

УДК 621.3.016.3

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.2\(33\).130-139](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.2(33).130-139)

П.Г. Плешков, проф., канд. техн. наук, **Ю.І. Казанцев**, доц., канд. техн. наук, **О.І. Сіріков**, доц., канд. техн. наук, **Н.Ю. Гарасьова**, доц., канд. техн. наук, **Т.В. Величко**, ст. викл.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: kaf.etsem@gmail.com

Методика визначення розрахункових навантажень промислових підприємств за питомою витратою електроенергії з використанням нестационарної моделі графіків електричних навантажень

Запропонована методика визначення розрахункового електричного навантаження промислових підприємств за питомою витратою електроенергії та визначенням коефіцієнту максимуму на основі теорії ймовірності з використанням ергодичних теорем для нестационарних випадкових процесів. Дана методика може бути використана для визначення розрахункового електричного навантаження на вищих щаблях системи електропостачання - цех, корпус, підприємство.

розрахункове навантаження, питомі витрати електроенергії, ергодичні теореми, нестационарний процес

П.Г. Плешков, проф., канд. техн. наук, **Ю.І. Казанцев**, доц., канд. техн. наук, **А.І. Сириков**, доц., канд. техн. наук, **Н.Ю. Гарасьова**, доц., канд. техн. наук, **Т.В. Величко**, ст. препод.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Методика определения расчетных нагрузок промышленных предприятий по удельному расходу электроэнергии с использованием нестационарной модели графиков электрических нагрузок

Предложенная методика определения расчетной электрической нагрузки промышленных предприятий за удельным расходом электроэнергии и определения коэффициента максимуму на основе теории вероятности с использованием эргодических теорем для нестационарных случайных процессов. Данная методика может быть использована для определения расчетной электрической нагрузки на высших ступенях системы электроснабжения - цех, корпус, предприятие.

расчетная нагрузка, удельные расходы электроэнергии, эргодические теоремы, нестационарный процесс

Постановка проблеми. При проектуванні систем електропостачання головною вихідною величиною є розрахункове електричне навантаження. Саме за ним вибираються головні елементи системи електропостачання: кабельні і повітряні лінії електропередачі, трансформатори, вимикачі і автомати, запобіжники і т.д. [1,2]. Відповідно до точності, правильності і коректності визначення електричного навантаження пред'являються високі вимоги, адже це обумовлює вартість системи електропостачання, її техніко-економічні показники, та правильність обраних технічних рішень щодо конструювання системи електропостачання.

Останнім часом у зв'язку з поширенням практики проведення енергетичних аудитів, які проводяться зокрема і для систем електропостачання, розрахункове

електричне навантаження використовується для визначення втрат електроенергії в існуючій системі електропостачання. Такий підхід дозволяє зменшити об'єми необхідних експериментальних досліджень в системі електропостачання та спростити проведення енергетичного аудиту без суттєвого погіршення його якості [3].

В практиці проектування існує достатня кількість методів розрахунку електричних навантажень, такі як: за відомим графіком навантаження, питомими показниками, методами заснованими на теорії ймовірності і математичної статистики. Як правило, при проектуванні системи електропостачання графік електричного навантаження невідомий, складно його отримати і при проведенні енергетичного аудиту. Тому використовувати метод розрахунку на основі аналізу графіку електричного навантаження складно не дивлячись на його простоту. Розповсюдженими методами є методи за питомими показниками: питомою витратою електроенергії і питомою щільністю навантаження на м² виробничої площі. Найбільш розповсюджений метод з використанням теорії ймовірності і математичної статистики – метод упорядкованих діаграм (метод Г.М. Каялова). Даний метод є основним методом розрахунку електричних навантажень промислових підприємств і з часом по суті не змінювався, а лише уточнювався і коригувався. Він закладений в нормативні документи по розрахунку електричних навантажень промислових підприємств. В той же час актуальним залишається пошук нових та удосконалення існуючих методів розрахунку електричних навантажень з метою підвищення точності та простоти розрахунку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нормативні методи розрахунку електричних навантажень промислових споживачів є доволі консервативними та не змінюються протягом десятиліть. Так наприклад, прийняті ще в 1968 році «Указания по определению электрических нагрузок в промышленных установках» були змінені в 1990 р. тимчасовою інструкцією, відкориговані та остаточно введені з 1993 р. [4] та діють і по нині. Згідно цього методу розрахункове електричне навантаження P_p визначається за формулою

