

На Рис.6, в качестве примера, приведена АЧХ микрофона, измеренная с помощью КМО и СК.

1. *Владимирский А.А., Владимирский И.А.* Разработка аппаратно-программного комплекса для акустических измерений. Зб. наук.пр. ІПМЕ НАН України Вип.30, Київ, 2005р.-с.34-37.
2. *Владимирский А.А., Владимирский И.А., Иващенко А.П.* Разработка аппаратно-программного комплекса для измерения времени реверберации в помещениях АПК "Ревербер". Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук.пр. ІПМЕ НАН України. Вип. 42, Київ, 2007р.-с.24-27.

Поступила 16.02.2009р.

УДК 519.218 – 620.92

М.С.Бідний, О.О.Мелешко, Т.Л.Щербак

ОСНОВИ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИКЛІЧНОГО ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ У ШТАТНОМУ РЕЖИМІ

In this article are presented a base methods for making theoretical, imitational and experimental researches in a state mode. Such foundations are used for creation knowledge bases of electroconsumption for organizations.

Використання сучасних інформаційних технологій, а це в першу чергу створення автоматизованих систем вимірювання з статистичною обробкою даних електроспоживання, обумовлює розробку і обґрунтування відповідних методик дослідження процесів електроспоживання адаптованих до конкретних споживачів електроенергії. Застосування таких методик дає можливість створювати бази даних електроспоживання підприємств, організацій, районів, міст та регіонів, на основі яких вирішуються проблеми прогнозу, функціонування галузі електроенергетики і т. д.

В даній роботі пропонується один із варіантів методики досліджень процесу електроспоживання у штатному режимі, базуючись на результатах робіт [1-7].

Спочатку розглянемо умовну структурну схему дослідження основних об'єктів, предметів проведення відповідних операцій з метою послідовного і логічного наведення основ методики досліджень процесу електроспоживання у штатному режимі. Така схема наведена на рис. 1.

Мета створення методики – на основі результатів статистичної обробки даних вимірювань конкретного процесу електроспоживання у штатному режимі створити базу знань досліджуваного процесу з використанням запропонованих математичних моделей, методів

комп'ютерного моделювання та статистичної обробки даних вимірювань.

Об'єкт досліджень – конкретна мережа електроспоживання (підприємство, організація, район, місто, область, регіон).

Предмет досліджень – база знань досліджуваного процесу електроспоживання, в тому числі статистично обґрунтований параметричний простір характеристик, параметрів математичної моделі процесу для використання при проведенні комп'ютерного моделювання, розв'язку задач прогнозу та інше.

Методи досліджень – теорії випадкових процесів, математичної статистики, математичного і комп'ютерного моделювання, теорії вимірювань і цифрової обробки випадкових процесів.

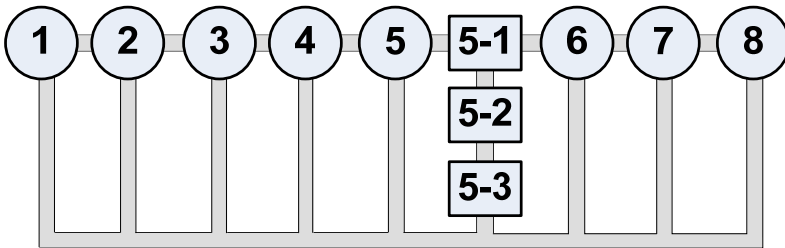


Рис. 1. Умовна структурна схема об'єктів і предметів дослідження процесу електроспоживання

1 – мережі електроспоживання; 2 – вимірювальні системи даних електроспоживання; 3 – фізична модель процесу електроспоживання (ПЕ); 4 – математична модель ПЕ; 5 – методологія і задачі досліджень ПЕ: 5-1 – теоретичні; 5-2 – імітаційні, включаючи комп'ютерне моделювання; 5-3 – експериментальні, включаючи натурний вимірювальний експеримент; 6 – сукупність результатів досліджень; 7 – аналіз результатів досліджень, розробка практичних рекомендацій їх впровадження, прийняття рішень про напрями подальших досліджень; 8 – база даних результатів обробки як основа створення бази знань конкретного процесу електроспоживання;

