

МОДЕЛІ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ ЦИКЛІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

The mathematical models of process of a power consumption for regular and not regular modes are offered which derivate the whole cycle of tasks theoretical, imitating and experimental. A number(line) of such tasks is given, among which it is necessary to allocate tasks of statistical data processing of measurements of process.

Вступ. Процесу електроспоживання, як об'єкту наукових досліджень присвячено значна кількість публікацій, в тому числі [1..4]. Це є об'єктивним фактором, який обумовлений вагомою роллю електроенергетики в житті країни. Слід також зазначити, що впровадження новітніх інформаційних технологій в електроенергетику базується на використанні результатів значної кількості задач теоретичних, імітаційних і експериментальних досліджень. Такі задачі дуже різнопланові, тому необхідно обґрунтувати загальний підхід до наукової проблематики, у даному випадку, для задач досліджень процесу електроспоживання.

У роботі пропонується варіант такого підходу, з урахуванням результатів наукових праць [1,3,4]. Спочатку необхідно конкретизувати вид процесів електроспоживання, які будуть об'єктами дослідження, тобто провести відповідну класифікацію процесів електроспоживання.

Розглядаються процеси електроспоживання значної кількості (наприклад, декілька десятків) споживачів, для яких характерна випадковість часових моментів включення та виключення, тривалості часового інтервалу та значень інтенсивності споживання електроенергії.

Основний зміст. Дослідження конкретного процесу електроспоживання, як правило, починають з створення фізичної моделі процесу. При цьому визначаються характерні властивості формування та функціонування такого процесу. Аналіз сукупності таких фізичних моделей дають змогу створити типову узагальнену фізичну модель процесу електроспоживання, яка може бути використана для подальшої розробки або обґрунтування математичної моделі. Під математичною моделлю процесу електроспоживання будемо розуміти систему знань, яка гомоморфно відображає лише основні властивості реального процесу електроспоживання і призначена для розв'язання певного класу задач. У даній роботі пропонуються моделі, які можна використати при проведенні досліджень як для штатного, так і для нештатного режимів. Розглянемо спочатку штатний режим.

Штатний режим. Враховуючи результати наукових праць по моделям досліджуемого процесу, а також використовуючи його типову фізичну

модель формування і функціонування наведемо наступне.

Означення 1. Математична модель процесу електроспоживання у штатному режимі на інтервалі спостереження часу $t \in [0, T)$ описується випадковим процесом розладки однорідності періодичної структури компонент процесу у виді

$$\xi(\omega, t) = \sum_{k=0}^n \zeta_k(\omega, t) I(\tau_k, t), \quad \omega \in \Omega, \quad (1)$$

де послідовності:

- $\{\tau_k, k = \overline{0, n}\}$ - дискретних часових моментів розладки однорідності періодичної структури компонент $\zeta_k(\omega, t)$

$$\tau_0 < \tau_1 < \dots < \tau_n, \quad \tau_0 = 0, \quad \tau_k < t; \quad (2)$$

- компонент $\zeta_k(\omega, t)$, кожна з них є періодичним випадковим процесом і які утворюють векторний періодичний процес

$$\zeta(\omega, t) = (\zeta_0(\omega, t), \zeta_1(\omega, t), \dots, \zeta_n(\omega, t)); \quad (3)$$

- індикаторних функцій, кожна з яких визначається формулою

$$I(\tau_k, t) = \begin{cases} 1, & t \in [\tau_k, \tau_{k+1}), k = \overline{0, n-1} \\ 1, & t \in [\tau_n, T) \\ 0 & \text{у інших випадках} \end{cases} \quad (4)$$

і визначає часовий інтервал однорідності періодичної структури відповідної компоненти $\zeta_k(\omega, t)$ процесу.

