

МОРФОМЕТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Запропоновано морфометричний метод визначення навантажувальних втрат. Обчислено похибки розрахунку на основі морфометричного підходу та середньоквадратичного струму у порівнянні з ефективним струмом.

Вступ

Зниження навантажувальних втрат є важливою складовою загального комплексу заходів, що здійснюються з метою покращення процесу передачі та розподілу електроенергії. Значення цих втрат обчислюється на основі відомої формули [1—3]:

$$\Delta W_{\text{н}} = I_c^2 R_e (I_{\text{ск}}/I_c)^2 \cdot T = I_{\text{ск}}^2 R_e T, \quad (1)$$

де $I_c = \frac{\sum_{j=1}^n I_j}{n}$ — середній струм; I_j — значення струму в j момент зчитування інформації про електроспоживання; n — кількість зчитувань інформації про електроспоживання за час T ; R_e — еквівалентний опір мережі; $I_{\text{ск}}$ — середньоквадратичний струм: $I_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n I_j^2}{n}}$.

Як показано у [4] недоліком використання середньоквадратичного струму в розрахунках величини $\Delta W_{\text{н}}$ у порівнянні з ефективним $I_{\text{еф}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt}$ є те, що в основі розрахунку середньоквадратичного струму лежить використання значень струмів в певні моменти часу. Це підтверджується і у [5, 6] — похибка є суттєвою і вона знижує ефективність заходів зі зниження втрат електроенергії в електричних мережах. Величина $I_{\text{еф}}$ не використовується в (1) через складність її розрахунку через необхідність пошуку функції — моделі графіка та визначення інтеграла $\int_0^T I^2(t) dt$.

Матеріали та результати досліджень

Як відомо, значенням інтегралів відповідають значення площ фігур обмежених відповідними функціями — моделями графіків (ГЕН). При використанні морфометричного підходу визначення площі є простою процедурою. Величина площі є одним із базових морфометричних показників і для її розрахунку розроблено відповідні функції у бібліотеках комп'ютерного морфометричного аналізу. Обчислюються вона шляхом сумування елементарних точок (пікселів) фігури з достатньо високою роздільною здатністю. Розрахунки середнього та ефективного струмів засобами морфометрії ми можемо здійснити за допомогою таких формул:

$$I_c = \frac{S_{\text{ГЕН}}}{T}; \quad I_{\text{меф}} = \sqrt{\frac{S_{\text{ГЕН}^2}}{T}}, \quad (2)$$

де $S_{\text{ГЕН}}$, А·год — площа фігури, що відповідає ГЕН; $S_{\text{ГЕН}^2}$, А²·год — площа фігури, що відповідає графіку квадратів електричних навантажень; $I_{\text{меф}}$, А — ефективний струм, визначений на основі морфометричного підходу.

Для прикладу розглянемо два елементарних ГЕН та здійсимо розрахунки струмів та навантажувальних втрат для них. Розрахуємо ефективні, середньоквадратичні та ефективні струми за до-

помогою морфометричного підходу. Задамося вихідними даними та запишемо їх в табл. 1.

Таблиця 1

Вихідні дані про споживання струму

$j \in [1, n]$	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
(графік 1) I_j, A	1	5	1	5	1
(графік 2) I_j, A	1	5	5	1	1

Відповідні значенням табл. 1 ГЕН зображено на рис. 1.

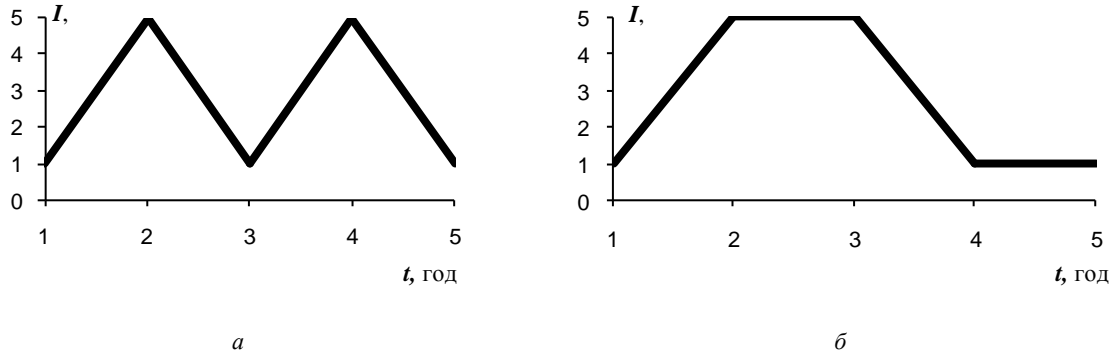


Рис. 1: а — графік 1; б — графік 2

Розрахуємо середній I_c та середньоквадратичний $I_{ск}$ струми, коефіцієнт форми \hat{E}_o та втрати в мережі ΔW_n (еквівалентний опір — 1 Ом, за час 4 год.) на основі табл. 1. Результати розрахунку запишемо в табл. 2.

