

ОТРИМАННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЯК НЕПЕРІОДИЧНОГО ВИПАДКОВОГО ПРОЦЕСУ

М.А. Денисенко, докт. техн. наук ФРН, **І.В. Притискач**, асп.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,

вул. Борщагівська, 115, Київ, 03056, Україна

e-mail: prytyskach.ivan@gmail.com

Використання даних, отриманих за допомогою сучасних систем АСКОЕ, дає можливість скористатися більш точними стохастичними моделями, які базуються на моделюванні випадкових фізичних процесів в елементах електропостачальних систем з використанням ймовірнісної вихідної інформації. У статті розглянуто питання обробки таких деталізованих даних про значення активного та реактивного навантажень для одержання їх інтегральних статистичних характеристик, які можна використовувати для стохастичного моделювання. Розглянуто також випадок неперіодичного характеру навантаження, за якого відсутня можливість розглядати масив даних про електричне навантаження як реалізацію певного випадкового процесу. Бібл. 7, рис. 3, табл. 2.

Ключові слова: електропостачальна система, електричне навантаження, стохастична модель.

Вступ. Кількісна інформація про електричні навантаження (ЕН) є основою раціонального вирішення практично всього комплексу питань, пов'язаних з проектуванням і експлуатацією електричних мереж всіх класів напруг. Дані про ЕН окремих споживачів та їх груп необхідні для правильного планування розвитку мереж електричних систем, вибору обладнання та режимів його роботи, здійснення раціональних режимів експлуатації, забезпечення умов надійної роботи обладнання, заданої якості електроенергії та ін. [6].

Сучасна ідеологія розвитку енергетики базується на концепції Smart Grids. Побудова таких електричних мереж вимагає від їх обладнання якісно нового рівня інформатизації [5]. У результаті всі споживачі будуть спроможні виконувати функції моніторингу та аналізу власного споживання електроенергії та потужності. Тому актуальним питанням є розробка алгоритмів обробки інформації про значення активної та реактивної енергії в точках обліку.

Ця стаття присвячена питанню обробки даних про ЕН, отриманих з систем моніторингу енергоспоживання, для одержання їх інтегральних статистичних характеристик, які можна використовувати для стохастичного моделювання випадкових процесів у елементах електропостачальних систем (ЕПС).

Постановка задачі досліджень: розробка алгоритму отримання статистичних характеристик неперіодичного випадкового процесу ЕН, а саме його середнього значення, коефіцієнта варіації та автокореляційної функції з використанням сучасних математичних методів.

Метою дослідження є отримання методики класифікації графіків ЕН з подальшим визначенням його параметрів, необхідних для стохастичного моделювання випадкових процесів у елементах ЕПС.

Вирішення завдання досліджень. Електричні навантаження більшої частини споживачів електроенергії (об'єктів промисловості, сільського господарства, електротранспорту, комунально-побутового сектора та ін.) змінюються за часом як на коротких інтервалах часу (секунди, години), так і на тривалих (доба, тижні, роки). У теорії ЕН [4] типи їх графіків (ГЕН) за ступенем регулярності умовно поділяють на періодичні і майже періодичні. Вони характеризуються стабільністю споживання електроенергії й можуть бути циклічними і нециклічними. Нерегулярні ГЕН мають електроприймачі (ЕП) з нерегулярним режимом роботи, характерним для несталого технологічного процесу. Умова стабільності споживання електроенергії ЕП для них не виконується.

Враховуючи наведені особливості, розглянемо процес обробки даних з електричних навантажень. Облік електричної енергії на підстанціях, як правило, здійснюють лічильниками електричної енергії, які входять до складу системи АСКОЕ експлуатуючої організації. Ці