$$P_p = K_p \sum K_n P_n, \quad (1)$$

де K_p – коефіцієнт розрахункової потужності,

K_n – коефіцієнт використання групи електроприймачів,

P_n – групова номінальна (встановлена) активна потужність, що дорівнює сумі номінальних активних потужностей групи однотипних електроприймачів.

Метод впорядкованих діаграм рекомендовано застосовувати для нижчих щаблів систем електропостачання на рівні окремих груп споживачів, дільниць, цехів та корпусів, що живляться напругою до 1000 В. На вищих рівнях розподілу електроенергії застосування даного методу розрахунку може супроводжуватися значними похибками, тому його використання не рекомендується [1].

Постановка завдання. В даній роботі запропонований метод розрахунку електричних навантажень за питомою витратою електроенергії на прикладі комбінату будівельних матеріалів та його окремих цехів. Два з них мають трьохзмінний, а один двохзмінний режим роботи, процес зміни їх електричного навантаження на добових і тим більше місячних інтервалах є не стаціонарним [5].

Виклад основного матеріалу. Питомі витрати електроенергії по цехам та комбінату в цілому визначається за допомогою основної енергетичної характеристики, яка може бути застосована для певних однотипних підприємств [6]

$$\omega/p_y = f(\alpha), \quad (2)$$

де ω – питома витрата електроенергії на випуск продукції,

$p_y = P_y/A_0$ – питома встановлена потужність підприємства, цеху або підрозділу,
 P_y – встановлена потужність електроприймачів підприємства, цеху або підрозділу,

A_0 – проектний випуск продукції підприємства, цеху або підрозділу,

$\alpha = A/A_0$ – відносний випуск продукції підприємства, цеху або підрозділу,

A – фактичний випуск продукції підприємства, цеху або підрозділу.

Для добового електроспоживання комбінатом будівельних матеріалів найменшу похибку ($\sigma = 0,1\%$) має рівняння десятої степені відносно змінної $x = \alpha^{-1/2}$, тобто

$$\omega/p_y = 168 - 164\alpha^{-1/2} - 230\alpha^{-1} - 766\alpha^{-3/2} + 2546\alpha^{-2} - 1420\alpha^{-5/2} - 970\alpha^{-3} + 1045\alpha^{-7/2} - 143\alpha^{-4} - 56\alpha^{-9/2} + 2,5\alpha^{-5}. \quad (3)$$

Для цеху №1 маємо

$$\omega/p_y = 3,57 + 7,94\alpha^{-1} \quad (\sigma = 2,9\%). \quad (4)$$

Для цеху №2 маємо

$$\omega/p_y = 3,3 + 4,97\alpha^{-1} \quad (\sigma = 1,6\%). \quad (5)$$

Для цеху №3 маємо

$$\omega/p_y = 0,798 + 7,93\alpha^{-1} \quad (\sigma = 1,96\%). \quad (6)$$

Помноживши обидві частини (2) на p_y отримаємо залежність $\omega = f(\alpha, p_y)$.

Методика виведення енергетичних характеристик типу (2) викладена, наприклад в [7,8]. Варто відзначити, що енергетичні характеристики (2), відносяться до некоректних стохастичних зв'язків [9].

Для визначення розрахункового електричного навантаження (наприклад, за максимальним нагрівом провідників), немає необхідності враховувати властивості навантаження в окремі моменти часу, а достатньо лише виявити результат сумарного (інтегрального) впливу за розрахунковий період часу. В зв'язку з чим доцільно ввести деякі середні в часі на розрахунковому інтервалі T характеристики не стаціонарних випадкових процесів зміни навантаження [10]:

1. Середнє за інтервал T значення навантаження (аналог оцінки математичного очікування для стаціонарних процесів)

$$m_{PT} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt, \quad (7)$$

де $P(t)$ – реалізація не стаціонарного випадкового процесу зміни активної потужності за час T .

