

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ НА ТРИВАЛИХ ІНТЕРВАЛАХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Abstract. The relevance of the researching of the process of electricity consumption at the level of individual organizations is substantiated. The process of electric power consumption of the organization at long periods of observation is proposed in the common form of a vector random process that consists of three components: the integral trend component, the sum of the oscillating components with different periods of oscillation and the stochastic component.

Вступ

Науково-технічній проблематиці в сфері електроенергетики присвячено багато робіт, в тому числі [2 – 8]. Актуальність таких досліджень для України зумовлена, зокрема, обмеженістю запасів природних енергоносіїв та постійним їх подорожчанням. Значна кількість досліджень присвячена вивченню закономірностей електроспоживання в масштабах міст, регіонів, галузей народного господарства, цілої держави. При цьому кількість публікацій, присвячених дослідженню електроспоживання окремо взятих організацій, є незначною. В той же час результати таких досліджень є актуальними і дають можливість:

- здійснювати моніторинг поточних та інтегральних (сукупних) характеристик електроспоживання організації;
- оптимізувати режими роботи організації та її підрозділів;
- перерозподіляти пікові навантаження;
- вживати заходів для економії електроенергії та коштів з урахуванням специфіки і технології роботи споживачів;
- розробляти адекватні математичні моделі для розв'язання задач прогнозу електроспоживання;
- розробляти і впроваджувати автоматизовані системи контролю та моніторингу електроспоживання.

Актуальним з теоретичної і практичної точок зору є дослідження процесу електроспоживання організації на тривалих інтервалах часу. Результати таких досліджень дають можливість визначити як загальну динаміку процесу так і його особливості, характерні для окремих періодів часу, а також спрогнозувати характер процесу в майбутньому для організації.

Постановка завдання

Обґрунтувати метод статистичного аналізу даних вимірювань електроспоживання організації, провести з його допомогою статистичну обробку цих даних і обґрунтувати загальну математичну модель процесу електроспоживання організації на тривалих інтервалах спостереження.

Вирішення завдання

Відомо два основних методи обґрунтування математичної моделі випадкових процесів:

- 1) на основі аналізу апіорних даних про досліджуваний процес;
- 2) на основі аналізу експериментальних даних про досліджуваний процес, а саме конкретної реалізації (ансамблю реалізацій) випадкового процесу.

Другий метод не завжди можна використати у зв'язку із відсутністю експериментальних даних. У нашому випадку внаслідок значного діапазону характерних особливостей та різноплановості режимів роботи організацій саме другий метод може принести ефективний результат. Специфіка формування процесу електроспоживання кожної конкретної організації зумовлена топологією обладнання (фактично, споживачами електроенергії), режимами і графіком його роботи, дією співробітників організації.

У фізичній моделі процесу електроспоживання потрібно врахувати дію багатьох, часто незалежних між собою споживачів. При цьому, випадковими є моменти їх ввімкнення і вимкнення а також тривалості сеансів їх роботи. Просторовим розміщенням споживачів, як правило, нехтують, оскільки в переважній більшості випадків їх просторові координати залишаються незмінними. Також на електроспоживання впливають періодичність діяльності співробітників організації, зумовлена обертанням Землі навколо своєї осі, та природними факторами (природними та кліматичними умовами). В цілому, процес електроспоживання можна вважати інформативною характеристикою функціонування організації, оскільки він відображає специфіку і режими роботи організації та її підрозділів.

Обґрунтуємо математичну модель процесу електроспоживання організації на тривалих інтервалах часу (квартал, рік). Очевидно, що в силу стохастичної природи даного процесу, при математичному його описі доцільно застосувати теорію випадкових процесів. В загальному випадку він є досить складним, нестационарним випадковим процесом, який формується під впливом багатьох факторів, специфічних для конкретної організації. При дослідженні випадкових процесів на тривалих інтервалах часу застосовують такі математичні моделі, які дозволяють виділити з процесу інтегральну складову, яку прийнято називати трендом. Тренд показує загальний характер розвитку процесу в часі, а всі інші складові, отримані після вилучення тренду, є наслідком сезонних та випадкових факторів формування процесу.

В даній роботі для досліджень представлено два часових ряди електроспоживання однієї із організацій міста Тернополя (рис. 1 та рис. 2). Крок накопичення даних – одна година. По суті, розглядається один і той же процес електроспоживання на двох різних періодах часу, кожен довжиною в один рік.

Одним із показників, який можна застосувати в якості характеристики часового ряду процесу електроспоживання є інтегральна величина електроспоживання, фактично, сума всіх відліків процесу на інтервалі часу

дослідження. В нашому випадку, для 2007 року це $87,3 \cdot 10^6$ Вт, а для 2016 року – $66,3 \cdot 10^6$ Вт.