Основа створення даної методики – це обґрунтована теоретична база досліджень процесу електроспоживання у штатному режимі з використанням:

- випадкового процесу з незалежними періодичними приростами, комбінації гауссівської та пуассонівської компонент якого дають можливість створити широке коло моделей досліджуваних процесів з врахуванням специфіки функціонування споживача електроенергії;

- процесу розладу, який дає можливість у штатному режимі електроспоживання фіксувати часову зміну однорідності статистичних характеристик компонент сумарного процесу електроспоживання;

- основного методу комп'ютерного моделювання реалізацій процесу

електроспоживання у штатному режимі – методу статистичних випробувань (метод Монте-Карло);

- статистичного методу перевірки гіпотез однорідності статистичних характеристик процесу електроспоживання для формування відповідних φ -серій однорідних реалізацій періодичного процесу, який належить одній генеральній сукупності;

- статистичного методу усереднення по ансамблю сформованих φ -серій однорідних реалізацій досліджуваного процесу з метою визначення статистичних оцінок характеристик нестационарного періодичного процесу, в першу чергу математичного сподівання, дисперсії як функції часу;

- методу стаціонаризації при статистичній обробці створених φ -серій однорідних реалізацій досліджуваного процесу з метою визначення стаціонарної модифікації процесу, як одної з статистичних характеристик нестационарного періодичного процесу.

Основний зміст методики.

Базовими розділами даної методики є наступні:

1. Аналіз, оцінка функціонування мережі електроспоживання, інформаційно-вимірювальних систем, комплексів електролічильників, зареєстрованих даних вимірювань електроспоживання за певний часовий інтервал спостереження, як правило, за один або декілька календарних років.

2. Статистична обробка даних вимірювань процесу електроспоживання у штатному режимі. Визначення статистичного обґрунтованого параметричного простору характеристик процесу з метою конкретизації фізичної та математичної моделі досліджуваного процесу.

3. Аналіз отриманих результатів дослідження і створення бази знань конкретного процесу електроспоживання у штатному режимі.

Більш детально зупинимось на суті таких розділів методики досліджень використовуючи результати [1-7].

- 1.1. Найбільш вагома інформаційна складова мережі електроспоживання – це статистичні дані вимірювань електроспоживання за певний період часу спостереження, характеристики у часі і просторі споживачів електроенергії, дані природних метеорологічних факторів, характеристики інформаційно-вимірювальних систем, включаючи комплекси електролічильників та інше. При створенні фізичної моделі штатного режиму процесу електроспоживання враховується дія наступних факторів:

- штатний режим функціонування систем електропостачання (енергозабезпечення) і електроспоживання;

- циклічний, добовий характер процесів з періодом $T_0 = 24$ години, обумовлений обертанням Землі навколо своєї вісі;

- стохастичність у часі і просторі моментів включення, виключення споживачів електроенергії, а також часової тривалості споживання електроенергії;

- значний динамічний діапазон потужності споживання енергії за часом, значення якого можна описати випадковим процесом;
- незалежний дії споживачів електроенергії в часі і просторі;
- просторова і кількісна характеристики споживання електроенергії;
- природні і метеорологічні умови;
- професійне обслуговування технічних систем.

Природно, що конкретна фізична модель процесу враховує в тій чи іншій мірі дії притаманні їй факторів, а типова фізична модель – враховує практично дії всіх факторів.