Середнє значення навантаження за період T в умовах експлуатації визначається за показниками лічильників електроенергії, а в умовах проектування або прогнозування – за питомими нормами та продуктивністю, що планується.

2. Середня на інтервалі T дисперсія графіку навантаження (аналог не залежної від часу дисперсії стаціонарного процесу).

$$D_{PT} = \frac{1}{T} \int_0^T P^2(t) dt - m_{PT}^2. \quad (8)$$

3. Осереднена на інтервалі T одномірна щільність розподілення або гістограма графіку навантаження

$$f_T(P) = \frac{1}{T} \int_0^T f(P, t) dt, \quad (9)$$

де $f(P, t)$ – одномірна щільність розподілення, що залежить для нестационарних процесів від параметра t .

Необхідно відмітити, що вказані характеристики нестационарних процесів зміни навантаження визначаються по одній реалізації, тому вони залежать від T і є випадковими величинами (m_{PT} , D_{PT}) або випадковими функціями $f_T(P)$.

В цьому випадку важливим є питання щодо відповідності цих, визначених по одній реалізації, характеристик істинним характеристикам визначеним по ансамблю реалізацій, тобто питанню про ергодичні властивості нестационарних процесів зміни навантаження. Для вирішення цього питання можливо використовувати ергодичні теореми [10], сформульовані і доведені для одного класу нестационарних процесів. Суть теорем полягає в тому, що при виконанні деяких умов, що накладають обмеження на властивості нестационарних процесів, що досліджуються, середні за часом характеристики (7) і (8) при великих T сходяться з ймовірністю одиниця до відповідних характеристик навантажень, тобто до не випадкових величин.

Перша умова, необхідна для існування цих ергодичних теорем, полягає в обмеженості дисперсії та безперервності в середньоквадратичному випадкових процесів, що розглядаються. Ця умова завжди виконується для графіків електричних навантажень.

Друга умова відноситься до згасання кореляційних зв'язків у часі і полягає у тому, що період осереднення T повинен значно перевищувати інтервал кореляції, тобто інтервал суттєвого послаблення кореляційних зв'язків.

Дослідження показали, що в кореляційних функціях графіків навантаження різних споживачів крім згасаючої аперіодичної є періодичні складові, обумовлені добовою, тижневою та сезонною циклічністю електроспоживання. Тому для ефективного використання ергодичних теорем при аналізі навантаження додатково до умови $T \gg \tau_0$ (τ_0 – інтервал згасання аперіодичної складової) необхідно виконання умов кратності інтервалу T періодам періодичних складових.

В кореляційних функціях комбінату будівельних матеріалів крім аперіодичної складової, що згасає за декілька годин, є дві періодичні складові з восьмигодинним та добовими періодами (рис. 1). Перша обумовлена зміною, друга добовою циклічністю електроспоживання. Сезонна циклічність виявилася незначною.

