = (k_{cx} \cdot k_n \cdot k_{zn} \cdot k_v \cdot k_l \cdot k_t) r_0 L \quad (1)$$

$$R = k_{втр} r_0 L$$

$$k_{втр} = k_{cx} \cdot k_n \cdot k_{zn} \cdot k_v \cdot k_l \cdot k_t,$$

де k_{cx} – коефіцієнт схеми живлення контактної мережі;

k_n – коефіцієнт кількості поїздів на розрахунковій зоні;

k_{zn} – коефіцієнт зношування контактних проводів;

k_v – коефіцієнт, що враховує зміну швидкості електрорухомого складу;

k_l – коефіцієнт, що враховує зміну струму електровозу;

k_t – коефіцієнт, що враховує зміну температури контактного проводу.

Метою даної роботи є отримання аналітичного виразу для визначення коефіцієнту налаштування

лічильника втрат в загальному вигляді в залежності від перелічених вище факторів.

У попередніх працях авторами були проведені теоретичні дослідження та отримані вирази для визначення коефіцієнтів налаштування лічильників втрат в залежності від схеми живлення. Уведено поняття еквівалентного значення опору тягової мережі, який дорівнює відношенню двох інтегральних величин – втрат електричної енергії на розрахунковій зоні та квадрату струму живлячого фідера та визначений коефіцієнт k_{cx} .

Визначимо коефіцієнт, що враховує кількість поїздів на розрахунковій зоні за деяких припущень: живлячі струми електровозів однакові; відстань між навантаженнями однакова.

Розглянемо консольну схему живлення, з припущенням, що на ділянці знаходиться 2 поїзди (рис. 1).

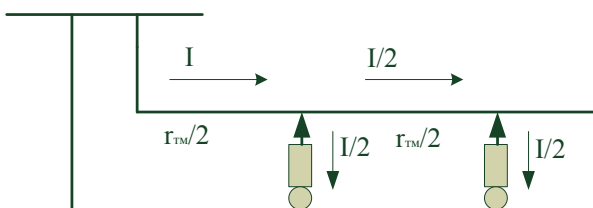


Рис. 1. Консольна схема живлення з двома навантаженнями

Тоді втрати потужності в тяговій мережі будуть визначатися за виразом [2]

$$\Delta P = I^2 \frac{r_{TM}}{2} + \left(\frac{I}{2}\right)^2 \frac{r_{TM}}{2} = \frac{5}{8} I^2 r_{TM}, \quad (2)$$

де I^2 – квадрат струму фідера;

r_{TM} – опір тягової мережі всієї розрахункової ділянки.

У [2] розглянуто лише випадок із двома поїздами на ділянці. Продовжимо міркування та отримаємо аналітичний вираз для n поїздів, попередньо розглянувши ділянку з трьома поїздами. Якщо на ділянці 3 поїзди (рис. 2), то розрахункова формула матиме наступний вигляд

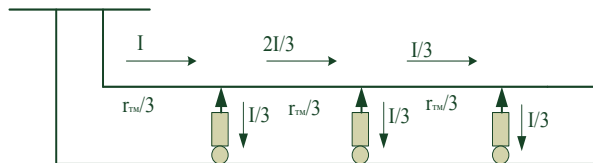


Рис. 2. Консольна схема живлення з трьома навантаженнями

$$\Delta P = I^2 \frac{r_{TM}}{3} + \left(\frac{2I}{3}\right)^2 \frac{r_{TM}}{3} + \left(\frac{I}{3}\right)^2 \frac{r_{TM}}{3} = \frac{14}{27} I^2 r_{TM}. \quad (3)$$

Отже прослідкувавши деяку закономірність можна зобразити розрахункову схему (рис. 3) та записати вираз (4) для визначення втрат електроенергії для n поїздів на ділянці

$$\Delta P = I^2 \frac{r_{TM}}{n} + \left(I - \frac{I}{n}\right)^2 \frac{r_{TM}}{n} + \left(I - \frac{2I}{n}\right)^2 \frac{r_{TM}}{n} + \dots + \left(I - \frac{(k-1)I}{n}\right)^2 \frac{r_{TM}}{n} = \frac{r_{TM}}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{nI - (i-1)I}{n}\right)^2, \quad (4)$$

де n – кількість поїздів на розрахунковій ділянці;
 i – порядковий номер поїзда.