Таблиця 2

Розрахунок втрат на основі використання середньоквадратичного струму

Показники	I_c, A	$I_{ск}, A$	K_ϕ	$\Delta W_n, Вт$
графік 1	2,6	3,224	1,25	42,4
графік 2	2,6	3,224	1,25	42,4

Розрахунки (табл. 2) показують, що значення \hat{E}_o є однаковим для різних за формою графіків, що підтверджує висновки отримані у [5—6].

Розрахуємо еквівалентний струм для обох графіків. З цією метою визначимо рівняння прямих $I = f(t)$, що проходять через задані точки (табл. 1) та визначимо $\int f^2(t) dt$ та, як результат, значення $I_{сф}$. Рівняння прямих для ділянок ГЕН зведемо в табл. 3.

Таблиця 3

Рівняння прямих для ділянок ГЕН

Ділянка 1—2	Ділянка 2—3	Ділянка 3—4	Ділянка 4—5
Графік 1			
$\frac{I-1}{4} = \frac{t-1}{1};$ $I = 4t - 3$	$\frac{I-5}{-4} = \frac{t-2}{1};$ $I = -4t + 13$	$\frac{I-1}{4} = \frac{t-3}{1};$ $I = 4t - 11$	$\frac{I-5}{-4} = \frac{t-4}{1};$ $I = -4t + 21$
Графік 2			
$\frac{I-1}{4} = \frac{t-1}{1};$ $I = 4t - 3$	$I = 5$	$\frac{I-5}{-4} = \frac{t-3}{1};$ $I = -4t + 17$	$I = 1$

Отже, для графіка 1:

$$I_{\text{еф}} = \sqrt{\frac{1}{4} \left(\int_1^2 (4t - 3)^2 dt + \int_2^3 (-4t + 13)^2 dt + \int_3^4 (4t - 11)^2 dt + \int_4^5 (-4t + 21)^2 dt \right)} = 3,215 \text{ A},$$

а для графіка 2:

$$I_{\text{еф}} = \sqrt{\frac{1}{4} \left(\int_1^2 (4t - 3)^2 dt + \int_2^3 (5)^2 dt + \int_3^4 (-4t + 17)^2 dt + \int_4^5 (1)^2 dt \right)} = 3,416 \text{ A}.$$

Результат розрахунків зведемо в табл. 4.

Таблиця 4

Розрахунок втрат на основі ефективного струму

Показники	$I_c, \text{ A}$	$I_{\text{еф}}, \text{ A}$	\hat{E}_δ	$\Delta W_{\text{н}}, \text{ Вт}$
Графік 1	2,6	3,215	1,24	41,35
Графік 2	2,6	3,416	1,31	46,68

Для визначення ефективного струму шляхом морфометричного підходу побудуємо графіки квадратів миттєвих значень струмів (рис. 2) у відповідності з табл. 1.

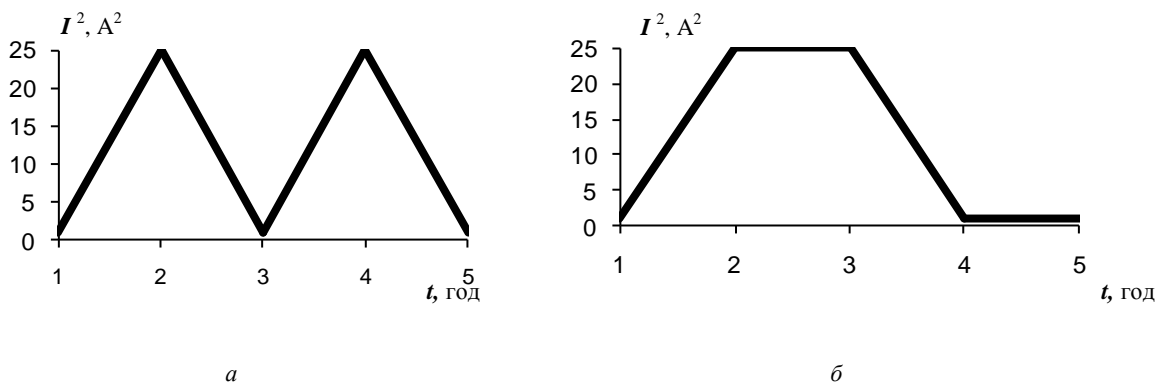


Рис. 2: а — графік 1; б — графік 2

Під час розрахунку навантажувальних втрат за допомогою морфометричного підходу формула (1) набуде такого вигляду:

$$\Delta W_{\text{н}} = I_{\text{меф}}^2 \cdot R_e T = \left(\sqrt{\frac{S_{\text{ГЕН}^2}}{T}} \right)^2 R_e T = \frac{S_{\text{ГЕН}^2}}{T} R_e T = S_{\text{ГЕН}^2} R_e. \quad (3)$$