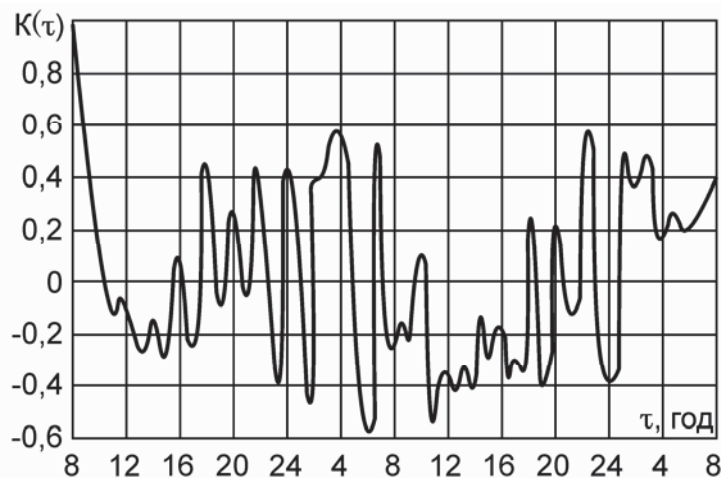


Рисунок 1 – Кореляційна функція зміни півгодинних навантажень цеху №1

Джерело: розроблено авторами

Таким чином, можна вважати, що для даного споживача місячний інтервал задовольняє необхідним умовам ергодичних теорем. Отримані з їх допомогою висновки про ергодичні властивості нестационарних процесів зміни навантаження відносно характеристик (7) і (8) очевидно можуть бути поширені і на характеристику (9). Дійсно, якщо період T задовольняє вищезазначеним умовам і всі можливі властивості процесу формування навантаження проявилися за цей період неодноразово, то можливо очікувати, що завжди знайдеться таке T , для якого гістограма графіку навантаження при подальшому збільшенні T зміниться несуттєво. Іншими словами, послідовність випадкових функцій $f_T(P)$, яка має місце для різних значень T , збігається з ймовірністю одиниця до межі $\bar{f}(P)$, тобто для будь яких $\varepsilon > 0$ або $\delta > 0$ завжди знайдеться таке T , що при будь яких t ймовірність сумісного існування k -нерівностей

$$|f_{T+t_k}(P) - \bar{f}(P)| < \varepsilon; t_k = t_1, t_2, \dots, t_k$$

будуть більше ніж $1 - \delta$. При цьому

$$\lim_{T \rightarrow \infty} f_T(P) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T f(P, t) dt = \bar{f}(P).$$

З допомогою визначених в часі характеристик (7), (8) і (9), обчислених по одній реалізації, нестационарні навантаження можна порівняти до еквівалентних в середньому однорідних у часі, стационарних випадкових процесів. Це дозволяє моделювати навантаження на тривалих інтервалах часу випадковими величинами, статистичні характеристики і закони розподілення яких мають смисл осереднених у часі характеристик нестационарних випадкових процесів. Знаючи ці характеристики та закони розподілення, віднесені до розрахункового періоду часу (місячному, річному) нескладно визначити розрахункове максимальне навантаження з оцінкою її довірчої ймовірності. Очевидно, що при цьому головним є відшукування на інтервалі T одномірних законів розподілення графіків навантаження (9).

На рис. 2 наведені гістограми процесів зміни навантаження комбінату будівельних матеріалів та його цехів, побудовані по графікам навантаження, записаним на трьохмісячному інтервалі часу з 30-хвилинним інтервалом осереднення.

