

Т. І. Коенда<sup>1</sup>  
 Н. В. Коенда<sup>1</sup>  
 Л. В. Давиденко<sup>1</sup>

## ОКРУГЛІСТЬ, КОМПАКТНІСТЬ ТА ВИДОВЖЕННЯ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

<sup>1</sup>Луцький національний технічний університет

*Здійснений детальний аналіз морфометричних показників нерівномірності (округлості, компактності та видовження) графіків електричного навантаження. Наведено декілька прикладів їх спрощеного розрахунку на основі використання правильних багатокутників, які є примітивним відображенням графіків електричного навантаження. Вказано, що для розрахунку морфометричних показників нерівномірності навантажень систем електропостачання необхідно використовувати розроблене програмне забезпечення.*

**Ключові слова:** видовження, графік електричних навантажень, компактність, морфометрія, округлість.

### Вступ та постановка задачі

Добова нерівномірність навантаження негативно впливає на процес виробництва, передачі та розподілу електричної енергії [1—7]. Процес вирівнювання навантаження є складним і тісно пов'язаним з привнесенням змін у технологічний процес. Вирівнювання є операцією, що повинна бути детально обґрунтованою, виваженою та спиратись на ретельний розрахунок та аналіз нерівномірності.

В [1—7] показано, що використання морфометричного апарату для аналізу нерівномірності має низку переваг і дозволяє здійснити комплексну і детальну оцінку форми графіків електричного навантаження (ГЕН). На жаль, в цих роботах відсутній ґрунтовний опис теоретичної основи кожного із запропонованих морфометричних показників. В цій статті автори намагаються усунути такий недолік та, за можливостю, детально охарактеризувати — *Округлість*, *Компактність* та *Видовження* ГЕН ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ).

Таким чином, *метою дослідження* є детальна характеристика морфометричних показників *Округлість*, *Компактність*, *Видовження* ГЕН та виявлення можливостей їхнього застосування в аналізі нерівномірності ГЕН.

### Матеріали дослідження

У відповідності зі визначенням [1—7] *Округлість* ( $M_1$ ) — оцінює співвідношення між мінімальним та максимальним навантаженням, характеризуючи екстремуми процесу добового споживання електричної енергії.

Для використання морфометричних показників в процесі аналізу нерівномірності необхідно привести ГЕН до вигляду діаграми радарного типу (ДРТ), що має вигляд багатокутника. Відстань до кожної точки діаграми від початку координат відповідає споживанню електроенергії в певний момент часу. В роботах [1, 7] наведено приклади такого приведення. Приклад ДРТ показано на рис. 1.

*Округлість* ( $M_1$ ) визначається як відношення радіуса вписаного кола ДРТ до радіуса його описаного кола (див. рис. 1), центри кіл збігаються з центром ваги ДРТ

$$M_1 = \frac{R_{\min}}{R_{\max}}. \quad (1)$$

Зміщення центра ваги ДРТ  $x_{ц}$ ,  $y_{ц}$  відносно центра координат  $x_0$ ,  $y_0$  характеризує нерівномірність ГЕН, оскільки, коли ДРТ має форму кола (при рівномірному споживанні), то координати центра ваги і центра координат збігаються, в іншому випадку має місце зміщення координат центра ваги  $x_{ц}$ ,  $y_{ц}$  відносно центру координат  $x_0$ ,  $y_0$  —  $d$ , що зростає з ростом нерівномірності (рис. 1),

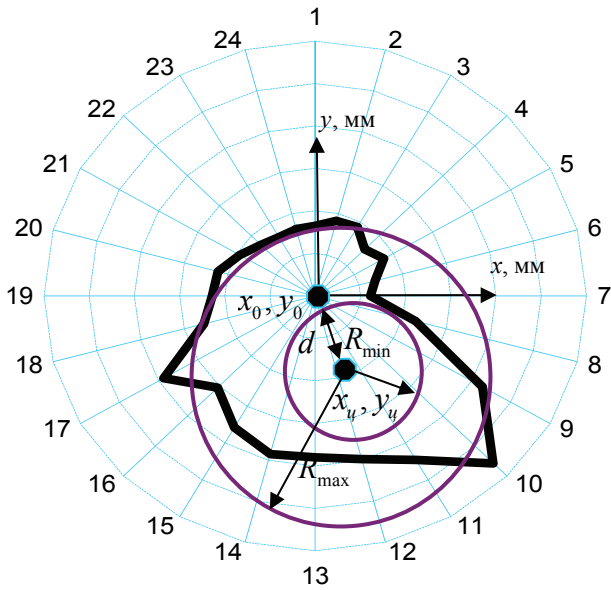


Рис. 1. Округлість ДРТ:  $R_{\min}$  — радіус вписаного кола ДРТ;  $R_{\max}$  — радіус описаного кола ДРТ