Ряд відомих математичних моделей процесів електроспоживання описується [1..4]:

- адитивною сумою періодичної функції $Q_1(t)$ (періодичний тренд) і стаціонарним процесом білого шуму $\zeta_1(\omega, t)$, тобто

$$\xi_1(\omega, t) = Q_1(t) + \zeta_1(\omega, t), \quad \omega \in \Omega, \quad t \in T. \quad (5)$$

- адитивною сумою періодичної функції $Q_2(t)$ (періодичний тренд) і лінійного стаціонарного процесу $\zeta_2(\omega, t)$, тобто

$$\xi_2(\omega, t) = Q_2(t) + \int_0^{\infty} \varphi_2(t - \tau) d\eta_2(\omega, \tau). \quad (6)$$

- випадковим лінійним періодичним процесом виду

$$\xi_3(\omega, t) = \int_0^{\infty} \varphi_3(\tau, t) d\eta_3(\omega, \tau), \quad (7)$$

де відповідно: $\eta_2(\omega, t)$ - однорідний випадковий процес з незалежними приростами; $\varphi_2(t)$ - ядро лінійного процесу як імпульсна перехідна функція

лінійного (формуючого) фільтра з постійними у часі параметрами; $\eta_3(\omega, t)$ - випадковий процес з незалежними періодичними приростами; $\varphi(\tau, t)$ - періодична імпульсна перехідна функція лінійного фільтра із змінними у часі параметрами.

Відмітимо наступний факт: відомі моделі (5)-(7) використовують випадкові процеси, для яких породжуючим є процес з незалежними приростами $\eta(\omega, t)$. Про пряме використання процесу $\eta(\omega, t)$, як моделі процесу електроспоживання, у наукових публікаціях не наголошується.

У даній роботі в якості основної моделі досліджуваного процесу пропонується випадковий процес з періодичними незалежними приростами $\eta(\omega, t)$. Така модель має суттєві переваги перед іншими, а саме:

- опис механізму формування і функціонування процесу електроспоживання є найбільш природним і фізично обгрунтованим;
- серед випадкових процесів клас процесів $\eta(\omega, t)$ є найбільш дослідженим, має добре вивчений клас безмежно подільних законів розподілу (частинні випадки: закони Гаусса, Пуассона, Коші, гамма, марковські процеси та інші) та найбільш широке коло областей практичного використання.

Модель виду (1) дає можливість використати в якості компонент процесу розладки в залежності від постановки задач досліджень як моделі (5)-(7), так і інші моделі циклічного процесу електроспоживання. У подальшому будемо використовувати компоненти $\eta_k(\omega, t)$, як випадковий процес з періодичними незалежними приростами, тому запропонована модель (1) має наступний вид

$$\xi(\omega, t) = \sum_{k=0}^n \eta_k(\omega, t) I(\tau_k, t). \quad (8)$$

Слід також відмітити конструктивну роль процесу розладки при побудові моделі (1) і відповідно (8). Структура процесу розладки дає можливість фіксувати часові моменти розладки періодичної структури процесу електроспоживання. На практиці моменти розладки обгрунтовуються при статистичній обробці даних вимірювань процесу. Враховуючи період процесу $T_\delta = 24$ години, моменти розладки визначаються на дискретній ґратці часової вісі з кроком дискретності 24 години. Таким чином часові моменти розладки для штатного режиму процесу є не випадковими, статистично обгрутованими. Розглянемо наступні задачі дослідження процесу електроспоживання у штатному режимі.

Задачі комп'ютерного моделювання. Метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло) дає можливість комп'ютерного моделювання значної кількості задач електроенергетики. Одною з основних задач моделювання процесу електроспоживання полягає у формуванні баз

реалізації процесу, статистичні характеристики яких адекватно відображали б характеристики реального електроспоживання. Практика комп'ютерного моделювання підтверджує, що враховуючи різноманітність досліджуваних процесів електроспоживання, задача формування баз реалізацій при проведенні комп'ютерного модельованого експеримента має бути конкретизована. Таку конкретизацію можна зробити шляхом статистичної обробки даних вимірювань досліджуваного процесу.

