

УДК 621.311:681.3

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАТИСТИЧНОЇ ОДНОРІДНОСТІ ДОБОВИХ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ КОРОТКОСТРОКОВОМУ ПРОГНОЗУВАННІ НАВАНТАЖЕННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

П.О. Черненко, докт. техн. наук, **О.В. Мартинюк**, канд. техн. наук, **А.І. Заславський**, пров. інж.

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

Розроблено двоетапну методику достовіризації вихідної інформації про погодинні добові графіки електричного навантаження енергоємних підприємств, що дає змогу врахувати добову нерівномірність та трендову складову зміни електричного навантаження в часі. Розроблені на основі цієї методики алгоритм та експериментальна програма забезпечують виявлення та виключення явних і неявно виражених трикутних і трапецієподібних викидів. При відновленні трапецієподібних викидів враховується характер їх зміни. Точність та однозначність процедури достовіризації забезпечується запропонованим переходом від статистичної обробки нестационарного випадкового процесу до випадкової величини та коректним застосуванням критерію Чебишева залежно від типу розподілу вибірки (гаусівського, унімодалного, або довільного). Методика достовіризації апробована шляхом проведення багаточисельних розрахунків за даними навантаження енергоємних підприємств ПАТ «Дніпрообленерго» на річному інтервалі часу. Бібл. 5, рис. 6, таблиця.

Ключові слова: достовіризація, аномальні значення, критерій Чебишева, електричне навантаження, енергоємні підприємства.

Вихідною інформацією для розв'язання задач планування режимів електроенергетичних систем (ЕЕС) є результати короткострокового прогнозування електричного навантаження (ЕН) на інтервал упередження від однієї до семи діб. У більшості опублікованих робіт, присвячених короткостроковому прогнозуванню ЕН, враховується вплив лише метеорологічних факторів (температури повітря, хмарності тощо) [1]. Специфічною особливістю енергооб'єднання України є наявність у структурі її електричного навантаження великої частки ЕН енергоємних підприємств. Зокрема, 50 найбільших з них перебувають на добовому контролі в ДП «Держенергонагляд» та споживають близько 20 % сумарного електричного навантаження ОЕС України. Підприємства працюють неперервно, отже, їх навантаження практично не має тижневої періодичності, а також слабо залежить від різких коливань температури повітря. Не врахування в явному вигляді режиму роботи енергоємних підприємств може призвести до виникнення великих похибок прогнозування ЕН ЕЕС. Це обумовлюється тим, що при глибоких та тривалих змінах ЕН ЕП викривлюється математична модель впливу метеорологічних факторів на електричне навантаження енергосистеми з перевагою промислового електроспоживання [5].

Ряд спеціалістів Мінпаливенерго вважає, що режим роботи енергоємних підприємств досить стабільний і їх врахування як окремого зовнішнього фактора не призведе до підвищення точності результатів прогнозування ЕН ЕЕС. Проте аналіз добових графіків енергоємних підприємств, які входять в ПАТ «Дніпрообленерго», показав, що така позиція суперечить реальним даним. Наприклад, на рис. 1 наведено графік сумарного добового споживання електроенергії 16-ма енергоємними підприємствами Дніпропетровської області, на якому можна спостерігати різко виокремлені значення. Ці аномальні значення електроспоживання можуть бути класифіковані за природою виникнення. До першої групи належать викиди, спричинені збоями в системах збору, передачі й обробки даних (перша група викидів) або ж через помилку персоналу. Викиди другої групи характеризуються реальною зміною навантаження внаслідок аварійного відключення електроспоживачів чи планового відключення потужного електроустаткування енергоємних підприємств, обумовленого технологічними та економічними чинниками.

Тривалість викидів може становити від однієї години (одиначний трапецієподібний викид, що належить переважно до першої групи), до кількох діб (трапецієподібний викид).

Очевидно, що перша група викидів, а також час виникнення, тривалість і величина відключеного в результаті аварії навантаження мають стохастичну природу і не прогнозовані в принципі. Для прогнозування залежності навантаження енергоємних підприємств від економічної кон'юнктури ринку їх продукції потрібна інформація, що становить комерційну таємницю. В той же час наявність у вибірці вихідної інформації аномальних даних призводить

до викривлення математичної моделі впливу на електричне навантаження зовнішніх факторів, що спричиняє зниження точності та стабільності результатів прогнозування. Для усунення зазначеного негативного впливу необхідно проводити попередній аналіз вихідної інформації на достовірність та заміщати виявлені викиди ЕН спеціальним чином розрахованими значеннями.