Як видно з рис. 2, характеристика  $M_1$  надає детальну характеристику нерівномірності, що має певну аналогію з  $K_n$ , але на відміну від  $K_n$  характеристика  $M_1$  є інтегральною, оскільки враховує не тільки одне мінімальне та максимальне значення, а їх множину зумовлену нерівномірністю ГЕН, оскільки координати центра вписаного та описаного кіл зміщені на величину  $d$ , що є мірою нерівномірності ДРТ, а радіуси кіл обмежені мінімальним та, відповідно, максимальним значенням радіусів, проведених з центра ваги фігури ДРТ.

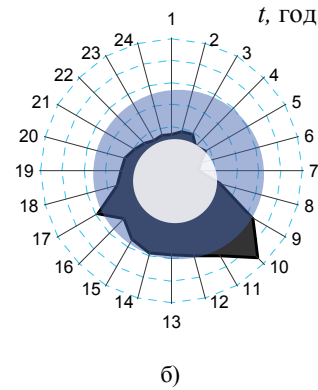
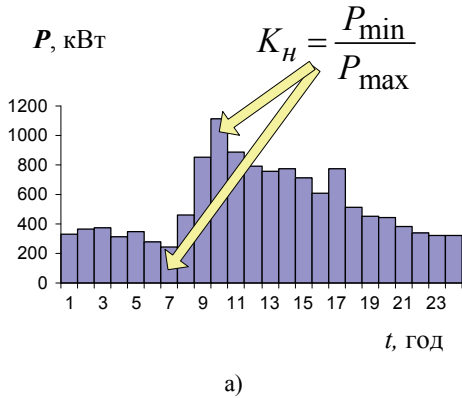


Рис. 2. Оцінювання ГЕН: а — на основі визначення  $K_n$ ; б — на основі визначення  $M_1$

Довільність форми ДРТ ускладнює розрахунок  $R_{\min}$  та  $R_{\max}$  і внаслідок цього приховує низку переваг цього параметра. З метою спрощення аналізу  $M_1$  розглянемо частковий приклад ДРТ у вигляді правильного багатокутника, тобто багатокутника, у якого всі кути і всі сторони рівні між собою. На рис. 3, як приклад, показано правильний семикутник.

Як відомо з [8], якщо  $R_{\min} = R_{\max} \cos\left(\frac{\pi}{n}\right)$ , то  $\frac{R_{\min}}{R_{\max}} = \cos\left(\frac{\pi}{n}\right)$ , і, відповідно,  $M_1 = \cos\left(\frac{\pi}{n}\right)$ . Тобто для багатокутника правильної форми формула округлості спрощується до такого вигляду:

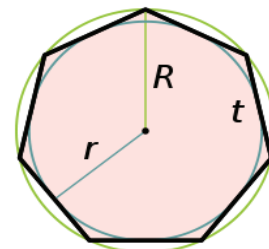


Рис. 3. Правильний семикутник:  $R = R_{\max}$  — радіус описаного кола,  $r = R_{\min}$  — радіус вписаного кола,  $t$  — довжина ребра семикутника,  $n = 7$  (кількість ребер багатокутника)

$$d = \sqrt{(x_0 - x_u)^2 + (y_0 - y_u)^2} \quad (2)$$

Координати центра ваги ДРТ [7]

$$\left\{ \begin{aligned} x_{\text{ц}} &= \frac{\sum_{i=2}^{24} \left( \frac{x_i - x_{i-1}}{2(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)} \right)}{1,5 \sum_{i=1}^{24} (x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)}; \\ y_{\text{ц}} &= \frac{\sum_{i=2}^{24} \left( \frac{y_i - y_{i-1}}{2(x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)} \right)}{1,5 \sum_{i=1}^{24} (x_i y_{i-1} - x_{i-1} y_i)}. \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Зі зменшенням нерівномірності відбувається наближення форми ДРТ до кола та  $d \rightarrow 0$ . Тобто,  $d$  є мірою нерівномірності ДРТ, що реагує на будь-які піки чи провали ГЕН.