2.1. Для статистичної обробки даних вимірювання електроспоживання на інтервалі спостереження $t \in [0, T)$ задано ансамбль реалізацій періодичних з періодом $T_0=24$ години (одна доба) випадкових нестационарних процесів з дискретним часом $\{t_j, j = \overline{0, m}\}$ у виді матриці

$$\left\| \begin{array}{cccc} x_0(0) & x_0(t_1) & \dots & x_0(t_m) \\ x_1(0+T_0) & x_1(t_1+T_0) & \dots & x_1(t_m+T_0) \\ x_2(0+2T_0) & x_2(t_1+2T_0) & \dots & x_2(t_m+2T_0) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_n(0+nT_0) & x_n(t_1+nT_0) & \dots & x_n(t_m+nT_0) \end{array} \right\|, \quad (1)$$

де $t \in [0, 24)$, $j = \overline{0, m}$, $(n+1)T_0=T$, а дискретна часова ґратка $\{t_j, j = \overline{0, m}\}$, як правило, є рівномірною з кроком Δt і задана на одному періоду T_0 .

Сучасні системи вимірювань потужності електроенергії мають можливість забезпечити дискретність вимірювань з кроком $\Delta t=1$ хвилини і менше. Реалізації (1) мають розмірність потужності електроенергії у Вт, кВт, МВт.

У даній методиці пропонується згідно з математичною моделлю процесу електроспоживання у штатному режимі наступна послідовність статистичної обробки даних вимірювань (1).

2.1.1. Перший етап статистичної обробки полягає у формуванні φ -серій однорідних реалізацій, тобто реалізацій одного періодичного з відомим періодом $T_0 = 24$ години випадкового процесу. Математична модель досліджуваного процесу на інтервалі часу спостереження $t \in [0, T)$, визначається процесом розладку електроспоживання для штатного режиму у виді

$$\xi(\omega, t) = \sum_{i=0}^k \zeta_i(\omega, t) I(\tau_i, t), \omega \in \Omega, \quad (2)$$

де число розладів $i = \overline{0, k}$ в часові моменти $\{\tau_i, \tau_s < t\}$ однорідності

статистичних характеристик компонент векторного періодичного з періодом T_0 процесу

$$\zeta(\omega, t) = (\zeta_1(\omega, t), \dots, \zeta_k(\omega, t)), \quad (3)$$

а кожна з компонент $\zeta_i(\omega, t) \in$ випадковим періодичним з періодом T_0 процесом, який заданий на всій часовій вісі $t \in (-\infty, \infty)$ або піввісі $t \in (0, \infty)$.

Індикаторна функція $I(\tau_j, t)$ у виразі (2) визначається так

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

Кожний конкретний процес електроспоживання для заданого часового інтервалу спостереження характеризується конкретним значенням k . Два крайніх випадки для річного часового інтервалу спостереження, а саме:

- $k=0$, тобто всі реалізації (1) належать одному періодичному процесу $\zeta_0(\omega, t)$, тобто за рік не має місце порушення однорідності;
- $k=365$ (366), кожна з реалізацій (1) належить тільки одній компоненті $\zeta_i(\omega, t), i = \overline{0, k}$.

Тому на практиці, як правило, має місце

$$0 < k < 365. \quad (5)$$

Дана методика пропонує наступну послідовність операцій формування φ -серій однорідних реалізацій при заданій матриці (1).

2.1.1.1. Задаються дві статистичні гіпотези:

- основна H_0 полягає в тому, що дві реалізації $x_0(t_j)$ і $x_1(t_j)$, далі $x_1(t_j)$ і $x_2(t_j)$ і т.д. належать одній генеральній сукупності;
- альтернативна гіпотеза H_1 полягає у тому, що дві реалізації $x_l(t_j)$ і $x_{l+1}(t_j)$ не належать одній генеральній сукупності і її підтвердження визначає часовий момент розладу досліджуваного процесу.