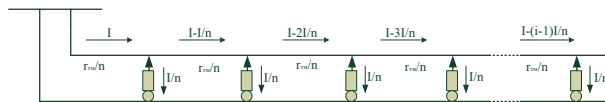


Рис. 3. Консольна схема живлення з n навантаженнями

Якщо у вираз (4) замість n підставити 3, то отримаємо вираз (5), отже отримана формула справедлива.

Але нас цікавить не безпосередньо вираз для визначення втрат електроенергії, а коефіцієнт налаштування лічильника. Оскільки для дійсної та еквівалентної схем повинні співпадати представлені параметри [2], то буде справедливий вираз

$$r_{екв} I^2 = \frac{r_{TM}}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{nI - (i-1)I}{n}\right)^2 \quad (5)$$

Після деяких перетворень отримаємо вираз (6) для визначення коефіцієнта налаштування лічильника втрат з урахуванням кількості поїздів на розрахунковій ділянці для консольної схеми живлення.

$$r_{екв} = \frac{r_{TM}}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{(i-1)}{n}\right)^2. \quad (6)$$

Або з урахуванням, що

$$r_{TM} = r_0 L,$$

де L – довжина розрахункової зони.

Та дещо спростивши вираз отримаємо (7)

$$r_{екв} = r_0 L \frac{\sum_{i=1}^n (n+1-i)}{n^3} \quad (7)$$

Поставлена задача зводиться до визначення суми квадратів n перших натуральних чисел, кількість яких визначається кількістю поїздів на фідерній зоні.

Отже, формалізуючи завдання, отримаємо, що необхідно визначити суму

$$S = 1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots = \sum_{i=1}^n i^2. \quad (8)$$

Як відомо, сума значень деякого полінома k -го ступеня для натуральних чисел від 1 до n виражається у вигляді полінома $k+1$ -го ступеня.

Використовуючи метод невизначених коефіцієнтів, визначимо коефіцієнти полінома, тобто

$$S = \sum_{i=1}^n i^2 = A + Bn + Cn^2 + Dn^3 \quad (9)$$

Для знаходження 4-х невідомих необхідно скласти систему рівнянь для 4-х значень $n = 1, 2, 3, 4$ і розв'язати її.

$$\begin{aligned} n=1: & A + B + C + D = 1; \\ n=2: & A + 2B + 4C + 8D = 5; \\ n=3: & A + 3B + 9C + 27D = 14; \\ n=4: & A + 4B + 16C + 64D = 30. \end{aligned}$$

Застосовуючи матричний метод розв'язання систем лінійних рівнянь, отримуємо наступні коефіцієнти:

$$A = \frac{\Delta_A}{\Delta} = \frac{0}{12} = 0; B = \frac{\Delta_B}{\Delta} = \frac{2}{12} = \frac{1}{6}; C = \frac{\Delta_C}{\Delta} = \frac{6}{12} = \frac{1}{2};$$

$$D = \frac{\Delta_D}{\Delta} = \frac{4}{12} = \frac{1}{3}.$$

Тоді вираз (8) набуде наступного вигляду:

$$S = \sum_{i=1}^n i^2 = \frac{n}{6} + \frac{n^2}{2} + \frac{n^3}{3}. \quad (10)$$

З огляду на це отримаємо

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

або

$$r_{\text{екв}} = r_0 L \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2n} + \frac{1}{6n^2} \right) \quad (12)$$