Якщо  $R_{\min} < R_{\max}$ , то  $M_1 \rightarrow 0$ . Якщо  $R_{\min} \approx R_{\max}$ , то  $M_1 \rightarrow 1$ .

$$M_1 = \cos\left(\frac{\pi}{n}\right). \tag{4}$$

Оскільки  $n > 2$  (фігура є багатокутником), то аргумент косинуса завжди буде додатним і буде змінюватись в межах  $\left(0; \frac{\pi}{2}\right)$ .

Цей аргумент відображає форму фігури, а функція  $M_1$  — значення нерівномірності. На рис. 4. показано графік функції  $M_1 = \cos\left(\frac{\pi}{n}\right)$

на ділянці  $n \in [2; 20]$ .

Розглянемо найпростіші випадки розрахунку округлості для правильних багатокутників. Результати розрахунків  $M_1$  зведемо в табл. 1.

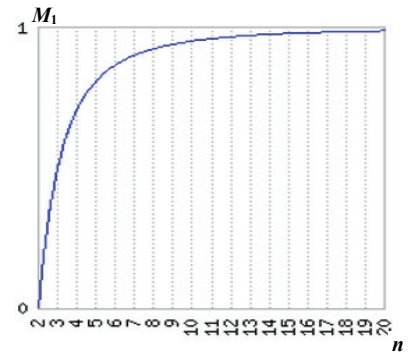


Рис. 4. Графік функції  $M_1 = \cos\left(\frac{\pi}{n}\right)$ ,  $n \in [2; 20]$

Таблиця 1

Розрахунок  $M_1$  для найпростіших правильних багатокутників

Кількість ребер	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$	$n = 10$	$n = 12$
Форма багатокутника								
$\frac{\pi}{n}$	1,05	0,79	0,63	0,52	0,45	0,39	0,31	0,26
$M_1 = \cos\left(\frac{\pi}{n}\right)$	0,5	0,7	0,81	0,87	0,9	0,92	0,95	0,97
$M'_1 = -\sin\left(\frac{\pi}{n}\right)$	-0,86	-0,7	-0,59	-0,5	-0,43	-0,38	-0,3	-0,26

З графіка 4 та з розрахунків таблиці 1 видно, що значення  $M_1$  зростає до одиниці, якщо  $n \rightarrow \infty$  (чи  $\frac{\pi}{n} \rightarrow 0$ ). З ростом  $n \rightarrow \infty$  форма багатокутника наближається до форми кола, для якого  $M_1 = 1$ , що неодноразово засвідчувалось в роботах [1—7]. В останньому рядку табл. 1 розраховано похідну, що відображає швидкість зміни функції  $M_1 = \cos\left(\frac{\pi}{n}\right)$  в певній точці і показує стрімке зростання зі зміною від малих значень  $n$  до більших та сповільнене зростання зі зміною від більших до максимальних значень  $n$ , що підтверджує вигляд графіка 4.

За допомогою функції (5) можна визначити кількість ребер (та характер нерівномірності) правильного багатокутника за відомого значення його округлості  $M_1$

$$n = \frac{\pi}{\arccos(M_1)}. \tag{5}$$

Розглянемо елементарний приклад. Нехай є два споживача електричної енергії. Один з них має графік, що відповідає  $n = 8$  (сьомий стовпчик в таблиці 1), другий — графік, що відповідає  $n = 7$  (шостий стовпчик в таблиці 1). Необхідно знайти нерівномірність сумарного навантаження у вузлі, що живить два вищезгаданих споживача та форму графіка, за умови, що при додаванні форм піки не будуть накладатись та створять правильний багатокутник.

