

УДК 621.316.1

ВПЛИВ НЕРІВНОМІРНОСТІ ДОБОВИХ ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕННЯ НА ВТРАТИ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Жоров В.І. , к.т.н.

Національний науковий центр "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства"

Тел. (04471) 3-11-00

Анотація – отримані аналітичні залежності втрат в функції величини поточних відхилень навантаження, визначено резерв зниження втрат від переходу на вирівняний графік навантаження.

Ключові слова – графік навантаження, нерівномірність, втрати енергії, розрахунок, зниження втрат.

Постановка проблеми. Серед чинників, які впливають на втрати електроенергії в мережах і за рахунок поліпшення яких ці втрати можна зменшити, лише вирівнювання добових графіків навантаження споживачів не отримало належної кількісної оцінки. В кращому разі ефект від вирівнювання графіку розглядається на окремих прикладах, що не дає підстав поширювати результати розгляду на інші випадки. По суті фактом є те, що не розроблено загальної методики визначення втрат енергії в залежності від нерівномірності навантаження, що в кінцевому підсумку утруднює обґрунтування заходів щодо вирівнювання графіка навантажень.

Аналіз останніх досліджень. Серед причин високих втрат енергії в сільських електромережах названо добову нерівномірність режимів споживання електричної енергії [1]. Висвітлюється значна нерівномірність навантаження сільських виробничих та комунально-побутових споживачів, однак вплив цієї нерівномірності на величину втрат енергії кількісно не оцінюється. В роботі [2], така оцінка дана лише для окремого випадку нерівномірності погодинних навантажень.

Формулювання мети. Провести узагальнений аналіз зв'язку між нерівномірністю добових графіків навантаження та величиною втрат електроенергії в мережі та визначити резерв зниження втрат енергії, який може бути реалізованим в результаті переведення виробничих споживачів з типового на ідеально вирівняний графік навантаження.

Основна частина. Для прикладу розглянемо в якості споживача

електроенергії пташник. У першому варіанті опалення виконується електрокалорифером без акумуляції теплової енергії. У другому застосовано споживач-регулятор у вигляді касети із крупним щебенем, через яку проганяється припливне повітря. У першому варіанті електрокалорифер ввімкнений на протязі всієї доби для роботи в автоматичному режимі. У другому варіанті електронагрівачі щебеню ввімкнені тільки в періоди спадів навантаження, а під час його зростання необхідне тепло надходить із нагрітого щебеню. Отже, за варіантом 2 графік навантаження більш рівномірний. Необхідно впевнитись в тому, що за варіантом 2 втрати енергії в електромережі нижчі, ніж за варіантом 1.

Припускаємо, що в обох варіантах добове споживання енергії практично однакове. Адже в обох варіантах електроприводам необхідно виконати однаковий обсяг роботи, електрокалориферу – подати однакову кількість тепла, а установкам для опромінювання птиці та освітлення приміщення – однакову кількість променевої енергії. З однаковості добового споживання енергії у розглянутих варіантах випливає рівність середньодобової потужності

$$S_{1\text{ ср.доб}} = S_{2\text{ ср.доб}} = S_{\text{ср.доб}} \quad (1)$$

Припустимо, що робота опалювальної установки за другим варіантом запрограмована так, що забезпечується стале навантаження на трансформаторну підстанцію на протязі всієї доби, тобто реалізується ідеально вирівняний графік навантаження. Тоді споживання потужності в цьому варіанті не залежить від часу і знаходиться за формулою

$$S_2(t) = S_{\text{ср.доб.}} = \text{const}, \quad (2)$$

а добове споживання енергії – за формулою

$$W_{2\text{ доб}} = W_{1\text{ доб}} = 24 \cdot S_{\text{ср.доб.}} \quad (3)$$

Подамо поточне значення потужності, споживаної за першим варіантом, як алгебраїчну суму середньодобового значення та відхилень поточної потужності від середньодобової

$$S_1(t) = S_{\text{ср.доб.}} + \Delta S(t) \quad (4)$$

де $\Delta S(t)$ - алгебраїчне відхилення поточної потужності споживача від середньодобової.

Розділимо праву і ліву частину виразу (2) на $\sqrt{3} \cdot U_n$. Отримаємо

$$I_2(t) = I_{\text{ср.доб.}} = \text{const}, \quad (5)$$

тобто струм, споживаний за другим варіантом, є сталою величиною. Отже добові втрати енергії від протікання цього струму по активних опорах мережі дорівнюють наступному

$$\Delta W_2 = 3 \cdot r \cdot 24 \cdot I_{\text{ср.доб.}}^2 = r \cdot 24 \cdot \frac{S_{\text{ср.доб.}}^2}{U_n^2}, \quad (6)$$

де r – активний опір однієї фази електричної мережі;

U_n – номінальне значення лінійної напруги.