В той же час для вибраної моделі – випадкового процесу з незалежними періодичними приростами для процесу електроспоживання можна запропонувати типову методику створення бази реалізацій процесу. Реалізація такої методики базується на використанні програмних пакетів Matlab, Mathcad, та інших і включає в себе наступну послідовність основних операцій при формуванні бази даних вимірювань досліджуваного процесу електроспоживання на часовому інтервалі спостереження, який дорівнює одному періоду тривалістю $T_q = 24$ години :

- послідовність псевдовипадкових чисел з рівномірним законом розподілу з об'ємом $n = \ell \cdot 24$, де $\ell \in N$ (рекомендується $\ell = 1, 2, 6, 12, 30, 60, 120$);

- гауссову послідовність;
- пуассонівську послідовність.

Наведені операції є відомими. Специфіка при формуванні реалізацій досліджуваного процесу електроспоживання полягає в наступних операціях, а саме:

- формування φ – серій реалізацій процесу часовою тривалістю в один період як вагової суми гауссової та пуассонівської компонент, при цьому вагові коефіцієнти яких вибираються в області значень:

- а) при включенні $\alpha_+ \in (0, 1)$;
- б) при виключенні $\alpha_- \in (-1, 0)$;

Нагадаємо, що φ – серії реалізацій це матриця, де кожна строчка – це реалізація одного періоду випадкового процесу з незалежними періодичними приростами, а число стовпчиків задається постановкою задачі комп'ютерного моделювання.

Природно, що використання запропонованої методики на практиці реалізується для заданих відповідних параметрів, характеристик.

Задачі статистичної обробки. Основний метод статистичної обробки нестационарних випадкових процесів – це визначення статистичних оцінок отриманих характеристик процесів шляхом усереднення по ансамблю (серії) реалізацій. Ця теза завжди висвітлюється у наукових працях, але не завжди пропонується, яким чином отримати чи сформуванати бажаний ансамбль реалізацій, які при цьому потрібно використати статистичні критерії? Відмітимо, що отримання відповіді на ці запитання є основними при

організації статистичної обробки даних вимірювань процесу електроспоживання. Використання моделі нестационарного періодичного процесу в певній мірі спрощує формування ансамблю синхронізованих по часу реалізацій відповідних φ -серій. Початок реалізацій 00^{00} годин кожної доби при відомому періоді у 24 години. Але не все так просто. Сформувати необхідно φ -серії однорідних по періодичній структурі реалізацій. Тому виникає перша, але по суті основна статистична задача при заданих даних вимірювань процесу.

Постановка задачі. На основі вибраного статистичного критерія однорідності для заданого масива даних вимірювань φ -серій процесу

$$\{\varphi_i(\tau_k), i = \overline{1, n}, \tau_k \in [0, 24 \text{ год}), k \in N\} \quad (9)$$

сформувати серії однорідних φ' -серій

$$\{\varphi'_{j,m}(\tau_k), j = \overline{1, \ell}, m = \overline{1, s}, s + \ell = n\} \quad (10)$$

В статистичному сенсі однорідність φ -серій означає, що у відповідності із статистичною гіпотезою однорідності дві реалізації належать одній генеральній сукупності досліджуемого процесу. В якості статистичного критерія перевірки гіпотез можна запропонувати χ^2 (χ^2 - квадрат). Після сформування однорідних φ -серій можна продовжити визначення статистичних оцінок характеристик досліджуемого процесу, а саме:

- математичного сподівання, як функції часу;
- дисперсії (середньо квадратичного відхилення), як функції часу та інше.

При цьому використовується статистичний метод усереднення по ансамблю реалізацій.

Коротко зупинимось на аналізі нештатного режиму процесу електроспоживання.

Нештатний режим. Кількість варіантів і різноплановість нештатних режимів процесу електроспоживання створюють певні труднощі при розробці його математичної моделі. Другими словами математична модель описує не типову фізичну модель нештатного режиму, а повинна враховувати певну множину його характеристик властивостей, обумовлених дією значної кількості факторів.

У даній роботі запропонована одна із таких моделей, яка природно не може врахувати всі властивості, особливості нештатного режиму.

Таку модель необхідно розглядати як вхідний процес, тому, наприклад, задача досліджень перехідних явищ у мережі електроспоживання для нештатного режиму зводиться до задачі досліджень відгука мережі електроспоживання на заданий вхідний процес.