У відповідності до табл. 1, значення округлості ДРТ для першого споживача —  $M_1 = \cos\left(\frac{\pi}{8}\right) = 0,92$ , для другого споживача —  $M_1 = \cos\left(\frac{\pi}{7}\right) = 0,9$ . Знайдемо форму сумарного навантаження у вузлі:  $n = 8 + 7 = 15$ . Фігура буде правильним багатокутником, що має п'ятнадцять ребер. Обчислимо нерівномірність сумарного навантаження у вузлі:  $M_1 = \cos\left(\frac{\pi}{n}\right) = \cos\left(\frac{\pi}{15}\right) = 0,98$ .

Тобто, у вузлі ми отримали значно рівномірнішу форму ГЕН (округлість зросла), що є справедливим за таких умов задачі.

Розглянемо інший приклад. Нехай є два споживача електричної енергії та вузол їх живлення. Один зі споживачів має графік, що відповідає  $n = 3$  (другий стовпчик в табл. 1), вузол живлення має графік, що відповідає  $n = 10$  (третій стовпчик в табл. 1). Необхідно знайти форму ГЕН другого споживача електричної енергії, за умови, що при додаванні форм піки не накладаються та створюють правильний багатокутник.

У відповідності до табл. 1, значення округлості ДРТ для першого споживача —  $M_1 = \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) = 0,5$ , для вузла навантаження —  $M_1 = \cos\left(\frac{\pi}{10}\right) = 0,95$ . Знайдемо форму навантаження другого споживача:  $n = 10 - 3 = 7$ . Фігура буде правильним багатокутником, що має сім ребер. Обчислимо нерівномірність сумарного навантаження другого споживача:  $M_1 = \cos\left(\frac{\pi}{n}\right) = \cos\left(\frac{\pi}{7}\right) = 0,9$ .

Тобто форма ГЕН другого споживача є менш рівномірною (округлість зменшилась), що є справедливим за цих умов задачі.

Ці приклади описують дуже спрощений підхід до розрахунку округлості ГЕН і можуть використовуватись лише з метою аналізу самої округлості. Для аналізу нерівномірності реальних ГЕН доцільно скористатись розробленим авторами програмним забезпеченням, що розраховує округлість на основі формули (1) для будь-яких форм ГЕН.

*Компактність* (стисненість, нерозрихленість) ( $M_2$ ) визначається як відношення між площею ДРТ (рис. 5) і квадратом її периметра [1—7]

$$M_2 = \frac{4\pi S}{\Pi^2} \tag{6}$$

В умовах значної нерівномірності ДРТ величина  $\Pi$  значно зростає за фактично незмінної величини  $S$  і, відповідно,  $M_2 \rightarrow 0$ . При рівномірному ГЕН ДРТ є колом, для якого  $S = \pi R^2$ , а  $\Pi = 2\pi R$ . Підставивши ці величини у формулу (6), отримуємо:

$$M_2 = \frac{4 \cdot \pi \cdot \pi \cdot R^2}{(2\pi R)^2} = \frac{4\pi^2 R^2}{4\pi^2 R^2} = 1.$$

Довільність форми ДРТ ускладнює розрахунок  $\Pi$  та  $S$  і внаслідок цього приховує низку переваг цього параметра. З метою спрощення аналізу  $M_2$  розглянемо частковий приклад ДРТ у вигляді правильного багатокутника, тобто багатокутника, у якого всі кути і всі сторони рівні між собою (рис. 6).

Здійснимо перетворення формули (6) на основі відомих тригонометричних формул для правильних багатокутників.

Як відомо з [8]  $S = \frac{\Pi}{2} R_{\min}$ , то

$$M_2 = \frac{4\pi S}{\Pi^2} = \frac{4\pi \frac{\Pi}{2} R_{\min}}{\Pi^2} = \frac{2\pi R_{\min}}{\Pi} \tag{7}$$

При рівномірному ГЕН діаграма радарного типу є колом, для якого  $\Pi = 2\pi R$ , а  $R = R_{\max} = R_{\min}$ . Внаслідок цього і  $M_2 = 1$ .