За результатами проведених досліджень запропоновано алгоритм достовіризації електричного навантаження енергоємних підприємств, що дає змогу статистично коректно виявляти як одиничні, так і групові аномальні дані та проводити коригування навантаження на рівні енергоємних підприємств і енергосистеми з урахуванням природи виникнення викидів та їх тривалості. Методика ідентифікації аномальних значень апробувалась на реальних даних добових графіків ЕН енергоємних підприємств Дніпропетровської області.

Проведений аналіз електричного навантаження енергоємних підприємств за річний інтервал передісторії показав неоднорідність вихідної вибірки даних, наявність слабо виражених сезонних коливань та трендової складової ЕН. На рис. 2 представлено усереднений за період з 27.10.13 по 31.03.2014 (зимовий сезон) добовий графік електричного навантаження 16-ти енергоємних підприємств Дніпропетровської області.

Внаслідок активного використання тризонного тарифу обліку електроенергії зниження споживання електроенергії підприємствами в періоди ранкового та вечірнього максимумів добового графіка ОЕС України (8-10 год, 19-21 год) з одночасним завантаженням в нічний період. Електричне навантаження енергоємних підприємств слабо залежить від різких коливань температури повітря (коефіцієнт кореляції $< 0,63$), проте пов'язане з глибокими сезонними змінами температури (коефіцієнт кореляції $> 0,77$). Наявність внутрішньодобових змін ЕН енергоємних підприємств не дозволяє застосовувати статистичні методи ідентифікації аномальних значень безпосередньо до всієї вибірки вихідних значень електричного навантаження. Вплив температури та трендові коливання ЕН ЕП призводять до порушення однорідності загальної вибірки даних, наслідком чого є відмінність значень статистичних характеристик (математичного очікування та дисперсії вибірки) на різних її інтервалах.

Для усунення добової неоднорідності запропоновано проводити достовіри-

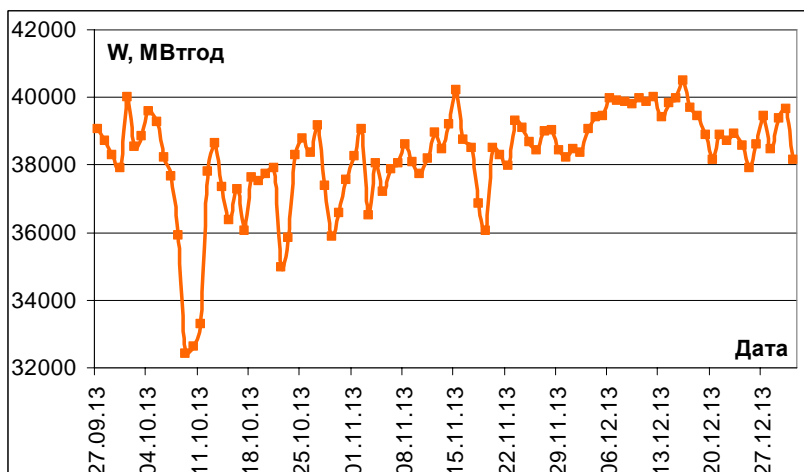


Рис. 1

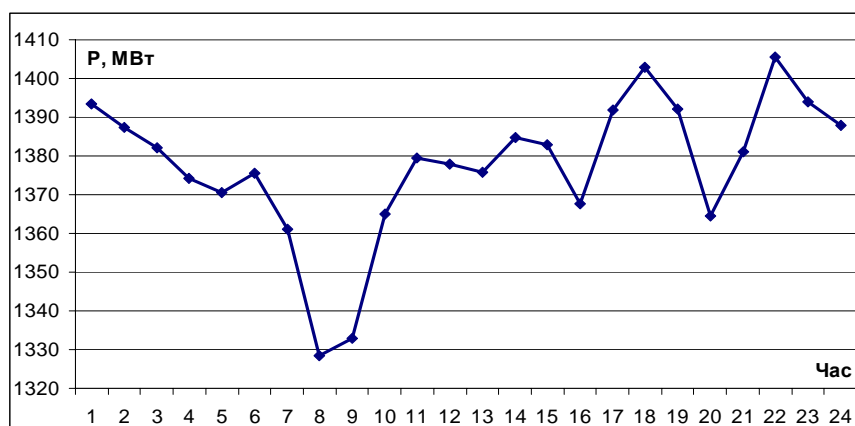


Рис. 2

зацію масивів електричного навантаження окремо для кожної з 24-х годин доби на інтервалі передісторії, що досліджується. Для врахування сезонних змін ЕН ЕП запропоновано двокрокову ітераційну процедуру достовіризації. Її перший етап передбачає ідентифікацію і відновлення чітко виражених викидів без врахування тренду ЕН, а на другому проводиться уточнена достовіризація для виявлення неявних викидів із врахуванням трендової складової ЕН та сезонних змін навантаження.