2.1.1.2. Порівняння статистичних характеристик реалізацій, наприклад, гістограми їх варіаційних рядів з використанням статистичного критерія перевірки двох гіпотез, наприклад, χ^2 (хі-квадрат) при заданому рівні значимості (наприклад, $\alpha = 0,05$) дає можливість сформувати відповідно φ -серій однорідних реалізацій у кількості $d+1$, тобто маємо

$$\left\| \begin{array}{cccc} \varphi_0^o(t_j), \varphi_1^o(t_j), \dots, \varphi_{i_0}^o(t_j) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \varphi_0^d(t_j), \varphi_1^d(t_j), \dots, \varphi_{i_d}^d(t_j) \end{array} \right\|, \quad (6)$$

де кожна $\varphi_i^d(t_j) = \{x_i(0 + iT_0), \dots, x_i(t_m + iT_0)\}$, а $\sum_{k=0}^d i_k = n$.

Таким чином, кожна строчка матриці (6) є множиною φ -серій однорідних реалізацій – реалізацій одного випадкового процесу, який є компонентою вектора (3). По суті матриця (1) перетворюється у $d+1$ відповідних блочних матриць, кожним блоком є множина φ -серій однорідних реалізацій. На часовому інтервалі спостереження $t \in [0, T)$ таке розбиття матриці (1) ставить у відповідність розбиття інтервалу спостережень на часові інтервали однорідності статистичних характеристик процесу електроспоживання у штатному режимі, а межі таких інтервалів визначаються часовими моментами розладки однорідності процесу.

2.1.2. Другий етап статистичної обробки у повній мірі використовує сформовані φ -серії однорідних реалізацій і на основі застосування відомого методу статистичної обробки нестационарних процесів – усереднення по ансамблю реалізацій для кожної конкретної g -ої φ -серії однорідних реалізацій обчислюють статистичні оцінки:

- математичного сподівання по формулі

$$\hat{\alpha}_g(t_j) = \frac{\sum_{k=0}^{i_g} \varphi_k^g(t_j)}{i_g}, t_j \in (0, 24), j = \overline{0, m}; \quad (7)$$

- дисперсії по формулі

$$\hat{\delta}_g^2(t_j) = \frac{\sum_{k=0}^{i_g} [\varphi_k^g(t_j) - \hat{\alpha}_g(t_j)]^2}{i_g - 1}. \quad (8)$$

Таким чином на другому етапі статистичної обробки даних вимірювань (1) отримуємо дві послідовності статистичних оцінок процесу (2), а саме:

- математичного сподівання

$$\hat{\alpha}_g(0), \hat{\alpha}_g(t_1), \dots, \hat{\alpha}_g(t_m) \quad (9)$$

- дисперсії

$$\hat{\delta}_g^2(0), \hat{\delta}_g^2(t_1), \dots, \hat{\delta}_g^2(t_m) \quad (10)$$

для кожної з $g = \overline{0, i_d}$ φ -серії однорідних реалізацій.

2.1.3. Третій етап статистичної обробки даних вимірювань (1) полягає в обчисленні стаціонарної модифікації g -ої φ -серії однорідних реалізацій на основі використання статистичного методу стаціонаризації [1]. Обчислення стаціонарної модифікації приводиться з використанням наступного алгоритму

$$\alpha_i^g(t_j) = \frac{x_i(t_j + iT_0) - \hat{\alpha}_g(t_j)}{\sqrt{\delta_g^2(t_1)}}, j = \overline{0, m}. \quad (11)$$

Таким чином для кожної g -ої φ -серії однорідних реалізацій отримуємо φ -серію реалізацій стаціонарної модифікації відповідної періодичної компоненти (3).

3.1. Аналіз результатів досліджень. Природно, що даний розділ методики є основним. У кожній організації, підприємстві існує відповідна методика підрахунку даних електроспоживання за тиждень, місяць, квартал і рік. Але наукова складова у таких методиках, як правило, відсутня. Тому адаптація і включення наукової складової у відповідні бази даних вимірювань мають за мету створити базу знань електроспоживання організації.