Як відомо з [8] для правильних багатокутників  $R_{\min} = \frac{a}{2\text{tg}(\pi/n)}$ ;  $\Pi = na$ , де  $n$  — кількість ребер багатокутника, а  $a$  — довжина ребра правильного багатокутника. Підставимо ці вирази в (7).

$$M_2 = \frac{2\pi R_{\min}}{\Pi} = \frac{2\pi \frac{a}{2\text{tg}(\pi/n)}}{na} = 2\pi \frac{a}{2\text{tg}(\pi/n)} \cdot \frac{1}{na} = \frac{\pi}{n \text{tg}(\pi/n)} = \frac{\pi}{n} \text{ctg}(\pi/n) \tag{8}$$

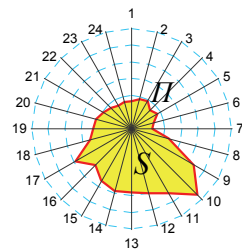


Рис. 5. Діаграма радарного типу ГЕН

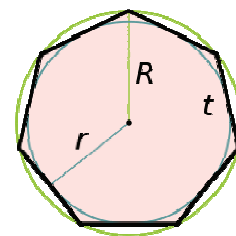


Рис. 6. Правильний семикутник:  
 $R = R_{\max}$  — радіус описаного кола,  $r = R_{\min}$  — радіус вписаного кола,  $t$  — довжина ребра семикутника,  $n = 7$  (кількість ребер багатокутника)

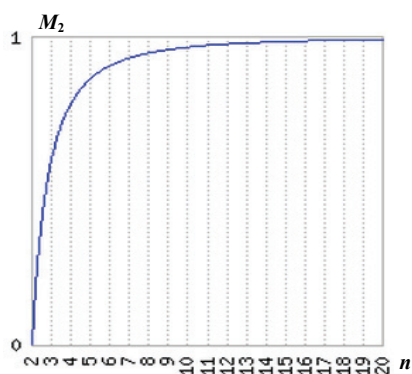


Рис. 7. Графік функції  $M_2 = \frac{\pi}{n} \operatorname{ctg}(\pi/n)$  на ділянці  $n \in 2[0; 20]$

Тобто для багатокутника правильної форми формула компактності спрощується до вигляду

$$M_2 = \frac{\pi}{n} \operatorname{ctg}(\pi/n). \quad (9)$$

Оскільки  $n > 2$  (фігура є багатокутником), то аргумент косинуса завжди буде додатним і буде змінюватись в межах  $(0; \frac{\pi}{2})$ . Цей аргумент відображає форму фігури, а функція  $M_2$  — значення нерівномірності. На рис. 7 показано графік функції  $M_2 = \frac{\pi}{n} \operatorname{ctg}(\pi/n)$  на ділянці  $n \in 2[0; 20]$ .

Розглянемо найпростіші випадки розрахунку округлості для правильних багатокутників. Результати розрахунків  $M_2$  зведемо в табл. 2.

Таблиця 2

Розрахунок  $M_2$  для найпростіших правильних багатокутників

Кількість ребер	$n = 3$	$n = 4$	$n = 5$	$n = 6$	$n = 7$	$n = 8$	$n = 10$	$n = 12$
Форма багатокутника								
$\pi/n$	1,05	0,79	0,63	0,52	0,45	0,39	0,31	0,26
$M_2 = \frac{\pi}{n} \operatorname{ctg}(\pi/n)$	0,5	0,7	0,81	0,87	0,9	0,92	0,95	0,97
$M'_2 = -\sin(\pi/n)$	-0,86	-0,7	-0,59	-0,5	-0,43	-0,38	-0,3	-0,26

З графіка 7 та з розрахунків таблиці 2 видно, що значення  $M_2$  зростає до одиниці, якщо  $n \rightarrow \infty$  (чи  $\frac{\pi}{n} \rightarrow 0$ ). З ростом  $n \rightarrow \infty$  форма багатокутника наближається до форми кола, для якого  $M_2 = 1$ , що неодноразово засвідчувалось в роботах [1—7]. Крім цього, з графіка 7 та з останнього рядка табл. 2, де розраховано похідну, що відображає швидкість зміни функції  $M_2 = \frac{\pi}{n} \operatorname{ctg}(\pi/n)$  в цій точці видно стрімке зростання зі зміною від малих значень  $n$  до більших та сповільнене зростання зі зміною від більших до максимальних значень  $n$ .