Алгоритм достовіризації електричного навантаження енергоємних підприємств передбачає виконання таких кроків:

1. Для кожної години доби $j=1\dots 24$ формуються окремі архіви ЕН по всіх днях N передісторії.

2. Для $\forall j=1\dots 24$ розраховуються середні $M(P^j)$ значення та середньоквадратичні відхилення $\delta(P^j)$ електричного навантаження на всьому інтервалі передісторії.

3. Проводиться перевірка кожної з 24-х вибірок ЕН на відповідність нормальному закону розподілу згідно з критерієм погодження Пірсона з довірчою ймовірністю $P=0,95$. Якщо критерій не виконується, то перевіряється, чи є закон розподілу унімодальним. Якщо результат і цього разу негативний, то приймається, що закон розподілу є довільним.

4. Перевірка наявності викидів у 24-х вибірках електричного навантаження здійснюється таким способом. Кожне значення P_i^j ($\forall j=1\dots 24; i=1\dots N$) по чергово перевіряється на відповідність критерію Чебишева [2, 3]:

$$|P_i^j| \leq M(P^j) + k * \delta(P^j), \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від виду розподілу вибірки [xx]:

$$k = \begin{cases} 1,96, & \text{якщо закон розподілу вибірки нормальний;} \\ 2,82, & \text{якщо закон розподілу вибірки унімодальний;} \\ 4,24, & \text{якщо закон розподілу вибірки довільний.} \end{cases}$$

Якщо нерівність виконується, то таке значення не аномальне, якщо не виконується, то значення та дата (номер « i ») цього аномального викиду запам'ятовуються ($P_{\text{аном}_i}^j = P_i^j$) та проводиться заміна $P_i^j = M(P^j)$. Виконання алгоритму продовжується до виявлення і відновлення всіх викидів на цьому ітераційному кроці.

5. Відновлені дані ЕН підставляються у загальну вибірку і розрахунок повторюється, починаючи з п. 2 цього алгоритму. Ітераційна процедура зупиняється, якщо на останньому кроці ітерації m не ідентифіковано нових викидів $K_m = K_{m-1}$, де K_m – загальна кількість викидів, ідентифікованих на ітераційних кроках з 1 по m .

6. Проводиться ідентифікація викиду за його тривалістю. Якщо для $P_{\text{аном}_i}^j$ сусідні значення P_{i-1}^j, P_{i+1}^j не є аномальними, то такий викид вважається трикутним, у протилежному випадку $P_{\text{аном}_i}^j$ вважається елементом трапецієподібного викиду.

7. Проводиться класифікація за типами виявлених аномальних значень ЕН ЕП. Всі виявлені викиди поділяються на дві групи: такі, що обумовлені збоями в системі збору, передачі та обробки інформації, і такі, що дійсно мали місце на практиці (різке аварійне вимкнення енергоємних споживачів на підприємствах). Класифікація ґрунтується на тісному кореляційному зв'язку між ЕН енергоємних підприємств та сумарним електричним навантаженням обленерго, що живить ці підприємства. Наприклад, для Дніпробленерго значення відповідного коефіцієнта кореляції перевищує 0,7. Відокремлення реальних викидів ЕН ЕП від штучних необхідне для подальшої достовіризації СЕН обленерго та коректного виділення комунально-побутової складової сумарного електричного навантаження.

8. Відновлення аномальних значень ЕП ЕП проводиться за такими формулами:

$$P_{\text{відн}_i}^j = \begin{cases} \frac{P_{i-1}^j + P_{i+1}^j}{2}, & \text{якщо викид трикутний;} \\ P_{\text{аном}_i}^j + M(P^j) - \frac{\sum_{k=0}^{k < M} P_{\text{аном}_{p+k}^j}}{M}, & \text{якщо викид трапецієподібний,} \end{cases} \quad (2)$$

де p – номер першого елемента в трапецієподібному викиді; M – обсяг трапецієподібного викиду.