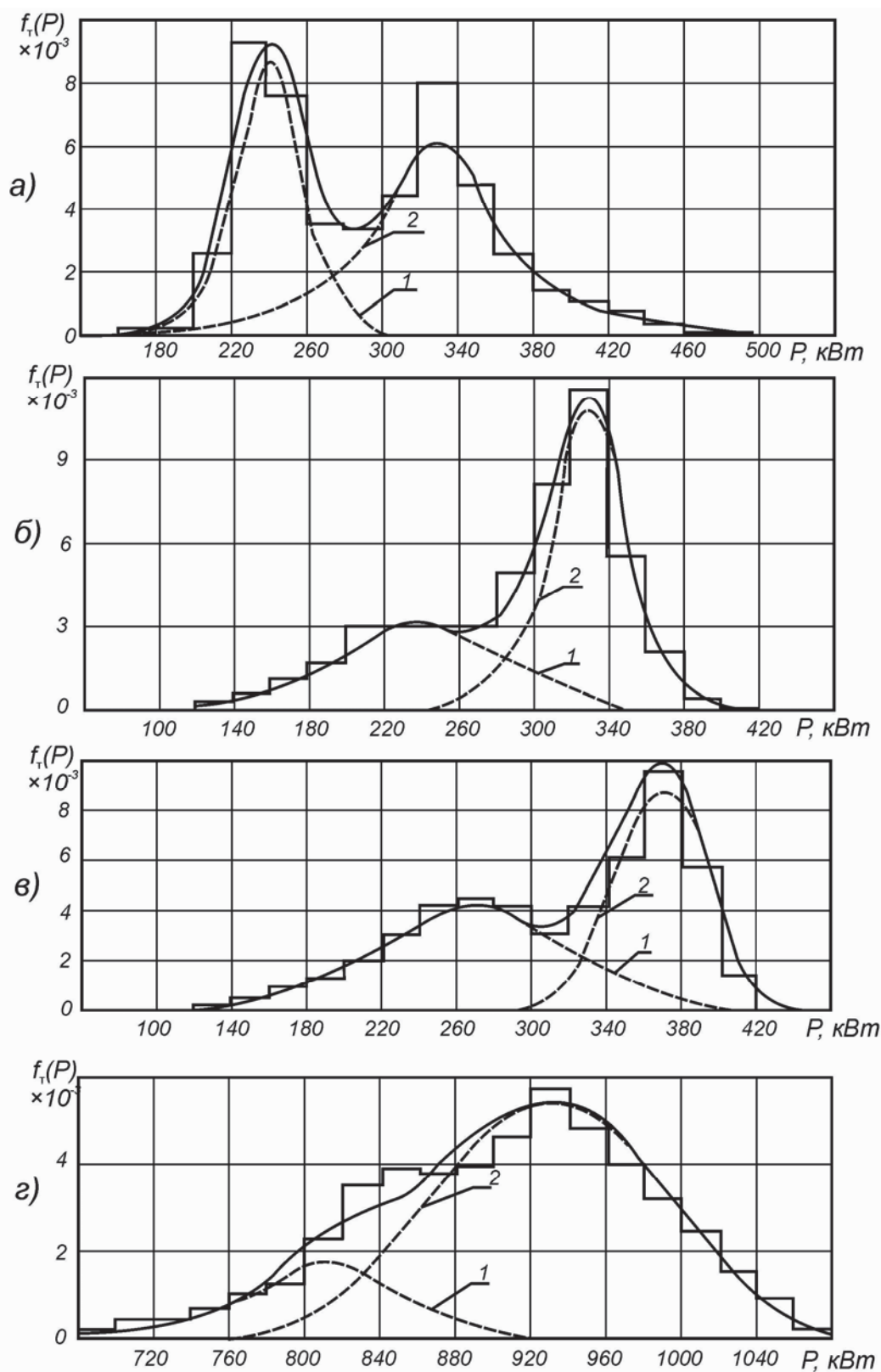
Отримані гістограми апроксимуються кривою $f_T(P)$, яка є сумою двох щільностей розподілення:

$$f_T(P) = f_{T1}(P) + f_{T2}(P). \quad (10)$$

Як показав аналіз, щільність розподілення $f_{T1}(P)$ і $f_{T2}(P)$ для гістограм, що розглядаються достатньо точно вирівнюються кривими нормальної щільності, за виключенням цеху №1 з двохзмінним режимом роботи, для якого $f_{T2}(P)$ вирівнюється А-рядом Грама-Шарлье.

Для цеху №1

$$f_T(P) = f_{T1}(P) + f_{T2}(P) = f_{T1}(P) + f_{TH}(P) - \frac{r_3}{6} f_{TH}^{(3)}(P) + \frac{r_4 - 3}{24} f_{TH}^{(4)}(P), \quad (11)$$



1 – щільність розподілення $f_{T1}(P)$; 2 – щільність розподілення $f_{T2}(P)$;
 а) цех №1; б) цех №2; в) цех №3; г) в цілому по комбінату будівельних матеріалів

Рисунок 2 – Гістограма та щільності розподілення потужності комбінату будівельних матеріалів та його цехів

Джерело: розроблено авторами

$$\text{де } f_{T1}(P) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{PT1}}} e^{-\frac{(P-m_{PT1})^2}{2\sigma_{PT1}^2}},$$

$$f_{T2}(P) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{PT2}}} e^{-\frac{(P-m_{PT2})^2}{2\sigma_{PT2}^2}},$$

$f_{T1}^{(3)}$, $f_{T1}^{(4)}$ – третя та четверта похідні $f_{T1}(P)$ відповідно,

$r_3 = -0,03$ – третій основний момент,

$r_4 = 4,73$ – четвертий основний момент.