За допомогою функції (5) можна визначити кількість ребер (та характер нерівномірності) правильного багатокутника за відомого значення його округлості  $M_2$

$$n = \frac{\pi}{\operatorname{arcctg}(M_2 \cdot \pi/n)}. \quad (10)$$

Слід зауважити, що через трансцендентність  $M_2 = (\pi/n) \cdot \operatorname{ctg}(\pi/n)$  важко знайти алгебраїчне перетворення до вигляду  $n = f(x)$ , але графік функції чи визначення її значень за допомогою комп'ютерних засобів дозволяє легко віднайти шукане значення  $n$ .

*Видовження ( $M_3$ )* визначається як відношення між значенням довжини перпендикуляра до головної осі діаграми ( $L_2$ ) та значенням довжини головної осі діаграми ( $L_1$ ), рис. 8. Головна вісь визначається як найдовша вісь, що проходить через центр ваги ДРТ ( $x_{ц}, y_{ц}$ ) — (3):

$$M_3 = \frac{L_2}{L_1}. \quad (11)$$

Якщо  $L_2 < L_1$ , то  $M_3 \rightarrow 0$ . Якщо  $L_2 \approx L_1$ , то  $M_3 \rightarrow 1$ .

На основі аналізу кута  $\alpha$  можна визначити підприємства, пік навантаження яких збігається з

піком навантаженням енергосистеми. У відповідності з [7] 1 година складає  $360/24 = 15^\circ$  повороту основної осі ДРТ.

В загальному випадку, час зміщення пікового навантаження відносно сьомої години ранку можна визначити за співвідношенням

$$t = \frac{\alpha}{15}, \tag{12}$$

де  $\alpha$  — кут осей видовження.

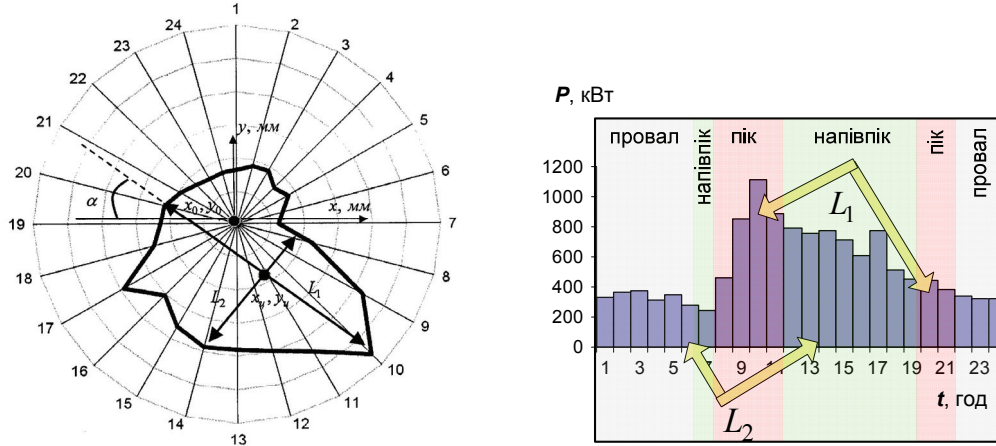


Рис. 8. Видовження ГЕН

Якщо  $t \in [1,4] \vee t \in [13,15]$  — наявне пікове навантаження в години пік енергосистеми. Якщо  $t \in [16,24]$  — наявне пікове навантаження в години нічного провалу енергосистеми. В інших випадках наявне пікове навантаження в години напівпіку енергосистеми.

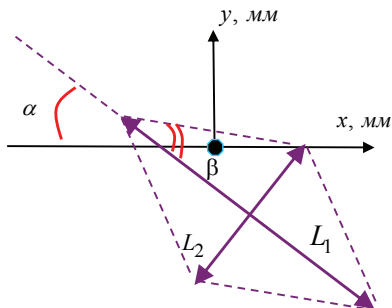


Рис. 9. Спрощене зображення параметрів видовження ГЕН у вигляді параметрів ромба

Для детального дослідження видовження сформуємо осі видовження таким чином, щоб вони сформували просту геометричну фігуру (ромб), рис. 9.