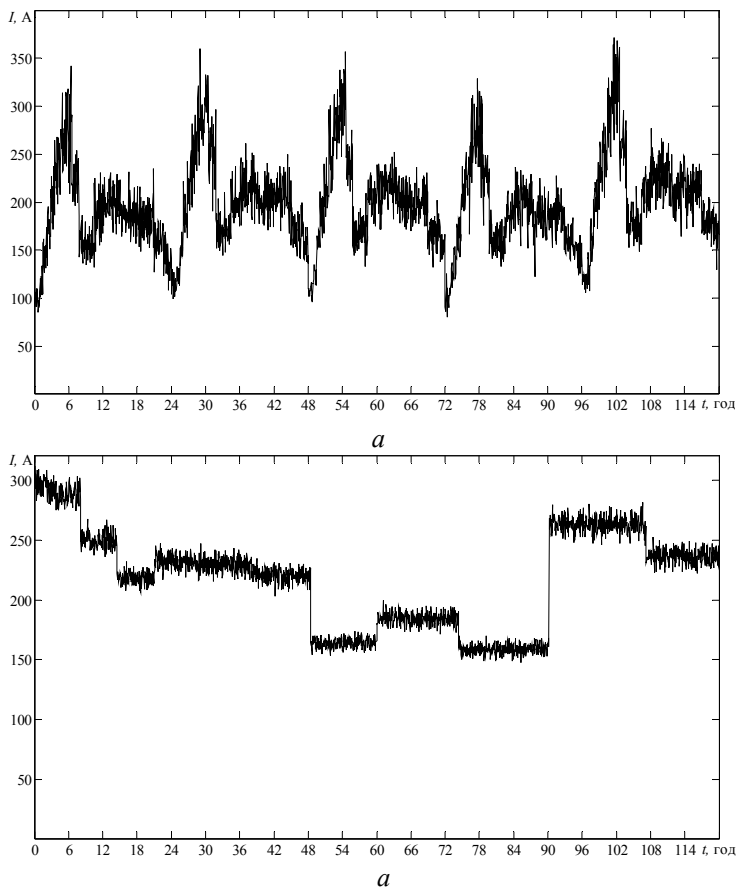


Рис. 1

наведено, наприклад, у [2, 3], де навантаження розглядається як нестационарний випадковий процес.

Проте існують споживачі, які не мають вираженої циклічності у роботі. До них належать установки з нерегулярним режимом роботи, характерним для несталого технологічного процесу. Умова стабільності споживання електроенергії для них не виконується. Приклад графіка навантаження таких споживачів наведено на рис. 1 б. У такому випадку неможливо встановити базовий час T_0 , і потрібно визначити характеристики випадкового процесу тільки за однією його реалізацією.

Отже, спершу необхідно визначити, до якого з наведених вище типів необхідно віднести ГЕН, що розглядається. Це можна зробити кількома способами. Перший – зробити висновок на основі інформації про тип споживачів чи підстанції, яка досліджується. Другий – побудувати ГЕН і візуально визначити його періодичність чи неперіодичність. Проте обидва наведені способи передбачають виконання ручної роботи дослідника або інженера і виключають автономну обробку даних системою. Іншим підходом буде використання математичних методів для визначення наявності періоду.

Найбільш ефективні для виявлення періодичності ГЕН є методи, що застосовуються для дослідження інших властивостей випадкових процесів. Тому практичний критерій випадковості зазвичай заснований на методах аналізу, які застосовуються у припущенні випадковості процесів. Зокрема, наявність періодичності у випадковому процесі часто можна виявити за допомогою аналізу спектральної густини, густини ймовірності та (або) автокореляційної функції (АФ), отриманих для стаціонарного процесу [1].

За чисто випадкового процесу АФ зі збільшенням зсуву завжди наближається до величини, рівної квадрату середнього значення. З іншого боку, в АФ процесу з наявною певною періодичністю будуть спостерігатися піки для значень $\tau = kT_0$, де $k = 1, 2, 3, \dots$ і т.д.

У разі нерегулярного характеру ЕН для обробки даних може бути запропонована така послідовність дій:

відомості накопичуються в базі даних системи з певною часовою дискретизацією. Першим кроком виконується експорт цих даних у формат, зручний для застосування алгоритму їх обробки. Отримується послідовний масив значень з часовою прив'язкою до дати вимірювань. Крім цього, необхідно знати часовий інтервал дискретизації, який використовується в АСКОЕ.

Отримані графіки $H(t)$ електричних навантажень більшості електроустановок різного призначення матимуть більшу або меншу регулярність, обумовлену повторенням операцій технологічного процесу їх роботи (рис. 1 а). Найчастіше ЕН змінюється з певним періодом, рівним добі, зміні, технологічному циклу тощо. У такому випадку ми можемо встановити базову тривалість T_0 , рівну цьому періоду, і розглядати масив даних як реалізацію певного випадкового процесу. Алгоритм обробки даних саме за цього випадку