Введемо коефіцієнт k_n що враховує кількість поїздів на розрахунковій зоні

$$k_n = \frac{1}{3} + \frac{1}{2n} + \frac{1}{6n^2} \quad (13)$$

Залежність коефіцієнту k_n від кількості поїздів на ділянці (n) представлена на рис.4

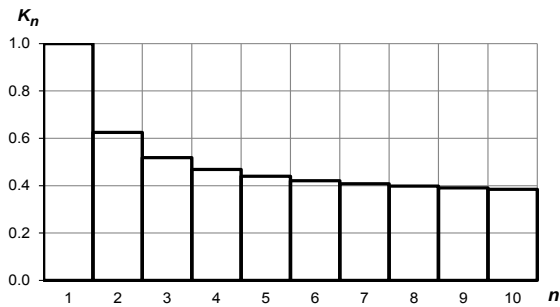


Рис. 4. Залежність коефіцієнту k_n від кількості поїздів на ділянці

Тоді вираз (12) матиме наступний вигляд

$$r_{\text{екв}} = r_0 L k_n \quad (14)$$

Для визначення коефіцієнту, що враховує зношування контактних проводів скористаємось загальновідомою формулою [7]:

$$r_{\text{км}} = \frac{10^9 \rho_M}{S'_M + S_a / 1,7} \left[\frac{\text{Ом}}{\text{км}} \right], \quad (15)$$

де ρ_M – питомий опір мідних проводів, Ом·м;

S'_M – сумарна площа поперечного перерізу паралельно з'єднаних мідних проводів контактної мережі, мм²;

S_a – те ж алюмінієвих проводів.

Виконавши деякі перетворення із (15) отримаємо вираз для опору контактних проводів з урахуванням зношування у відсотках.

$$r_{\text{км}} = \frac{10^9 \rho_M}{\left(S'_M + S_a / 1,7 \right) - \frac{\left(S'_M + S_a / 1,7 \right) \Delta S\%}{100}} = \frac{10^9 \rho_M}{\left(S'_M + S_a / 1,7 \right) \left(1 - \frac{\Delta S\%}{100} \right)} \quad (16)$$

де $\Delta S\%$ – зношування контактних проводів у відсотках.

Або

$$r_{\text{км}} = \frac{18,2}{\left(S'_M + S_a / 1,7 \right) \left(1 - \frac{\Delta S\%}{100} \right)}. \quad (17)$$

Підставивши (16) у вираз для визначення еквівалентного опору консольної схеми живлення отримаємо вираз (17) для визначення коефіцієнту налаштування лічильника втрат з урахуванням зношування контактних проводів для консольної схеми живлення.

$$r_{\text{екв}} = \frac{18,2}{2 \left(S'_M + S_a / 1,7 \right) \left(1 - \frac{\Delta S\%}{100} \right)} L. \quad (18)$$

$$k_{\text{зн}} \frac{1}{2} r_0 L = \frac{18,2}{2 \left(S'_M + S_a / 1,7 \right) \left(1 - \frac{\Delta S\%}{100} \right)} L \quad (19)$$

$$k_{\text{зн}} = \frac{18,2 \left(S'_M + S_a / 1,7 \right)^2}{2 \left(S'_M + S_a / 1,7 \right) 18,2 \left(1 - \frac{\Delta S\%}{100} \right)}$$

Після деяких перетворень отримаємо наступний вираз

$$k_{\text{зн}} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta S\%}{100}} \quad (20)$$

На рис. 5 показана залежність зміни коефіцієнту налаштування лічильника втрат в залежності від зношування контактних проводів.