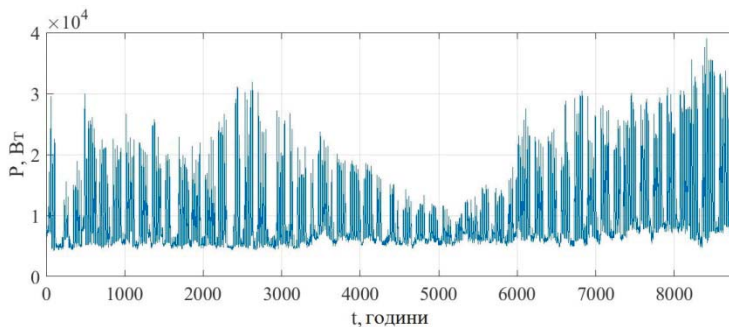


Рис. 1. Графік реалізації процесу електроспоживання організації протягом 2007 року

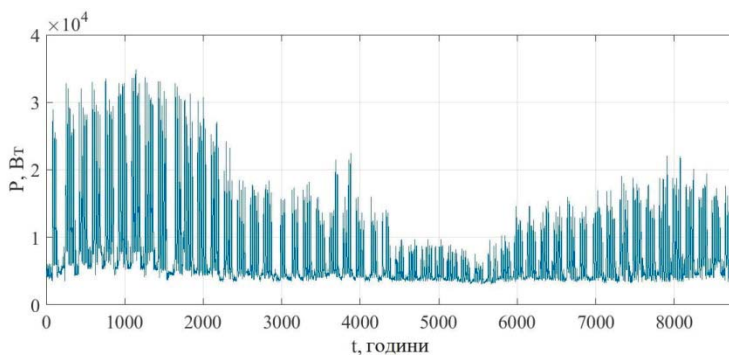


Рис. 2. Графік реалізації процесу електроспоживання організації протягом 2016 року

Відомо ряд методів дослідження випадкових процесів на тривалих інтервалах часу, зокрема: емпірична модова декомпозиція (EMD), авторегресія та проінтегроване ковзне середнє (ARIMA), метод групового врахування аргументів (МГУА), сингулярний спектральний аналіз “Гусениця-SSA”. На основі результатів проведеного попереднього аналізу та статистичного опрацювання даних вимірювань процесу електроспоживання з використанням вказаних методів декомпозиції часових рядів було встановлено, що найбільш ефективним методом є “Гусениця-SSA” [1, 9]. Даний метод з-поміж інших виділяється своєю адаптивністю, яка дозволяє врахувати специфіку кожного конкретного часового ряду і полягає в можливості вибору дослідником параметра – довжини часового вікна (фактично, кількості відліків процесу). Характерною особливістю тут є

необхідність наявності в дослідника певного досвіду по застосуванню “Гусениці”, на основі якого він зможе адекватно підібрати довжину вікна. Метод має в своїй основі відповідну математичну базу і вже встиг зарекомендувати себе як потужний інструмент для досліджень часових рядів.

Метод “Гусениця-SSA” дає можливість розкласти продискретизовану з певним кроком Δt реалізацію випадкового процесу (часовий ряд) на складові:

$$\xi(\omega, t) = A(t) + \sum_{i=1}^k b_i(t) + \varepsilon(\omega, t) = A(t) + B(t) + \varepsilon(\omega, t), \quad \omega \in \Omega, \quad t \in [0, T], \quad (1)$$

де:

- інтегральна трендова компонента $A(t)$ описує функціональну залежність інтенсивності електроспоживання в часі, зумовлену дією всієї сукупності факторів, є детермінованою функцією з випадковими початковими умовами;

- $B(t)$ – сума періодичних складових $b_i(t)$, $i = \overline{1, k}$ із різними періодами коливання. Кожна періодична складова характеризує періодичний характер формування процесу електроспоживання і є періодичною детермінованою функцією з випадковими початковими умовами, наявність якої зумовлена періодичними факторами формування процесу електроспоживання;

- стохастична компонента (шум) $\varepsilon(\omega, t)$ враховує стохастичну природу всіх факторів формування і описується випадковим процесом, стохастичність відліків якого проявляється на всьому інтервалі часу спостережень;

- T – часовий інтервал спостереження.

Основні з компонент, із найбільшою часткою вкладу в реалізацію вихідного процесу електроспоживання, отриманих в результаті розкладу, наведено на рис. 3 – 5.