При створенні моделі нештатного режиму використовується випадковий процес розладки з випадковими часовими моментами розладки і

випадковими значеннями зміни інтенсивності електроспоживання у порівнянні із штатним режимом.

Це дає можливість обґрунтувати структуру моделі нештатного режиму як мультиплікативну суміш (добуток) двох випадкових процесів, а саме випадкового процесу електроспоживання у штатному режимі помноженого на випадковий процес, який є управляючим процесом розрядки штатного режиму. Ця ідея знайшла відображення у наступному означенні. При цьому два випадкових процесу є незалежними у ймовірнісному сенсі, крім того, управляючий випадковий процес не має фізичної розмірності.

Означення 2. Математична модель $v(\omega, t)$ процесу електроспоживання на часовому інтервалі $t \in [0, T)$ у нештатному режимі є мультиплікативна суміш процесу електроспоживання у штатному режимі $\xi(\omega, t)$ і управляючого випадкового процесу розрядки і відновлення $G(\omega_x, t)$ у виді.

$$v(\omega, t) = \xi(\omega, t)G(\omega_x, t), \quad \omega = (\omega_j, \omega_u, \omega_c), \quad \omega_x = (\omega_u, \omega_c). \quad (11)$$

Для обґрунтування використання моделі загального виду (11), розглянемо конкретний приклад застосування узагальненого пуассонівського процесу $\pi(\omega_x, t)$ як породжуючого процесу $G(\omega_x, t)$, а саме структура, характеристики і ітераційний алгоритм формування реалізацій процесу $G(\omega_x, t)$ визначається формулою.

$$G(\omega_x, t) = \sum_{k=0}^{n(\omega_x, t)} [\Delta\pi_k(\omega_u, \tau_k) + c_k(s_k, t)] / (\tau_k, t). \quad (12)$$

У формулах (11) і (12) використані:

- процес електроспоживання у штатному режимі $\xi(\omega, t)$ виду (8);
- узагальнений пуассонівський випадковий процес з незалежними приростами $\pi(\omega_x, t)$, $\omega_x = (\omega_u, \omega_c)$, який:

а) формує послідовність часових моментів стрибків при реалізації $\omega_c = \Omega_c$ на часовому інтервалі спостереження $t \in [0, T)$

$$\tau_1 < \tau_2 < \dots < \tau_n, \quad \tau_k < t, \quad \tau_0 = 0;$$

б) формує послідовність однаково розподілених випадкових величин

$$\Delta\pi_k(\omega_u, \tau_k) = \pi(\omega_u, \tau_k) - \pi(\omega_u, \tau_k - 0), \quad \Delta\pi_k(\omega_u, \tau_k) \in (0, 1),$$

які утворюють випадковий вектор

$$\Delta\pi(\omega_u, \tau) = (\Delta\pi_1(\omega_u, \tau_1), \dots, \Delta\pi_n(\omega_u, \tau_n));$$

в) формує так званий пуассонівський процес $n(\omega_c, t)$ підрахунку числа появи часових моментів стрибків на інтервалі спостереження $t \in [0, T)$;

- послідовність детермінованих неспадних функцій відновлення $c_k(s_k, t)$, $s_k > \tau_k, t \in [s_k, T)$ процесу електроспоживання у нештатному

режимі після розладки до штатного режиму.

- вектор елементарних випадкових подій $\omega = (\omega, \omega_u, \omega_n)$, компоненти якого обумовлюють випадковість; ω – процес електроспоживання у штатному режимі; ω_u – зміни інтенсивності електроспоживання в момент розладки у нештатному режимі; ω_n – появи стрибків на часовій вісі – часових моментів розладок нештатного режиму.

Для практичних задач дослідження процесу електроспоживання у штатному режимі при комп'ютерному моделюючому експерименті пропонується використовувати умовний випадковий процес виду

$$\bar{v}(\omega, t) = \xi(\omega, t) \sum_{k=0}^n b(\tau_k, s_k, t) I(\tau_k, t) \quad (13)$$

при заданій реалізації $b(\tau_k, s_k, t)$ управляючого випадкового процесу розладки і відновлення $G(\omega_\pi, t)$.