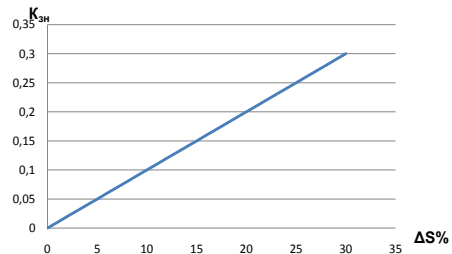


Рис. 5. Залежність коефіцієнту $k_{\text{зн}}$ від зношування контактних проводів

Режим руху поїзда можна розділити на кілька фаз: розгін, усталений рух, вибіг, гальмування і стоянка. Режим ведення електровозу вибирається відповідно до розкладу та умов руху. Режимів руху поїзда в експлуатації може бути нескінченно безліч, так як вони визначаються багатьма факторами. Це профіль колії (підйом, ухил, площадка), порядок виведення пускових резисторів, втрати в тягових двигунах, розташування сигналів, сигнальних знаків та ін. Багато факторів носять нестійкий характер. Так, на приміських ділянках неоднакові відстані між пунктами зупинок, стан колії, обмеження швидкості по стрілочних переводах, чистота рейок, показання сигналів, рівень напруги в контактній мережі, заселеність вагонів пасажирями, кліматичні умови, параметри обладнання електропоїзда, його регулювання та якість роботи і т. д. Всі ці та багато інших факторів впливають на режим ведення поїзда, а отже, і на швидкість. Тому врахування всіх змін

швидкості на протязі руху електрорухомого складу задача дуже громіздка і не доцільна. Краще знайти деяку однакову для всієї розрахункової ділянки еквівалентну швидкість V_e у визначенні якої вже буде закладена нерівномірність руху. Вирішимо цю задачу.

У попередніх публікаціях було введено визначення в загальному вигляді еквівалентного значення опору тягової мережі на періоді T

$$r_{\text{екв}} = \frac{\Delta W}{\int_0^T I_{\phi}^2(t) dt} = \frac{\int_0^T r(t) I_{\phi}^2(t) dt}{\int_0^T I_{\phi}^2(t) dt} \quad (21)$$

Замінімо у чисельнику виразу (21) $r(t)$ на добуток $r_0 \cdot x(t)$. Шлях, пройдений точкою за проміжок часу від $t = a$ до $t = b$, дорівнює визначеному інтегралу від швидкості. Отримаємо наступний вираз (22)

$$r_{\text{екв}} = r_0 \frac{\int_0^T (\int_0^T V(t) dt) I_{\phi}^2 dt}{\int_0^T I_{\phi}^2 dt} \quad (22)$$

У той же час шлях пройдений точкою за час t дорівнює добутку цього часу на еквівалентну швидкість. Отже буде справедлива рівність (23)

$$\frac{\int_0^T (\int_0^T V(t) dt) I_{\phi}^2 dt}{\int_0^T I_{\phi}^2 dt} = \frac{\int_0^T V_e t I^2 dt}{\int_0^T I_{\phi}^2 dt} \quad (23)$$

Припустимо, що струм, який споживає електрорухомий склад на протязі руху не змінюється і винесемо його за знак інтегралу. Так як еквівалентна швидкість однакова для всієї ділянки, то її також вносимо за знак інтегралу. Після деяких перетворень отримаємо вираз (24)

$$\int_0^T (\int_0^T V(t) dt) dt = V_e \int_0^T t dt \quad (24)$$

З рівняння (24) виразимо еквівалентну швидкість (25)

$$V_{\text{еп}} = \frac{\int_0^T (\int_0^T V(t) dt) dt}{\int_0^T t dt} = \frac{\int_0^T V_{\text{еп}} T dt}{\int_0^T t dt} = V \frac{T^2}{T^2} = 2V \quad (25)$$

Аналогічно отримаємо вираз (26) для еквівалентного струму

$$I_e = \sqrt{\frac{\int_0^T I^2(t) dt}{\int_0^T t dt}} \quad (26)$$

Обчислення коефіцієнту врахування зміни струму необхідно виконувати чисельним методом за допомогою виразу (25) для конкретної реалізації струму електровозу на ділянці.