Величину \hat{E}_δ можна визначити таким чином:

$$K_\phi = \frac{I_{\text{меф}}}{I_c} = \sqrt{\frac{S_{\text{ГЕН}^2}}{T}} \frac{T}{S_{\text{ГЕН}}} = \sqrt{T} \frac{\sqrt{S_{\text{ГЕН}^2}}}{S_{\text{ГЕН}}}. \quad (4)$$

Розрахуємо ефективний струм за допомогою морфометричного підходу $I_{\text{меф}}$ та втрати енергії $\Delta W_{\text{н}}$. Результати розрахунків внесемо в табл. 5.

Таблиця 5

Розрахунок втрат на основі морфометричного підходу

Показники	$I_c, \text{ A}$	$I_{\text{меф}}, \text{ A}$	K_ϕ	$\Delta W_{\text{н}}, \text{ Вт}$
графік 1	2,6	3,214	1,24	41,32
графік 2	2,6	3,415	1,31	46,65

Визначимо абсолютну та відносну похибки розрахунку струмів і втрат відносно розрахунків ефективного струму $\Delta_I = I_{\text{розрах}} - I_{\text{еф}}$, $\Delta_W = \Delta W_{\text{розрах}} - \Delta W_{\text{еф}}$, $\delta_I = \frac{\Delta}{I_{\text{еф}}}$, $\delta_W = \frac{\Delta}{\Delta W_{\text{еф}}}$, де

$I_{\text{розрах}}$, $\Delta W_{\text{розрах}}$ — струм і втрати потужності розраховані через середньоквадратичне значення та на основі морфометричного підходу. Результати запишемо в табл. 6.

Таблиця 6

Похибки розрахунку

Показники	Δ_I (струм, А)	δ_I (струм, %)	Δ_W (втрати, Вт)	δ_W (втрати, %)
Графік 1				
Середньоквадратичні	> 0,009	0,28	> 1,05	2,54
Морфометрія	> 0,001	0,03	> 0,03	0,07
Графік 2				
Середньоквадратичні	> 0,201	5,86	> 4,28	9,16
Морфометрія	> 0,001	0,03	> 0,03	0,06

Висновки

Вищенаведене свідчить про значне підвищення точності розрахунку у разі використання морфометричних методів порівняно з середньоквадратичною оцінкою для проаналізованих випадків у відповідності з табл. 6.

Зазначимо, що точність середньоквадратичної оцінки може бути суттєво підвищена і фактично дорівнювати точності розрахунків морфометричного підходу. Досягнути цього можна інтерполяцією проміжних значень та збільшенням кількості точок розрахунку середньоквадратичного струму в десятки тисяч разів.

Разом з тим, розрахунки середньоквадратичних струмів з такою точністю потребуватимуть значного використання комп'ютерного часу і значно складніших алгоритмів. На відміну від них, розрахунок, зроблений на основі аналізу зображень, зводиться до обчислення суми пікселів графіка і може здійснюватись в режимі реального часу для оцінки експлуатаційних режимів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Железко Ю. С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю. С. Железко, А. В. Артемьев, О. В. Савченко. — М. : изд-во НЦ ЭНАС, 2002. — 280 с.
2. Методичні вказівки з аналізу технологічних витрат електроенергії та вибору заходів щодо їх зниження : ГНД 34.09.204-2004 : Зат. Міністерством палива та енергетики України 09.06.2004: Термін дії встановлений з 09.06.2004 до 09.06.2009. — К., 2004. — 159 с. — (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
3. Методика складання структури балансу електроенергії в електричних мережах 0,38—150 кВ, аналізу його складових і нормування технологічних витрат електроенергії: ГНД 34.09.104-2003: Зат. Міністерством палива та енергетики України. — К., 2004. — 115 с.
4. Волобринский С. Д. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С. Д. Волобринский, Г. М. Каялов и др. — М.-Л. : Энергия, 1964. — 154 с.
5. Демов О. Д. Морфометрична оцінка графіка електричних навантажень / О. Д. Демов, Н. В. Коменда, Т. І. Коменда // Промелектро. — 2008. — № 4. — С. 22—25.
6. Демов О. Д. Морфометрія графіка електричних навантажень / О. Д. Демов, Н. В. Коменда, Т. І. Коменда // Енергетика та електрифікація. — 2009. — № 8. — С. 59—62.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 10.10.11
Рекомендована до друку 15.11.11

Коменда Тарас Іванович — доцент, **Коменда Наталія Володимирівна** — асистент.

Кафедра електропостачання, Луцький національний технічний університет, Луцьк