Розділимо на $\sqrt{3} \cdot U_n$ праву і ліву частини виразу (4). Отримаємо

$$I_1(t) \approx I_{\text{ср.доб}} + \Delta I(t), \quad (7)$$

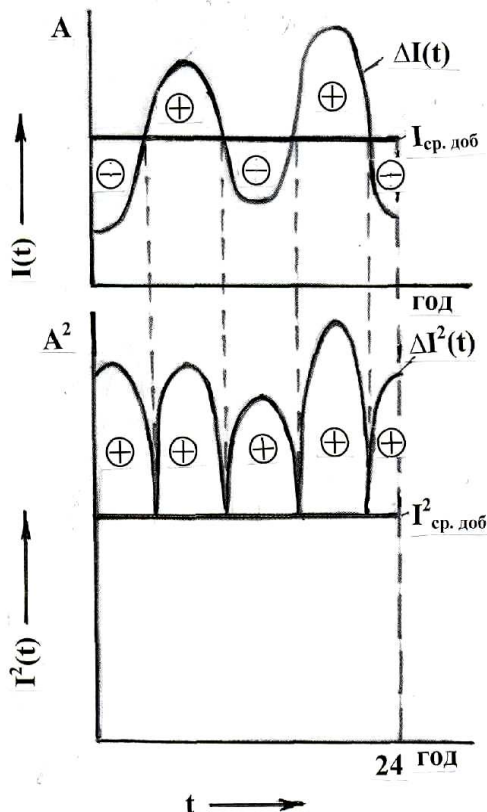
тобто струм, споживаний в кожний поточний момент часу за першим варіантом, дорівнює алгебраїчній сумі середньодобового струму та відхилення поточного від середньодобового. Отже добові втрати енергії від протікання цього струму визначаються наступним чином

$$\begin{aligned} \Delta W_1 = 3 \cdot r \cdot \int_0^{24} I_1^2(t) \cdot dt = 3 \cdot r \cdot \int_0^{24} [I_{\text{ср.доб}} + \Delta I(t)]^2 \cdot dt = 3 \cdot r \cdot 24 \cdot I_{\text{ср.доб}}^2 + \\ + 3 \cdot r \cdot \int_0^{24} \Delta I^2(t) \cdot dt, \end{aligned} \quad (8)$$

оскільки сума відхилень поточних значень від середньодобового дорівнює нулю

$$\int_0^{24} \Delta I(t) \cdot dt = 0. \quad (9)$$

В правій частині виразу (8) перший доданок є однаковим для різних за нерівномірністю графіків навантаження одного й того ж споживача. Другий доданок тим більший, чим більші відхилення поточного струму від середньодобового, тобто чим більш нерівномірним є графік навантаження. Причому знак самого відхилення не має значення (рис.1).



Формулу (8) можна також подати у наступному вигляді

$$\Delta W_1 = r \cdot 24 \cdot \frac{S_{\text{ср.доб}}^2}{U_n^2} + \frac{r}{U_n^2} \cdot \int_0^{24} \Delta S^2(t) \cdot dt, \quad (10)$$

або

$$\Delta W_1 = \Delta W_2 + \frac{r}{U_n^2} \cdot \int_0^{24} \Delta S^2(t) \cdot dt, \quad (11)$$

тобто добові втрати енергії при нерівномірному навантаженні дорівнюють добовим втратам при ідеально рівномірному плюс втрати енергії, обумовлені відхиленням поточної повної потужності від середньодобової.

Скориставшись типовими добовими графіками навантаження сільських виробничих споживачів [3], для червня та грудня, визначимо резерв зниження втрат енергії, який може бути використаний

шляхом вирівнювання цих графіків. Для цього всі поточні погодинні навантаження подамо в табл.1 через погодинні коефіцієнти активного, реактивного та повного навантаження:

$$k_{Pi} = \frac{P_i}{P_{\max}}, \quad (12)$$

$$k_{Qi} = \frac{Q_i}{P_{\max}}, \quad (13)$$

$$k_{Si} = \sqrt{k_{Pi}^2 + k_{Qi}^2}, \quad (14)$$

де k_{Pi} , k_{Qi} , k_{Si} – погодинні коефіцієнти активного, реактивного та повного навантаження, відповідно;

P_i і Q_i – відповідно активне і реактивне поточне погодинне навантаження, визначене з врахуванням коефіцієнта сезонності [3], %;

P_{\max} – річний максимум активного навантаження, $P_{\max} = 100$ %;

i – порядковий номер години доби.