В попередній роботі отримано вираз для визначення еквівалентного опору контактної мережі для консольної схеми живлення

$$r_{\text{екв}} = \frac{1}{2} r_0 L \quad (27)$$

Запишемо вираз для визначення еквівалентного опору з урахуванням зміни швидкості руху поїзда

$$r_{\text{екв}} = r_0 V_{\text{cp}} T \quad (28)$$

Загальновідомо, що температура нагрівання контактної мережі впливає на його опір [7]. Температура контактного проводу залежить від багатьох факторів. Вона змінюється під впливом температури зовнішнього середовища. Провід нагрівається від струму, що протікає по ньому та охолоджується вітром. Запишемо рівняння балансу для сталого режиму у загальному вигляді [5]

$$I^2 R_{20} (1 + \alpha (t_{\text{пр}}^0 - 20)) + W_c = \pi d_{\text{пр}} (\beta_k + \beta_{\text{л}}) (t_{\text{пр}}^0 - t_{\text{о.с}}^0) \quad (29)$$

- де I – струм лінії, А;
- R_{20} – опір 1 м проводу при 20 °С, Ом/м;
- α – температурний коефіцієнт опору проводу, 1/°С;
- $t_{\text{пр}}^0$ – температура проводу, °С;
- $t_{\text{о.с}}^0$ – температура зовнішнього середовища, °С;
- $\beta_k, \beta_{\text{л}}$ – коефіцієнти тепловіддачі проводу при конвективному і променистому теплообміні, Вт/(м²·°С);
- W_c – теплота сонячного випромінювання, що поглинається 1 м проводу в одиницю часу, Вт;
- $d_{\text{пр}}$ – діаметр проводу, м.

Рівняння (28) можна спростити знехтувавши деякими складовими, а саме, випромінюванням, теплопровідністю та швидкістю вітру (так як середньорічна швидкість вітру по Україні не перевищує 4 м / с, тобто швидкість вітру практично не впливає на охолодження проводу). З огляду на вищесказане після деяких перетворень отримаємо наступний вираз

$$I^2 R_{20} (1 + \alpha (t_{\text{пр}}^0 - 20)) = cS (t_{\text{пр}}^0 - t_{\text{о.с}}^0) \quad (30)$$

- де c – коефіцієнт тепловіддачі;
- S – площа поперечного перерізу проводу, мм².

Із рівняння (30) виразимо опір 1 м проводу при 20°С (31)

$$R_{20} = \frac{cS (t_{\text{пр}}^0 - t_{\text{о.с}}^0)}{I^2 (1 + \alpha (t_{\text{пр}}^0 - 20))} \quad (31)$$

У [6] приведений вираз (32) для визначення температури контактної мережі

$$t_{\text{пр}}^0 = \beta S \left(1 - e^{-\frac{t}{T^0}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T^0}} \quad (32)$$

- де t – час нагрівання;
- T^0 – постійна нагрівання;
- τ_0 – початкове перевищення температури проводу над температурою зовнішнього середовища.

Зробимо припущення, що початкове перевищення температури проводу над температурою зовнішнього середовища дорівнює нулю, тоді вираз (32) буде мати наступний вигляд

$$t_{\text{пр}}^0 = \beta S \left(1 - e^{-\frac{t}{T^0}} \right) \quad (33)$$

Підставимо (33) у (31) і візьмемо інтеграл від отриманого виразу (34) по часу

$$R_{20} = \int_0^T \frac{cS \left(\beta S \left(1 - e^{-\frac{t}{T^0}} \right) - t_{0.c}^0 \right) dt}{I^2 \left(1 + \alpha \left(\beta S \left(1 - e^{-\frac{t}{T^0}} \right) - 20 \right) \right) dt} \quad (34)$$

де T – час руху поїзда по розрахунковій зоні.