Дана методика у відповідності з структурною схемою послідовності операцій дослідження (рис. 1) пропонує адаптувати наукову складову при створенні бази знань електроспоживання організації з використанням діючої методики накопичення та звітності даних вимірювань електроспоживання. В таку наукову складову пропонується включити наступні розділи результатів виконаних досліджень.

3.1.1 Результати загального характеру досліджень на заданому часовому інтервалі спостереження (місяць, сезон, рік) процесу електроспоживання для штатного режиму:

- поточні зміни фізичної моделі мережі електроспоживання з урахуванням зміни характеристик споживачів електроенергії, дії природних, метеорологічних та інших факторів при формуванні та функціонуванні процесу електроспоживання;
- статистичні дані вимірювань електроспоживання з урахуванням характеристик точності системи вимірювань, при цьому реєструється максимальна статистика вимірювань з потенціально можливим найменшим кроком дискретності вимірювань по часу без попереднього усереднення.

3.1.2 Результати теоретичних досліджень і статистичної обробки даних вимірювань електроспоживання:

- загальна математична модель процесу електроспоживання на заданому часовому інтервалі спостереження;
- конкретизація моделі по результатам статистичної обробки даних вимірювань і обчислень:
 - a) часових інтервалів однорідності періодичності структури компонентів моделі і формування відповідних φ -серій однорідних реалізацій;
 - b) статистичної оцінки математичного сподівання процесу шляхом усереднення по ансамблю φ -серій однорідних реалізацій на заданій дискретній ґратці часу одного періоду $t \in [0, 24]$ спостереження;
 - c) статистичної оцінки дисперсії (середньоквадратичного відхилення)

процесу;

d) стаціонарної модифікованої φ -серій однорідних реалізацій процесу.

3.1.3 Результати досліджень при проведення комп'ютерного моделюючого експерименту:

- алгоритми, програмне забезпечення формування баз φ -серій однорідних реалізацій, статистичної обробки реалізацій процесу.
- бази φ -серій однорідних реалізацій і результати статистичної обробки даних моделювання.
- тестовий приклад статистичної обробки реалізацій процесу електроспоживання з визначеними характеристиками точності обчислення статистичних оцінок з метою регламентного перевірки програмного забезпечення статистичної обробки даних вимірювань.

Висновки. Наведені основи запропонованого варіанту методики досліджень процесу електроспоживання у штатному режимі базується на використанні математичної моделі процесу у виді випадкового процесу розладку однорідності статистичних характеристик компонент процесу у штатному режимі. Розкритий зміст основних розділів запропонованої методики, а саме: розділ аналізу і оцінки функціонування мережі електроспоживання у штатному режимі, розділ статистичної обробки даних вимірювань електроспоживання і розділ аналізу отриманих результатів дослідження з метою створення бази знань електроспоживання організації.

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.1. – С.111-119.
4. Нечипорук В.В. Стаціонаризація кусково-нестационарних пуассонівських процесів відмов //Технічна електродинаміка. - К.: ІЕД НАНУ, 2004. – Вип.6. – С.115-118.
5. Нечипорук В.В., Щербак Т.Л. Метод стаціонаризації випадкових періодичних процесів на прикладі моделі циклічного процесу електроспоживання // Зб. наук.пр. ІПМЕ НАНУ. – К.: ІПМЕ НАНУ, 2009 .
6. Щербак Т.Л. Методологія створення статистичних моделей процесів енергоспоживання для штатного і нештатного режимів їх функціонування // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук.пр. ІПМЕ НАНУ. – К.: ІПМЕ НАНУ, 2008. Вип. 46. – С. 31-39.
7. Щербак Т.Л. Моделі і задачі досліджень циклічного процесу електроспоживання // Збірник наукових праць. ІПМЕ НАНУ. – К.: ІПМЕ НАНУ, 2009 .

Поступила 11.02.2009р.