З врахуванням погодинних коефіцієнтів навантажень можна записати

$$S_{\text{ср.добр}}^2 = k_{\text{ср.добр}}^2 \cdot P_{\max}^2, \quad (15)$$

$$\text{де } k_{\text{ср.добр}} = \frac{1}{24} \cdot \sum_{i=1}^{24} k_{Si} \quad (16)$$

$$\int_0^{24} \Delta S^2(t) \cdot dt \cong P_{\max}^2 \cdot \sum_{i=1}^{24} (k_{Si} - k_{\text{ср.добр}})^2 \quad (17)$$

Підставивши у (10) доданки, записані із врахуванням формул (15) – (17), отримаємо формулу для розрахунку втрат енергії зимової чи літньої доби для типового графіка навантаження

$$\Delta W_{\text{мин.добр}} \cong \frac{P_{\max}^2 \cdot r}{U_n^2} \cdot \left(24 \cdot k_{\text{ср.добр}}^2 + \sum_{i=1}^{24} (k_{Si} - k_{\text{ср.добр}})^2 \right) \quad (18)$$

Річні втрати енергії при типовому графіку знаходяться так [3]

$$\Delta W_{\text{мин.річ}} = \Delta W_{\text{мин.добр.зим}} \cdot 185 + \Delta W_{\text{мин.добр.літ}} \cdot 180, \quad (19)$$

де 185 та 180 – розрахункова тривалість зимового та літнього періоду у середніх широтах, діб

Добові втрати енергії при ідеально вирівняному графіку навантаження визначаються у відповідності із першим доданком виразу (18)

$$\Delta W_{\text{ід.добр}} = \frac{P_{\max}^2 \cdot r}{U_n^2} \cdot 24 \cdot k_{\text{ср.добр}}^2 \quad (20)$$

Електроенергія, споживана протягом зимової чи літньої доби, розраховується за такою формулою

$$W_{\text{добр}} = P_{\max} \cdot \sum_{i=1}^{24} k_{Pi} \quad (21)$$

Таблиця 1 - Розрахункові коефіцієнти погодинних навантажень та похідних від них величин для типових добових графіків навантаження сільських виробничих споживачів

Години добы	Пора року							
	Зима				Літо			
	Коефіцієнти навантаження				Коефіцієнти навантаження			
	k_{Pi}	k_{Qi}	k_{Si}	$(k_{Si} - k_{cp.доб})^2$	k_{Pi}	k_{Qi}	k_{Si}	$(k_{Si} - k_{cp.доб})^2$
1	0,35	0,20	0,40	0,1156	0,21	0,14	0,25	0,0676
2	0,35	0,20	0,40	0,1156	0,21	0,14	0,25	0,0676
3	0,35	0,20	0,40	0,1156	0,21	0,14	0,25	0,0676
4	0,35	0,24	0,42	0,1024	0,21	0,14	0,25	0,0676
5	0,45	0,32	0,55	0,0361	0,28	0,19	0,34	0,0289
6	0,50	0,36	0,62	0,0144	0,32	0,22	0,39	0,0144
7	0,60	0,44	0,74	0,0000	0,35	0,30	0,46	0,0025
8	0,65	0,48	0,81	0,0049	0,49	0,38	0,62	0,0121
9	0,75	0,56	0,94	0,0400	0,60	0,50	0,78	0,0729
10	0,90	0,72	1,15	0,1681	0,63	0,52	0,82	0,0961
11	1,00	0,80	1,28	0,2916	0,70	0,55	0,89	0,1444
12	0,85	0,68	1,09	0,1225	0,56	0,47	0,73	0,0484
13	0,60	0,52	0,79	0,0025	0,38	0,33	0,50	0,0001
14	0,70	0,60	0,92	0,0324	0,38	0,33	0,50	0,0001
15	0,75	0,64	0,98	0,0576	0,46	0,38	0,60	0,0081
16	0,75	0,60	0,96	0,0484	0,49	0,41	0,64	0,0169
17	0,70	0,56	0,90	0,0256	0,49	0,41	0,64	0,0169
18	0,65	0,48	0,80	0,0036	0,46	0,36	0,58	0,0049
19	0,60	0,44	0,74	0,0000	0,46	0,36	0,58	0,0049
20	0,60	0,44	0,74	0,0000	0,46	0,33	0,57	0,0036
21	0,55	0,40	0,64	0,0100	0,38	0,28	0,47	0,0016
22	0,50	0,28	0,57	0,0289	0,38	0,28	0,47	0,0016
23	0,45	0,24	0,51	0,0529	0,28	0,16	0,32	0,0361
24	0,35	0,20	0,40	0,1156	0,24	0,16	0,29	0,0484