Так як коефіцієнт тепловіддачі, площа поперечного перерізу та струм не залежать від часу, то їх можна вивести за знак інтегралу. Після подальших перетворень отримаємо кінцеву формулу для визначення опору 1 м контактної провідності з урахуванням температури

$$R_{20} = \frac{cS}{I^2} \frac{\beta S \left(T + T \left(e^{-\frac{T}{T^0}} - 1 \right) \right) - t_{0.c}^0 \cdot T}{T + \alpha \left[\beta S \left(T + T \left(e^{-\frac{T}{T^0}} - 1 \right) \right) - 20T \right]} \quad (35)$$

Підставивши (35) у (26) отримаємо вираз для коефіцієнту налаштування лічильника втрат з урахуванням температури нагрівання контактної провідності

$$r_{\text{екв}} = \frac{L cS}{2 I^2} \frac{\beta S \left(T + T \left(e^{-\frac{T}{T^0}} - 1 \right) \right) - t_{0.c}^0 \cdot T}{T + \alpha \left[\beta S \left(T + T \left(e^{-\frac{T}{T^0}} - 1 \right) \right) - 20T \right]} \quad (36)$$

Введемо поняття коефіцієнту, що враховує температуру нагрівання контактної провідності k_t

$$k_t = \frac{cS}{I^2} \frac{\beta S \left(T + T \left(e^{-\frac{T}{T^0}} - 1 \right) \right) - t_{0.c}^0 \cdot T}{T + \alpha \left[\beta S \left(T + T \left(e^{-\frac{T}{T^0}} - 1 \right) \right) - 20T \right]} \quad (37)$$

Тоді вираз (36) буде мати наступний вигляд

$$r_{\text{екв}} = \frac{1}{2} L k_t$$

Підставивши значення отриманих коефіцієнтів у (1) отримаємо коефіцієнт для введення до лічильника втрат.

Висновок

1. Аналітичний вираз для визначення коефіцієнту налаштування лічильника втрат в загальному вигляді можна отримати добутком коефіцієнтів, що враховують вплив схеми живлення, кількості поїздів, зміни швидкості руху, зміни струму, зносу та температури нагрівання провідності.
2. Опір еквівалентної схеми для різної кількості поїздів у загальному вигляді можна отримати у вигляді одного виразу, який базується на сумі квадратів натурального ряду чисел.
3. Залежність зміни коефіцієнту налаштування лічильника втрат від зношування контактних провідностей визначається лінійною функцією.
4. Зміна режимів руху поїзда враховується еквівалентною швидкістю, яка в свою чергу, визначається середньою швидкістю руху, а зміну струму електровозу необхідно визначати для конкретної ділянки окремо чисельним методом.

Література

1. Правила улаштування та технічного обслуговування контактної мережі електрифікованих залізниць. ЦЕ-023: Затв.: Наказ Укрзалізниця 20.11.2007 № 546-Ц [Текст] / ЦЕ УЗ.-К.:Укрзалізниця,2008.-208с.
2. Бардушко,В.Д. Анализ и параметрический синтез систем тягового электроснабжения [Текст]:автореф. дис....докт. техн. наук : 05.13.01 / Бардушко Валерий Данилович;[ИрГУПС].-Иркутск:2001.
3. Доманский,В.Т. Экспериментальное определение потерь энергии в электротяговых сетях постоянного тока [Текст] / В. Т. Доманский, В. Ф. Блохин, Г. А. Доманская // Весник ВНИИЖТа.-1990.-№5.-С.29-32.
4. Быкадоров,А.Л. Учёт потерь электроэнергии на электрифицированных участках переменного тока [Текст] / А. Л. Быкадоров, В. Т. Доманский // Железнодорожный транспорт.-1980.-№4.-С.57-59.
5. Расчёт потерь электрической энергии в распределительных сетях в реальном времени с учётом параметров окружающей среды [Текст] / Лут, Н. Т. // "Енергетика і автоматика" науковий журнал.-2010.-№№1(3)..
6. Марквардт, К. Г. Контактная сеть [Текст] / -М.:Транспорт,1994.-335с.
7. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / К.Г. Марквардт.-М:Транспорт,1982.-528с.
8. Марквардт,К.Г. Косвенные способы определения потерь электрической энергии в тяговой сети [Текст] / К. Г. Марквардт, А. Н. Кувичинский, Е. Н. Давыдов // Труды МИИТа.-1969.-№вып. 302.-С.102-108.