Перетин осей та сторін ромба формує чотири прямокутних трикутника. Знайдемо кут  $\beta$ , виразивши його через довжини осей:

$$\tan \beta = \frac{L_2/2}{L_1/2} = \frac{L_2}{L_1}. \tag{13}$$

Взявши до уваги формулу (11), отримаємо:

$$\tan \beta = M_3. \tag{14}$$

З рис. 9 видно, що з ростом кута  $\beta$ , буде зростати і  $L_2$

та  $\tan \beta = M_3$ . Це свідчить про тангенціальну форму функції  $M_3 = \tan(\beta)$  на ділянці  $\beta \in \left(0; \frac{\pi}{4}\right)$ , що відповідає  $L_2 < L_1$ , то  $M_3 \rightarrow 0$ . Якщо  $L_2 \approx L_1$ , то  $M_3 \rightarrow 1$ , що неодноразово засвідчувалось в роботах [1—7], рис. 10.

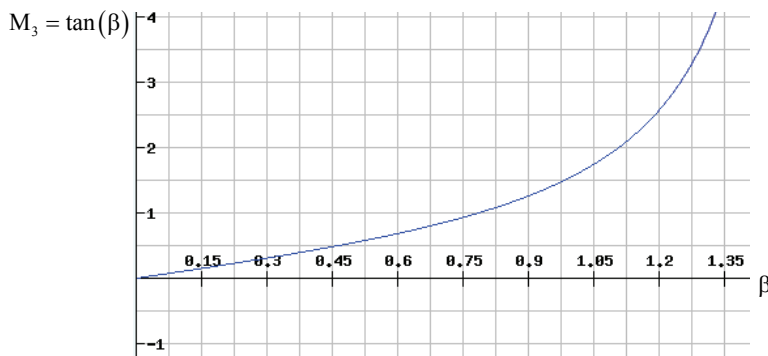


Рис. 10. Графік видовження

Розглянемо найпростіші випадки розрахунку видовження. Результати розрахунків  $M_3$  зведемо в табл. 3.

Таблиця 3

Розрахунок  $M_3$  для найпростіших правильних багатокутників

$\beta$	5,63°	6,43°	7,5°	9°	11,25°	15°	22,5°	45°
$\tan \beta = M_3$	0,10	0,11	0,13	0,16	0,20	0,27	0,41	1,00
$M'_3 = \frac{1}{\cos^2 \beta}$	1,01	1,01	1,02	1,03	1,04	1,07	1,17	2,00

З графіка рис. 10 та з розрахунків таблиці 3 видно, що значення  $M_3$  зростає до одиниці зі збільшенням кута  $\beta$  до 45°. З рис. 10 випливає, що коли  $\beta = 45^\circ$ , то загальний кут, який ділиться основною віссю як бісектрисою, і рівний  $2\beta$ , складе  $90^\circ$ . Якщо цей кут буде рівним  $90^\circ$ , то це зумовить  $L_2 = L_1$  і  $M_3 = 1$ .

В останньому рядку табл. 3 розраховано похідну, що відображає швидкість зміни функції  $M'_3 = \frac{1}{\cos^2 \beta}$  в цій точці і показує сповільнене зростання за зміни від малих значень до більших та стрімке зростання за зміни від більших до максимальних значень, що підтверджує вигляд графіка 10.

### Висновки

1. Округлість, компактність, видовження та аналіз зміщення центру ваги діаграми радарного типу дозволяють здійснити детальний розрахунок нерівномірності форми ГЕН.

2. Значення округлості формують косинусоїду (при спрощеному розгляді ДРТ в якості правильного багатокутника)  $M_1 = \cos(x)$  на ділянці  $x \in \left(0; \frac{\pi}{2}\right)$ , що показує стрімке зростання за зміни від малих значень кількості ребер правильного багатокутника до більших та сповільнене зростання за зміни від більших до максимальних значень кількості ребер правильного багатокутника.

3. Значення компактності створює графік, що стрімко зростає від нуля до одиниці та має форму наближену до логарифмічної (у разі спрощеного розгляду ДРТ в якості правильного багатокутника) на ділянці  $x \in \left(0; \frac{\pi}{2}\right)$ .

4. Значення видовження формують графік, що показує сповільнене зростання за зміни від малих значень до більших та стрімке зростання за зміни від більших до максимальних значень та має тангенціальну форму (у разі спрощеного розгляду ДРТ в якості правильного багатокутника) на ділянці  $\beta \in \left(0; \frac{\pi}{4}\right)$ .