1. Знаходимо інтервали стаціонарності (ІС) Δt_μ нестационарного випадкового процесу $H(t)$, тобто таких μ інтервалів часу Δt_μ , у кожному з яких значення оцінок параметрів і функцій розподілу процесу $H(t)$ практично однакові, а оцінки емпіричної нормованої автокореляційної функції $\tilde{\rho}_\mu(\tau)$ залежать від величини τ і є практично однаковими за однаковими значеннями τ [6]. Для знаходження ІС перевіряється виконання умови [3]:

$$\frac{r\tilde{z}_i}{\sum_{i=1}^r \tilde{z}_i} - 1 \leq \varepsilon,$$

де r – кількість інтервалів δt_i у початковому інтервалі стаціонарності ($r \geq 1$); $\varepsilon = 0,03 \dots 0,05$ – допустиме відхилення окремих значень оцінок параметрів розподілу від їхнього середнього значення всередині Δt_μ ; \tilde{z}_i – оцінка досліджуваного параметра розподілу в i -му перерізі випадкового процесу ЕН ($\tilde{Z}_i = \tilde{H}_i$, $\tilde{Z}_i = \tilde{\sigma}_i[H]$ чи $\tilde{Z}_i = \tilde{v}_i[H]$), де $i = 1, 2, \dots, r$).

2. Будуємо функцію розподілу та визначаємо закон розподілу на кожному з отриманих інтервалів стаціонарності.

Перевірку закону розподілу ЕН можна виконати за допомогою критерію Шапіро-Уїлка, як запропоновано в роботі [2]. Якщо за цим критерієм отримуємо, що необхідно відхилити гіпотезу нормальності розподілу випадкових змінних, то наступним етапом можна виконати перевірку інших законів розподілу за критерієм згоди χ^2 .

3. На кожному ІС знаходимо оцінки математичного очікування \tilde{H}_μ , середньоквадратичного відхилення $\tilde{\sigma}_\mu[H]$, коефіцієнта варіації $\tilde{v}_\mu[H]$ та нормованої автокореляційної функції $\tilde{\rho}_\mu(\tau)$.

4. Виконуємо кластеризацію одержаних ІС за значеннями параметрів розподілу у цих інтервалах з використанням методу k -внутрішньогрупових середніх [7]. Таким чином визначаємо інтервали, які відповідають однаковим режимам роботи досліджуваного споживача.

5. Визначаємо параметри розподілу ЕН, а також відносні тривалості, які відповідають певним режимам роботи.

Приклад використання запропонованого алгоритму. Виконаємо обробку даних навантаження насосної станції. З бази даних АСКОЕ отримані п'ятнадцятихвилинні значення активного та реактивного струму $I_a(t)$ і $I_p(t)$. Одержаний масив містить $N = 2880$ числових значень. Його графік представлено на рис. 2, з якого видно, що він має неперіодичний характер. Також можна чітко виділити певні режими роботи цієї установки. На графіку показано аномальні значення ЕН, пов'язані з перервами в електропостачанні, а також з відключенням більшості електроприймачів на об'єкті. Для правильного визначення статистичних характеристик їх було вилучено шляхом відкидання вимірювань зі значеннями, практично рівними нулю.

На графіку НАФ (рис. 3) відсутні піки, що підтверджує нерегулярність навантаження.

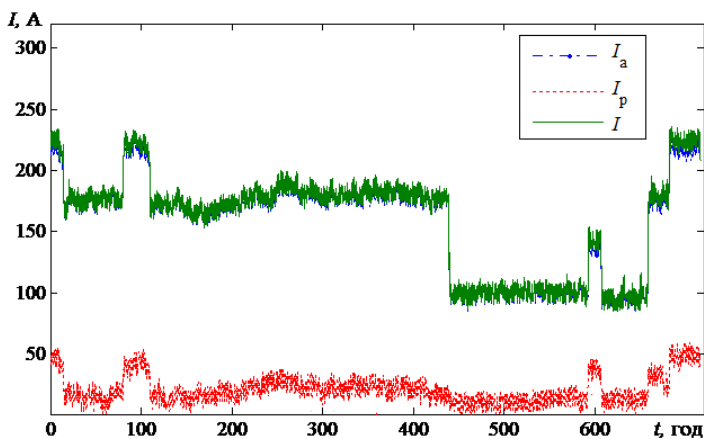


Рис. 2

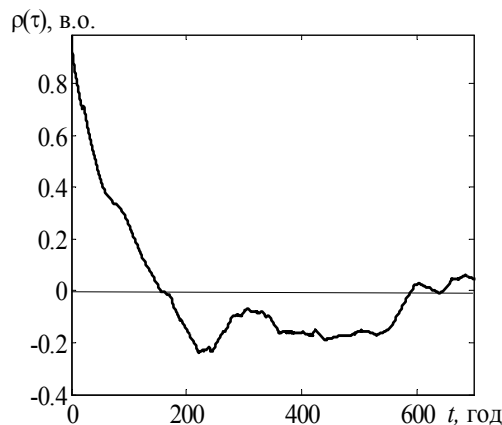


Рис. 3

Обчислені значення параметрів розподілу та тривалості для одержаних ІС наведено в табл. 1. Тривалості ІС лежать в діапазоні 14...315 год. Коефіцієнти варіації ЕН значно відрізняються в різних інтервалах стаціонарності.