Для цехів №2 і №3, а також в цілому по комбінату будівельних матеріалів

$$f_T(P) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{PT1}}} e^{-\frac{(P-m_{PT1})^2}{2\sigma_{PT1}^2}} + \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{PT2}}} e^{-\frac{(P-m_{PT2})^2}{2\sigma_{PT2}^2}}, \quad (12)$$

В табл. 1 наведені параметри досліджених гістограм.

Таблиця 1 – Статистичні характеристики гістограм комбінату будівельних матеріалів

п/п	Найменування	$f_{T1}(P)$		$f_{T2}(P)$		$f_T(P)$		λ	K_M
		m_{PT1} , кВт	σ_{PT1} , кВт	m_{PT2} , кВт	σ_{PT2} , кВт	m_{PT} , кВт	σ_{PT} , кВт		
1	Цех №1	239	17	331	50	296	62	0,93	1,3
2	Цех №2	240	52	328	22	293	57	1,04	1,2
3	Цех №3	270	54	379	20	614	64	0,35	1,2
4	Всього по комбінату	810	40	930	60	912	82	0,59	1,15

Джерело: розроблено авторами

Правомірність прийнятої гіпотези у вигляді розподілення підтверджена кількісною оцінкою з допомогою критерію погодження Колмогорова (λ), значення якого наведено в табл. 1.

Знаючи характеристики m_{PT} , D_{PT} та закони розподілення $f_T(P)$, віднесені до розрахункового періоду часу (місяць, рік) нескладно визначити розрахункове 30-хвилинне максимальне навантаження P_M , при заданій довірчій ймовірності, що дорівнює 0,95

$$B(P \leq P_M) = 0,95 = \int_{-\infty}^{P_M} f_T(P) dP. \quad (13)$$

Далі визначається коефіцієнт максимуму

$$K_M = \frac{P_M}{m_{PT}}. \quad (14)$$

Внаслідок ергодичних властивостей процесу зміни навантаження відносно характеристик m_{PT} , D_{PT} та $f_T(P)$ отримані значення коефіцієнтів максимуму можна рахувати типовими для даного споживача.

Отже, з допомогою енергетичної характеристики визначається питома норма ω електроспоживання, а за її значенням легко перейти до загального енергоспоживання W підприємством, цехом, ділянкою за формулою

$$W = \omega \cdot A_0, \quad (15)$$

а далі від нього до середньої потужності

$$P_{\text{ср}} = W/T. \quad (16)$$

Тоді максимальне півгодинне розрахункове навантаження може бути знайдене як

$$P_p = K_M \cdot P_{\text{ср}}. \quad (17)$$

Отримані з допомогою нестационарної моделі типові значення коефіцієнтів максимуму дозволяють проводити оцінку розрахункового навантаження промислового підприємства.

На відміну від методу упорядкованих діаграм покладеного в основу вказівок по розрахунку електричних навантажень, для вказаних підприємств пропонується статистичний метод, що не потребує розгляду та врахування характеристик режимів роботи індивідуальних електроспоживачів. Розрахункове навантаження визначається за даними проектної продуктивності, питомими нормами електроспоживання і типовим значенням коефіцієнту максимуму для окремих цехів і підприємству в цілому.

Приклад розрахунку. Визначити розрахункове навантаження підприємства типу комбінату будівельних матеріалів з продуктивністю A_0 , що дорівнює 82 млн. шт. цеглин на рік.

По енергетичній характеристиці (3) знаходимо при $\alpha = 1$ і $p_y = 0,5$ питому витрату електроенергії $\omega = 100$ кВт·год/тис. шт.

Визначаємо середнє за рік навантаження

$$m_{\text{PT}} = \frac{\omega A_0}{365 \cdot 24} = \frac{100 \cdot 82 \cdot 10^3}{365 \cdot 24} = 935 \text{ кВт}.$$

За значенням коефіцієнту максимуму комбінату будівельних матеріалів рівним 1,15 визначаємо розрахункове навантаження

$$P_p = K_M \cdot P_{\text{ср}} = 1,15 \cdot 935 = 1070 \text{ кВт}.$$

Висновки.