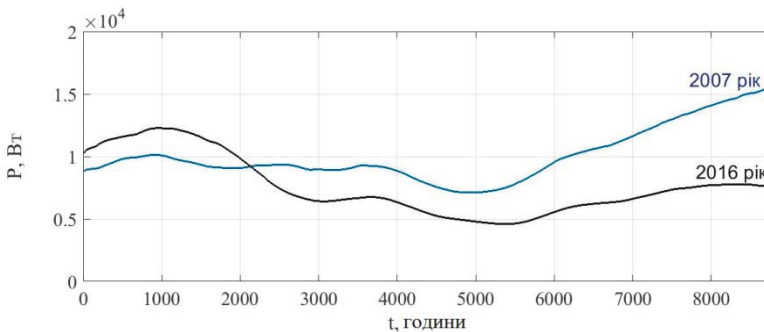


Рис. 3. Графіки трендів досліджуваних реалізацій процесу електроспоживання

Вклад трендових складових у вихідний часовий ряд електроспоживання – на рівні 70-80% (77% для 2007 року та 71% для 2016 року).

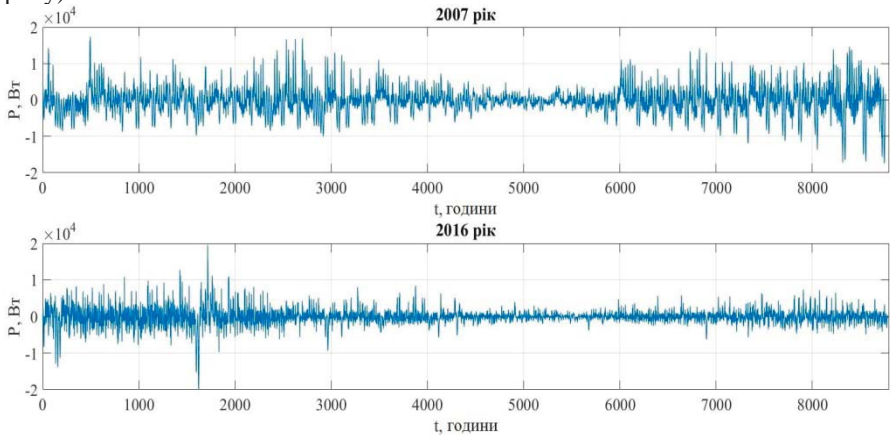


Рис. 4. Графіки складових стохастичного характеру досліджуваних реалізацій процесу електроспоживання

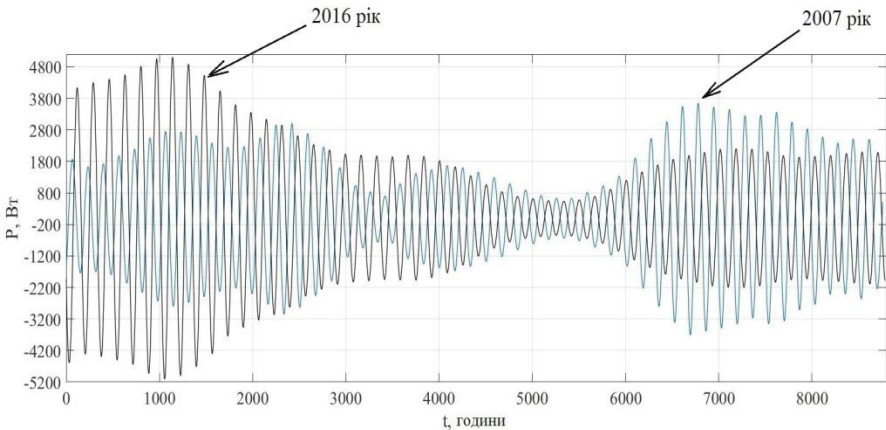


Рис. 5. Графіки складових коливного характеру досліджуваних реалізацій процесу електроспоживання із періодом коливання в один тиждень

Аналіз отриманих результатів дослідження дозволяє підтвердити апіорно висунуту гіпотезу про зміну характеру процесу електроспоживання між 2007 та 2016 роками, зокрема:

- сумарне споживання електроенергії організацією в 2016 році зменшилося, у порівнянні з 2007 роком, на 24,1%. Це може бути пов'язано із поступовою заміною обладнання на енергоекономне (світлодіодні лампи та лампи денного світла, комп'ютери, принтери і т.д.);

- в холодну пору року (січень, лютий, частково березень) споживання електроенергії більше у 2016 році, ніж в 2007 році, внаслідок застосування електрообігрівачів;

- при однаковій довжині вікна у 672 години (4 тижні) стохастична компонента часового ряду 2016 року є більш симетричною у порівнянні з 2007 роком відносно нульової осі інтенсивності електроспоживання. Це свідчить про кращу збалансованість навантаження на електромережу організації в 2016 році, порівняно із 2007 роком.