Наступним кроком виконаємо кластеризацію отриманих ІС повного струму двома методами.

Таблиця 1

№ з/п	Δt_{μ} , хв	\bar{I}_{μ} , А	$v[I]$, в.о
1	855	221,412	0,033
2	3930	176,367	0,038
3	1755	220,837	0,033
4	18765	176,827	0,085
5	1230	169,764	0,184
6	1230	97,564	0,128
7	7980	100,798	0,067
8	870	142,545	0,053
9	3060	96,370	0,074
10	1440	177,861	0,058
11	2085	223,880	0,030

У результаті розподілу ІС за кластерами, виконаного за допомогою методу k -внутрішньогрупових середніх, отримано чотири кластери з параметрами, наведеними в табл. 2. Отримані характеристики дають змогу, наприклад, здійснити вибір трансформаторів та інших елементів ЕПС за критеріями допустимої температури та зносу ізоляції з використанням стохастичних моделей вибору.

Висновки. 1. Запропонований метод може бути використаний для отримання статистичних характеристик електричного навантаження як періодичного випадкового процесу, а саме його середнього значення, коефіцієнта варіації та автокореляційної функції.

Таблиця 2

2. Сучасні системи АСКОЕ, які вже впроваджені

№ клас-теру	Сумарна тривалість, хв	Відносна тривалість, хв	\bar{I} , А	$v[I]$, в.о.
1	870	0,020	143,207	0,042
2	25110	0,585	177,821	0,045
3	4680	0,109	221,883	0,037
4	12240	0,285	99,612	0,057
Σ	42900	1	159,611	0,048

на значній кількості підприємств та об'єктів енергосистем, дають змогу збирати деталізовані дані, які дають можливість більш широко застосовувати достовірніші стохастичні моделі вибору елементів ЕПС та їх режимів з урахуванням випадкових процесів, що відбуваються в цих елементах.

тах.

3. Для визначення інтервалів стаціонарності, які відповідають однаковим режимам роботи досліджуваного споживача, пропонується виконувати їх кластеризацію за допомогою методу k -внутрішньогрупових середніх.

1. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1971. – 408 с.
2. Денисенко М.А., Бедрак Я.С. Дослідження електричних навантажень насосної станції // Енергетика і електрифікація. – 2012. – № 4.
3. Денисенко М.А. Спеціальні питання електропостачання. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 288 с.
4. Жежеленко И.В., Кротков Е.А., Степанов В.П. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей: Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 217 с.
5. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Интеллектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 20–31.
6. Фокин Ю.А. Вероятностно-статистические методы в расчетах систем электроснабжения. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 240 с.
7. Шуметов В.Г. Шуметова Л.В. Кластерный анализ: подход с применением ЭВМ – Орел: ОрелГТУ, 2000. – 118 с.

УДК 621.316.13

М.А. Денисенко докт. техн. наук ФРГ, **И.В. Прытыскач**², асп.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», ул. Борщаговская, 115, Киев, 03056, Украина

Получение статистических характеристик электрической нагрузки как неперерывного случайного процесса

Использование данных, полученных с помощью современных систем АСКУЭ, дает возможность воспользоваться более точными стохастическими моделями, которые базируются на моделировании случайных физических процессов в элементах систем электроснабжения с использованием вероятностной исходной информации. Данная статья посвящена вопросу обработки таких детализированных данных о значении активной и реактивной нагрузок, для получения их интегральных статистических характеристик, которые можно использовать для стохастического моделирования. Рассмотрен случай неперидического характера нагрузки, при котором отсутствует возможность рассматривать массив данных об электрической нагрузке как реализацию определенного случайного процесса. Библ. 7, рис. 3, табл. 2.

Ключевые слова: системы электроснабжения, электрическая нагрузка, стохастическая модель.

M. Denysenko, I. Prytyskach

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
Borschahivska st., 115, Kyiv 03056, Ukraine

Obtaining statistical characteristics of electric load as aperiodic stochastic process

Using data obtained through modern systems of AMR, makes it possible to use more accurate stochastic models based on random simulation of physical processes in the power system elements using probabilistic background information. This article is devoted to the issue of treatment of such detailed data on the value of active and reactive load to get their integrated statistical characteristics that can be used for stochastic modeling. We consider the case of aperiodic nature of load, in which there is no possibility to consider an array of data on the electrical load as a random process. References 7, figures 3, tables 2.

Key words: power system, electric load, stochastic model.

Надійшла 16.04.2013

Received 16.04.2013