Добові втрати у відносних одиницях знаходяться шляхом розділення правих частин формул (18) або (20) на праву частину формули (21). Після розділення отримаємо для типового та ідеально вирівняного графіків, відповідно

$$\Delta W_{min.доб}^* \cong \frac{P_{max} \cdot r}{U_n^2 \cdot \sum_{i=1}^{24} k_{Pi}} \cdot \left[24 \cdot k_{Scp.доб}^2 + \sum_{i=1}^{24} (k_{Si} - k_{Scp.доб})^2 \right]; \quad (22)$$

$$\Delta W_{\text{ід.доб}}^* \cong \frac{P_{\text{макс}} \cdot r}{U_n^2 \cdot \sum_{i=1}^{24} k_{Pi}} \cdot 24 \cdot k_{\text{Ср.доб}}^2 \quad (23)$$

Скориставшись даними таблиці 1, знаходимо для типового зимового графіку навантаження наступні величини

$$k_{\text{Ср.доб}} = 0,74; \quad \sum_{i=1}^{24} k_{Pi} = 13,95; \quad \sum_{i=1}^{24} (k_{Si} - k_{\text{Ср.доб}})^2 = 1,5043;$$

для типового літнього графіку

$$k_{\text{Ср.доб}} = 0,51; \quad \sum_{i=1}^{24} k_{Pi} = 9,63; \quad \sum_{i=1}^{24} (k_{Si} - k_{\text{Ср.доб}})^2 = 0,8333.$$

З врахуванням цих величин, втрати енергії для типового зимового навантаження у відносних одиницях складуть

$$\Delta W_{\text{тип.доб.зим}}^* = \frac{P_{\text{макс}} \cdot r}{U_n^2} (0,942 + 0,108); \quad (24)$$

за ідеально вирівняного навантаження

$$\Delta W_{\text{ід.доб.зим}}^* = \frac{P_{\text{макс}} \cdot r}{U_n^2} \cdot 0,942 \quad (25)$$

Резерв зниження втрат енергії в зимовий день становить

$$E_{\text{зим}}, \% = \frac{\Delta W_{\text{тип.доб.зим}}^* - \Delta W_{\text{ід.доб.зим}}^*}{\Delta W_{\text{тип.доб.зим}}^*} \cdot 100 = \frac{0,108}{1,05} \cdot 100 = 10,3\% \quad , \quad (26)$$

а резерв втрат для літньої доби - $E_{\text{літ}}, \% = 11,8\%$.

Формули (20) – (26) придатні також для розрахунку зниження втрат енергії у випадках часткового вирівнювання добових графіків навантаження споживачів. При цьому ступінь вирівнювання графіка знаходить відповідне відображення в погодинних коефіцієнтах навантаження k_{Pi} , k_{Qi} та k_{Si} таблиці 1.

Дані формули можна використовувати також для розрахунку втрат електричної енергії за заданими значеннями річного максимуму активного навантаження $P_{\text{макс}}$, активного опору проводів r та номінальної напруги U_n мережі у кожному конкретному випадку.

Висновок. Таким чином, в результаті аналізу зв'язку між нерівномірністю добових графіків навантаження сільських споживачів та втратами енергії в електромережі розроблена методика визначення втрат енергії в активних опорах елементів мережі в залежності від значення погодинних коефіцієнтів навантаження, які характеризують ступінь його нерівномірності, що може бути використаним для обґрунтування доцільності застосування споживачів-регуляторів та переходу на багатозмінний режим роботи.

На основі отриманих аналітичних виразів визначено резерв зниження втрат електроенергії в активних опорах обмоток трансформаторів 10/0,38 кВ та на відгалуженнях ЛЕП-10 кВ до цих трансфор-

маторів, який може бути використаний шляхом вирівнювання типових добових графіків навантаження і становить для сільських виробничих споживачів 10,3 % в зимовий день та 11,8 % – у літній.

Література

1. Экономия энергии в электрических сетях / *И.И. Магда, С.Я. Меженный, В.Н. Сулейманов* и др.; Под ред. *Н.А. Качановой и Ю.В. Щербины*. – К.: Техніка, 1986. – 167 с.
2. *Бибко В.Г.* Зниження втрат електроенергії у сільському господарстві / *В.Г. Бибко, С.Я. Меженний., В.Г. Стафійчук, В.Ф. Юрчук*. Вид. 2-е, перероб. і доп. – К.: Урожай, 1987. – 128 с.
3. *Будзко И.А.* Электроснабжение сельского хозяйства /*И.А. Будзко, Н.М. Зуль*. – М.: Агропромиздат, 1990. – 496 с.

ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ НА ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Жоров В.И.

Аннотация – получены аналитические зависимости потерь в функции величины текущих отклонений нагрузки, определен резерв снижения потерь от перехода на выровненный график нагрузки.

INFLUENCE OF UNEVENNESS OF THE DAILY ALLOWANCE GRAPHS OF LOADING ON LOSSES OF ENERGY IN ELECTRIC NETWORKS

V. Zhorov

Summary

Analytical dependences of losses in the function of size of current rejections of loading are got, reserve of decline of losses from transition on the equalized graph of loading is certain.