Отримані за допомогою методу “Гусениця-SSA” результати дають можливість обґрунтувати математичну модель процесу електроспоживання на тривалих інтервалах спостереження у вигляді вектора

$$\xi(\omega, t) = (A(t), B(t), \varepsilon(\omega, t)), \quad \omega \in \Omega, \quad t \in [0, T], \quad (2)$$

який має три складові: трендову компоненту $A(t)$; сума складових коливного характеру $B(t)$ та складову стохастичного характеру $\varepsilon(\omega, t)$.

Для дискретного випадку модель має вигляд:

$$\xi(\omega, t_j) = (A(t_j), B(t_j), \varepsilon(\omega, t_j)), \quad \omega \in \Omega, \quad j = \overline{1, n}, \quad (3)$$

де послідовність (t_j) є дискретною на часовій осі.

В загальному випадку, моделі (2, 3) можуть містити комбінації із трьох компонентів в різних варіаціях, в тому числі, окремі складові можуть бути відсутніми.

Висновки

В роботі проведено дослідження процесу електроспоживання однієї із організацій міста Тернополя на двох інтервалах часу, кожен довжиною в один рік. Отримані результати статистичної обробки експериментальних даних з використанням методу “Гусениця-SSA” дозволили обґрунтувати математичну модель процесу електроспоживання організації на тривалих інтервалах спостереження у вигляді вектора, який складається із трьох складових: трендової компоненти, суми коливних складових з різними періодами коливання і компоненти стохастичного характеру.

Результати дослідження дають можливість підтвердити апріорно висунуту гіпотезу про зміну характеру процесу електроспоживання організації, а також слугують базою для розробки подальших рекомендацій керівництву організації стосовно споживання електроенергії в майбутньому.

1. *Голяндина Н.Э.* Метод “Гусеница”-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. 76 с.

2. *Жаркін А.Ф., Новський В.О., Палачов С.О.* Нормативно-технічне регулювання якості напруги в електричних мережах з джерелами розосередженої генерації // Технічна електродинаміка. – 2016. – № 3. – С.55-57.

3. Кузнецов В.Г., Тугай Ю.І. Підвищення надійності та ефективності магістральних електричних мереж. Праці ін-ту електродинаміки. Київ, ІЕД НАН України. – 2009. – Вип. 23. – С.110-117.
4. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 5. – С.52-67.
5. Стогній Б.С., Сонель М.Ф. Основи моніторингу в електроенергетиці. Про поняття моніторингу // Технічна електродинаміка. – 2013. – № 1. – С.62-69.
6. Шидловська Н.А., Васецький Ю.М., Мислович М.В., Хімюк І.В. Розвиток наукових досліджень у напрямку забезпечення надійної та безвідмовної роботи електроенергетичних систем та їх елементів. Праці ін-ту електродинаміки. Київ, ІЕД НАН України. – 2013. – Вип.35. – С.107-116.
7. Шидловський А.А., Ковалко М.П., Вишневський І.М. та інші. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття. – К.: УЕЗ. – 2001. – 400 с.
8. Щербак Т.Л. Моделі і задачі досліджень циклічного процесу електроспоживання. //Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ ім. Г.С. Пухова НАН України. – Вип.50. – К.: 2009. – С.49-56.
9. Golyandina N.E., Nekrutkin V.V., Zhigljavsky A.A. Analysis of Time Series Structure: SSA and Related Techniques. Boca Raton: Chapman&Hall/CRC, 2000. – 305 p.

Поступила 1.02.2018р.

УДК 004.031.42:004.422.833:004.514

В.І. Дубук, Львів
М.В. Чорний, Львів

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ГРАФІЧНИМ ЛЮДИНО-МАШИНИМ ІНТЕРФЕЙСОМ В ІНФОРМАЦІЙНО- АНАЛІТИЧНІЙ СИСТЕМІ ОЦІНКИ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Abstract. The features of human-machine interface of software for market of electrical energy estimation are considered, analyzed and estimated. The software with graphical users interface which can be utilized as part of informational-analytical system for electrical energy market estimation is created.

Актуальність

Задача визначення оцінки ринку послуг постачання електричної енергії за критерієм насиченості ринку послугами є актуальною для практики менеджменту інвестицій, менеджменту маркетингу енергогенеруючих компаній різних форм власності та державного антимонопольного регулювання ринку. Для розв'язання вказаної задачі автоматизованим методом з вико- ристанням інформаційно-аналітичних систем та технологій автоматизованої під- тримки прийняття рішень повинно бути розроблене і застосоване на практиці