Такий спосіб коригування трапецієподібних викидів дає змогу враховувати вплив на відновлені дані інших зовнішніх факторів.

Описана в п.1–8 процедура достовіризації дозволяє виявити і відновити найбільш суттєві трикутні та трапецієподібні викиди електричного навантаження. Якість такої достовіризації погіршується при зростанні сезонної періодичності та трендової складової навантаження, оскільки при цьому зростає довірчий інтервал $M(P^j) + k * \delta(P^j)$. Для виявлення неявних викидів необхідно продовжити процедуру достовіризації, починаючи з п. 9.

9. Для усунення трендової і сезонної компонент ЕН ЕП проводиться апроксимація окремо $\forall j = 1 \dots 24$ відновлених згідно з п. 8 значень електричного навантаження енергоємних підприємств із використанням методу кусково-поліноміальної апроксимації [4].

10. Формуються масив апроксимованих даних \bar{P}_i^j та масив відхилень фактичних значень ЕН ЕП від апроксимованих: $\Delta P_i^j = P_i^j - \bar{P}_i^j$; $\forall j = 1 \dots 24$; $i = 1 \dots N$.

11. Для кожного набору відхилень ($\forall j = 1 \dots 24$) розраховуються статистичні характеристики вибірки: математичне очікування $M(\Delta P^j)$ та стандартне відхилення $\delta(\Delta P^j)$.

12. Аналогічно до п. 3 проводиться визначення закону розподілу для кожної з 24-х вибірок відхилень ЕН ЕП.

13. Для $\forall j = 1 \dots 24$ елементи вибірки відхилень ΔP_i^j перевіряються на аномальність за допомогою критерію Чебишева:

$$|\Delta P_i^j| \leq M(\Delta P^j) + k * \delta(\Delta P^j), \quad (3)$$

де значення коефіцієнта k аналогічне п. 4.

Якщо нерівність виконується, то значення ΔP_i^j не аномальне, якщо не виконується, то дата і значення цього аномального викиду $P_{\text{аном}_i}^j$ запам'ятовуються, і $\Delta P_{\text{аном}_i}^j$ виключається з масиву відхилень. Після перевірки всіх 24-х вибірок по N елементів у кожній процедура повторюється, починаючи з п. 11 цього алгоритму. У разі відсутності ідентифікації нових аномальних значень виконання алгоритму продовжується з наступного пункту.

14. Проводиться класифікація викидів за тривалістю та типом аналогічно п. 6, 7.

15. Відновлення аномальних значень ЕП ЕП проводиться за такими формулами:

$$P_{\text{ном}_i}^j = \begin{cases} \bar{P}_i^j, & \text{якщо викид трикутний;} \\ \bar{P}_i^j + P_{\text{аном}_i}^j - \frac{\sum_{k=0}^{k < M} P_{\text{аном}_{p+k}^j}}{M}, & \text{якщо викид трапецієподібний,} \end{cases} \quad (4)$$

де p – номер першого елемента в трапецієподібному викиді; M – обсяг трапецієподібного викиду.

16. Після відновлення всіх знайдених аномальних даних проводиться повторна процедура кусково-поліноміальної апроксимації отриманого ряду значень ЕН енергоємних підприємств згідно з п. 9 поточного алгоритму та повторюється вся процедура достовіризації. Її повторне проведення необхідне для достовіризації неявних викидів, що можуть бути виявлені внаслідок звуження довірчого інтервалу $\pm k * \delta(\Delta P^j)$ через зниження як стандартного відхилення $\delta(\Delta P^j)$ нового ряду, так і зміни закону розподілу відхилень.

Використання такої двокрокової процедури достовіризації дає змогу: провести ідентифікацію явних трикутних та трапецієподібних викидів із використанням швидкої ітераційної процедури; врахувати вплив тренду та сезонних коливань ЕН і провести уточнену достовіризацію електричного навантаження; зберегти вплив інших зовнішніх факторів (наприклад, температури повітря) на відновлені електричні навантаження трапецієподібного викиду.

Результати розрахунків. На основі описаного алгоритму розроблено базу даних та експериментальну програму достовіризації електричного навантаження енергоємних підприємств. Проілюструємо ефективність запропонованого алгоритму на прикладі достовіризації сумарного електричного навантаження енергоємних підприємств Дніпропетровської області за період з 27.09.2013 по 31.03.2014 р. у точках ранкового та вечірнього екстремумів їх добового графіка. Відповідно до рис. 2 мінімум та максимум добового електричного навантаження суми енергоємних підприємств має місце о 8 та 22 год відповідно.