Abstract

This article deals with the use of the indirect method of determining losses of the electric energy in the contact system and basic theoretical concepts connected with it. The main objective of the study is to develop a generalized methodology for determining the meters ratio considering the power scheme, the number of trains, speed changes, current of the locomotive, contact system wear and temperature.

The use of modern electricity meters allows the railways as energy supply companies clearly define the components of operating costs among the major economic actors.

The influence of various factors on the energy loss in the contact system and the methods to simplify a formula and generalizations was obtained in this paper.

The research results can be applied to engineers who evaluate the losses of electric energy at the traction substations of the electrified railways.

Keywords: energy, electricity, contact network, circuit power, loss account, the indirect method, the loss factor

УДК 536.24:533.6.011

ТЕПЛОВА ЕФЕКТИВНІСТЬ ШАХОВИХ ПАКЕТІВ ТРУБ РІЗНОГО ПРОФІЛЮ

Є.М. Письменний

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри*

Контактний тел. (044) 406-86-18

E-mail: evgnik@i.com.ua

В.А. Кондратюк

Аспірант*

Контактний тел. (044) 406-86-18

E-mail: teram57@meta.ua

О.М. Терех

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*

Контактний тел. (044) 454-97-87

E-mail: teram57@meta.ua

О.І. Руденко

Кандидат технічних наук, доцент**

Контактний тел. (044) 454-97-87

E-mail: teram57@meta.ua

*Кафедра атомних електростанцій і інженерної теплофізики

**Кафедра економіки і підприємництва

Національний технічний університет України «Київський

політехнічний інститут»

пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

Приведені результати порівняння теплової ефективності пакетів плоско-овальних труб з відомими даними для пакетів з труб круглої і зручнообтічної форми. Показані переваги поверхонь нагріву з плоско-овальних труб над трубами круглої форми

Ключові слова: труба, плоско-овальний, пакет, ефективність

Приведены результаты сравнения тепловой эффективности пакетов плоско-овальных труб с известными данными для пакетов из труб круглой и удобнообтекаемой формы. Показаны преимущества поверхностей нагрева из плоско-овальных труб над трубами круглой формы.

Ключевые слова: труба, плоско-овальний, пакет, ефективність

Вступ

На даному етапі розвитку енергомашинобудування, теплоенергетики суть вдосконалення трубчастих теплообмінних апаратів зводиться до збільшення компактності і зниження маси апаратів без істотних, додаткових витрат на їх виробництво. Основна маса теплообмінного устаткування виготовляється із традиційних гладких труб круглого поперечного перерізу. Проте, такі труби з точки зору збільшення теплоаеродинамічної ефективності себе вичерпали.

У пропонованій статті наводяться результати порівняння теплоаеродинамічної ефективності пакетів з труб плоско-овального профілю [1-4], краплеподібного [3,4] і труб круглого поперечного перерізу [5, 6] (рис.1).

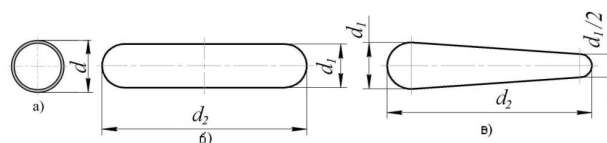


Рис.1 Профілі труб: а) круглий [5, 6]; б) плоско-овальний [1-4]; в) краплеподібний [3, 4]

Порівняння ефективності пакетів труб

В основі методики оцінки теплової ефективності різних типів поверхонь лежать варіантні теплоаеродинамічні розрахунки конкретного теплообмінного апарату – економайзера-утилізатора,