5. Розрахунок та використання морфометричних параметрів для аналізу будь-яких форм ГЕН є складним процесом, що вимагає використання розробленого програмного забезпечення.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Komenda T. Morphometrical analysis of daily load graphs [Електронний ресурс] / T. Komenda, N. Komenda // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. — November 2012. — Vol. 42, Issue 1. — P. 721—727. — Режим доступу : <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbr.2011.03.031>

2. Коменда Н. В. Морфометричний розрахунок навантажувальних втрат електроенергії / Н. В. Коменда, Т. І. Коменда // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2011. — № 6. — С. 110—113.

3. Коменда Н. В. Морфометрична оцінка та критерій рівномірності графіка електричних навантажень / Н. В. Коменда // Вісн. нац. ун-ту «Львівська політехніка». — 2010. — № 666. — С. 42—46. — (Електроенергетичні та електромеханічні системи).

4. Коменда Н. В. Морфометрична класифікація графіків електричного навантаження промислових підприємств / Н. В. Коменда // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2011. — № 1. — С. 67—70.

5. Коменда Н. В. Пошук споживачів-регуляторів на основі морфометричного підходу при управлінні добовим навантаженням промислового підприємства / Н. В. Коменда, Т. І. Коменда, О. Д. Демов // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. — 2010. — № 27. — С. 22—26.

6. Демов О. Д. Морфометрична оцінка графіка електричних навантажень / О. Д. Демов, Н. В. Коменда, Т. І. Коменда // Промелектро. — 2008. — № 4. — С. 22—25.

7. Демов О. Д. Морфометрія графіка електричних навантажень / О. Д. Демов, Т. І. Коменда, Н. В. Коменда // Енергетика та електрифікація. — 2009. — № 8. — С. 59—62.
8. Данко П. Е. Высшая математика в упражнениях и задачах / П. Е. Данко, А. Г. Попов, Т. Я. Кожевникова. — М. : Оникс 21 век Мир и образование, 2007. — 416 с. (Ч. 2).
9. Мордкович А. Г. Математика : полный справочник / А. Г. Мордкович, В. И. Глинзбург, Н. Ю. Лаврентьева. — М. : АСТ : Астрель, 2010. — 351 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій і систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 11.01.2016

**Коменда Тарас Іванович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електропостачання;  
**Коменда Наталія Володимирівна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електропостачання, e-mail: nvkomenda@gmail.com;  
**Давиденко Людмила Валеріївна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електропостачання.  
 Луцький національний технічний університет, м. Луцьк

**T. I. Komenda<sup>1</sup>**  
**N. V. Komenda<sup>1</sup>**  
**L. V. Davydenko<sup>1</sup>**

## Roundness, Compactness and Elongation of Electrical Load Graphics

<sup>1</sup>Lutsk National Technical University

*A detailed analysis of electrical loads graphs (ELG) roundness, compactness and elongation for the analysis of their non-uniformity has been done. Few examples based on the using of regular polygons that represent simplified ELG have been shown. It is stated that for calculation the morphometric parameters of power system nodes it is necessary to use developed software package.*

**Keywords:** compactness, daily load graph, morphometry.

**Komenda Taras I.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Power Systems;  
**Komenda Natalia V.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Power Systems, e-mail: nvkomenda@gmail.com;  
**Davydenko Liudmyla V.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant professor, Assistant Professor of the Chair of Power Systems

**Т. І. Коменда<sup>1</sup>**  
**Н. В. Коменда<sup>1</sup>**  
**Л. В. Давыденко<sup>1</sup>**

## Округлость, компактность и удлинение графиков электрической нагрузки

<sup>1</sup>Луцкий национальный технический университет

*Проведен детальный анализ округлости, компактности и удлинения графиков электрической нагрузки (ГЭН) для анализа их неравномерности. Приведено несколько примеров на основе использования правильных многоугольников, которые упрощенно отражают ГЭН. Указано, что для расчета морфометрических показателей неравномерности нагрузок систем электроснабжения необходимо использовать разработанное программное обеспечение.*

**Ключевые слова:** удлинение, график электрических нагрузок, компактность, морфометрия, округлость.

**Коменда Тарас Іванович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електропостачання;  
**Коменда Наталія Володимирівна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електропостачання, e-mail: nvkomenda@gmail.com;  
**Давыденко Людмила Валеріївна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електропостачання