1. Існуючі методи розрахунку електричних навантажень промислових підприємств не є універсальними і можуть бути застосовані з певними обмеженнями. Так, наприклад, метод упорядкованих діаграм рекомендовано для нижчих щаблів систем електропостачання напругою до 1000 В, а метод за питомою витратою електроенергії для вищих щаблів на рівні ділянок, цехів і підприємства в цілому.

2. Проведені дослідження графіків електричного навантаження комбінату будівельних матеріалів та його цехів показали, що електроспоживання є нестационарним випадковим процесом. Натомість вказані графіки відповідають вимогам ергодичних теорем для нестационарних процесів, а отже це дозволяє моделювати навантаження на тривалих інтервалах часу випадковими величинами як для стаціонарних процесів.

3. Доведено, що основна енергетична характеристика дозволяє визначити коефіцієнт максимуму для типових підприємств. Даний підхід запропоновано покласти в удосконалений метод розрахунку електричних навантажень промислових підприємств, який поєднує в собі метод упорядкованих діаграм та метод за питомою витратою електроенергії.

4. Запропонований метод розрахунку електричних навантажень промислових підприємств може бути використаний для вищих щаблів системи електропостачання на рівні ділянок, цехів та підприємства в цілому.

5. Перевагою запропонованого методу на відміну від методу упорядкованих діаграм є відсутність необхідності розгляду та врахування характеристик режимів роботи індивідуальних електроспоживачів. Розрахункове навантаження визначається за даними проектної продуктивності, питомими нормами електроспоживання і типовим значенням коефіцієнту максимуму для окремих ділянок, цехів і підприємству в цілому.

Список літератури

1. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електроенергетики та електропостачання: підручник. 2-ге вид., перероб. і доп.. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. 436 с.
2. Бурбело М.Й., Бірюков О.О., Мельничук Л.М. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків: навч. посіб.. Вінниця: ВНТУ, 2011. 204 с.
3. Проблеми визначення ефективності та ранжування енергоощадних заходів на об'єктах бюджетної сфери / Плешков П.Г. та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 1(32). С. 166-172.
4. Указания по расчету электрических нагрузок (РТМ 36.18.32.4-92). Москва : ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1992. 27 с.
5. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций: учебное пособие. Изд. 3-е, стер. Санкт-Петербург: Лань, 2011. 463 с.
6. Авилов-Карнаухов Б.Н. Электроэнергетические расчеты для угольных шахт. Москва: Недра, 1969. 103 с.
7. Казанцев Ю.І., Котиш А.І., Сіріков О.І. Енергетичні характеристики підприємств при багатонаменклатурному виробництві як некоректні стохастичні зв'язки. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту*. 2004. Вип. 14. С. 369-375.
8. Казанцев Ю.І., Стець П.Г. Энергетические характеристики как основа нормирования электроэнергии и ее рационального использования в электроэнергетических системах. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту*. 2012. Вип. 25, Ч.ІІ. С. 142-144.
9. Кабанихин С.И. Обратные и некорректные задачи. Изд. 4-е ред. Новосибирск: ФГУП «Издательство СО РАН», 2018. 512 с.
10. Железнов Н.А. Некоторые вопросы теории информационных электрических систем. *Труды ЛКВИА*. 1960. Т. 191. С. 155-160.

References

1. Malinovskyi, A.A., & Khokhulin, B.K (2009). *Osnovy elektroenerhetyky ta elektropostachannia [Fundamentals of Electricity and Power Supply]*. Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika» [in Ukrainian].
2. Burbelo, M.I., Biriukov, O.O., & Melnychuk, L.M. (2011). *Systemy elektropostachannia. Elementy teorii ta pryklady rozrakhunkiv [Power supply systems. Elements of theory and examples of calculations]*. Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian].
3. Plieshkov, P.H., Serebrennikov, S.V., Petrova, K.H., Savelenko, I.V., & Sirikov, O.I. (2019). Problemy vyznachennia efektyvnosti ta ranzhuvannia enerhooshchadnykh zakhodiv na ob'ektakh biudzhethnoi sfery [Problems in determining the efficiency and ranking of energy-saving measures in budgetary entities]. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky. – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Engineering sciences.*, 1(32), 166-172 [in Ukrainian].
4. Ukazaniya po raschetu elektricheskikh nagruzok (RTM 36.18.32.4-92) [Instructions for the calculation of electrical loads (RTM 36.18.32.4-92)]. (1992) Moscow: VNIPI Tyazhpromelektroproekt. [in Russian].
5. Sveshnikov, A.A. (2011). *Prikladnye metody teorii sluchajnykh funktsij [Applied methods of the theory of random functions]*. Sankt-Peterburg: Lan [in Russian].
6. Avilov-Karnauhov, B.N. (1969). *Elektroenergeticheskie raschety dlya ugol'nykh shaht [Electric power calculations for coal mines]*. Moscow: Nedra [in Russian].