Задачі комп'ютерного моделювання варіантів нештатного режиму процесу електроспоживання можна проводити на основі моделі (13). При цьому використовується як реальна статистика даних вимірювань так і база реалізацій комп'ютерного моделювання процесу у штатному режимі. Вся специфіка нештатного режиму задається варіантами реалізацій управляючого випадкового процесу розладки і відновлення.

Статистична обробка реальних даних вимірювань нештатного режиму у значній мірі залежить від динаміки режиму, реєстрації даних вимірювань і в кожному конкретному випадку має свій особливий характер. Загальна методологія статистичної обробки базується на обробці реалізацій нестационарних випадкових процесів. Слід при цьому відмітити статистичну нестабільність отриманих статистичних оцінок характеристик процесу електроспоживання у нештатному режимі у зв'язку з недостатнім об'ємом реальних даних вимірювань. Пропонується, базуючись на реальних даних вимірювань штатного режиму проводити комп'ютерне моделювання задач досліджень нештатного режиму. Це дає можливість отримати більш статистично обґрунтовані результати дослідження нештатного режиму процесу електроспоживання.

Висновки. Обґрунтована математична модель процесу електроспоживання у штатному режимі як випадковий процес розладки, компонентами якого є випадкові процеси з незалежними періодичними приростами, при цьому кожна компонента має період $T_q = 24$ години, а моментами розладки процесу є часові моменти розладки однорідності періодичної структури компонент. На основі використання запропонованої моделі у штатному режимі: розв'язок задачі комп'ютерного моделювання баз реалізацій процесу електроспоживання базується на формуванні суми гауссовських та пуассонівських компонент з відповідними ваговими

коефіцієнтами включення та виключення споживачів електроенергії; розв'язок задач статистичної обробки реальних даних вимірювань базується на формуванні φ – серій однорідних реалізацій з подальшим визначенням статистичних оцінок характеристик процесу як функцій часу.

Запропонований варіант математичної моделі процесу електроспоживання у нештатному режимі на основі мультиплікативної суміші (добутку) моделі штатного режиму і управляючого випадкового процесу розладки і відновлення. Для практичних задач, у першу чергу для задач комп'ютерного моделювання, запропоновано використовувати модель нештатного режиму як умовний випадковий процес при заданій реалізації управляючого випадкового процесу розладки і відновлення.

Статистична обробка даних вимірювань процесу електроспоживання у нештатному режимі проводиться методами обробки нестационарних випадкових процесів, при цьому, як правило, пропонується малий об'єм реальних даних вимірювань. Тому рекомендується для нештатного режиму результати статистичної обробки реальних даних штатного режиму доповнювати результати комп'ютерного моделювання.

1. Баранов Г.Л., Марченко Б.Г., Приймак М.В. Построение модели и анализ стохастически периодических нагрузок энергосистем // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. – Т.37, №2. – 1991. – С. 12-21
2. Гамм Я.З. Вероятностные модели режимов электроэнергетических систем. – Новосибирск. ВО "Наука". – 1993. – 133с.
3. Марченко Б.Г. Лінійні періодичні процеси // Електроенергетика. – К.: ІЕД НАНУ, 1999. Вип. 3. – с. 111-119.
4. Щербак Т.Л. Меодологія створення статистичних моделей процесів енергоспоживання для штатного і нештатного режимів їх функціонування // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук.пр. ІПМЕ НАНУ. – К., 2008. Вип. 46. – С. 31-39.

Поступила 12.02.2009р.

УДК 621.039.7.001.2

А.В.Яцишин, Є.А. Бахмацький

ОСНОВНІ БЛОК-СХЕМИ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ РАДІАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Актуальність

На теперішній момент складним і практично не вивченим залишається питання про зв'язок стану здоров'я населення з радіоекологічною ситуацією на місці проживання. Для оцінки впливу радіоекологічного чинника на стан