7. Kazantsev, Yu.I., Kotysh, A.I., & Sirikov, O.I. (2004). Enerhetychni kharakterystyky pidpriemstv pry bahatonomenklaturnomu vyrobnytvstvi yak nekorektni stokhastychni zviazky [Energetic characteristics of enterprises in multi-nomenclature production as incorrect stochastic connections]. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytvstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – Collection of scientific works of Kirovohrad National Technical University. Engineering in agricultural production, industry engineering, automation, 14*, 369-375 [in Ukrainian].
8. Kazancev, YU.I., & Stec', P.G. (2012). Energeticheskie harakteristiki kak osnova normirovaniya elektroenerгии i ee racional'nogo ispol'zovaniya v elektroenergeticheskikh sistemah [Energy characteristics as a basis for the normalization of electricity and its rational use in power systems]. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytvstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – Collection of scientific works of Kirovohrad National Technical University. Engineering in agricultural production, industry engineering, automation, 25(II)*, 142-144 [in Russian].
9. Kabanihin, S.I. (2018). *Obratnye i nekorrektnye zadachi [Inverse and incorrect tasks]*. Novosibirsk: FGUP «Izdatel'stvo SO RAN» [in Russian].
10. ZHeleznov, N.A. (1960). Nekotorye voprosy teorii informacionnyh elektricheskikh sistem [Some questions about the theory of information electrical systems]. *Trudy LKVIA – Proceedings of LKVIA, 191*, 155-160 [in Russian].

Petro Pleshkov, Prof., PhD tech. sci., **Yuri Kazantsev**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Sirikov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Natalia Garasova**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Tatiana Velichko**, Senior Lecturer
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Methodology for Determining the Design Loads of Industrial Enterprises by the Specific Energy Consumption Using an Non-stationary Model of Electrical Load Schedules

The proposed methodology for determining the calculated electric load of industrial enterprises for the specific energy consumption and determining the coefficient maximum based on probability theory using ergodic theorems for non-stationary random processes.

When designing power supply systems, the main initial value is the calculated electrical load. High demands are placed on the accuracy and correctness of determining the electrical load. The most common method for calculating the electrical loads of industrial enterprises is the method of ordered diagrams. It is recommended for use at the lower levels of power supply systems at the level of individual consumer groups, sections, workshops and buildings. At higher levels of electricity distribution, the application of this calculation method may be accompanied by significant errors. Therefore, its use for higher levels is not recommended. The specific energy costs of the workshops and the plant as a whole are determined using the main energy characteristics. It can be applied to certain similar enterprises. According to the specific norms of power consumption and the design performance data, the average power is determined. Knowing the average value for the time interval and the variance of the graph of the electrical load, as well as the distribution laws, it is possible to determine the estimated 30-minute maximum load for a given confidence probability. And by its value, the coefficient maximum. By multiplying the average power by the coefficient maximum, the desired design load is determined.

The proposed method for calculating the electrical loads of industrial enterprises can be used for higher stages of the power supply system at the level of sections, workshops and the enterprise as a whole. The advantage of the proposed method, in contrast to the ordered diagram method, is the absence of the need to consider and take into account the characteristics of the operating modes of individual electric consumers.

design load, specific electricity consumption, ergodic theorems, non-stationary process

Одержано (Received) 02.12.2019

Прорецензовано (Reviewed) 20.12.2019

Прийнято до друку (Approved) 23.12.2019