На рис. 3 представлено результати ідентифікації та відновлення аномальних значень ЕН ЕП о 8 год за вказаний період згідно з п.1-8 алгоритму, що дає змогу виявити аномальні значення, які суттєво виділяються.

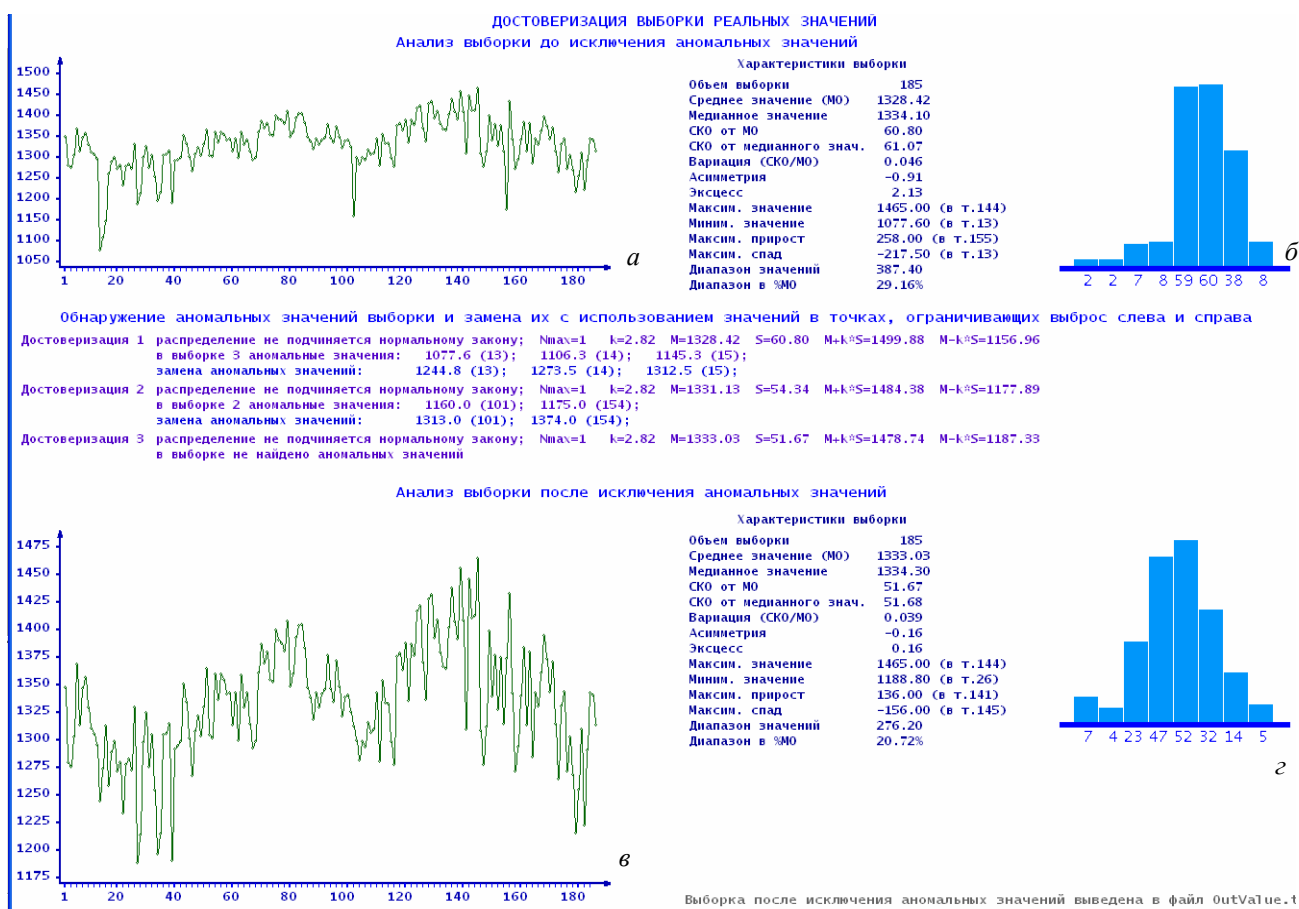


Рис. 3

На рис. 3 а представлено графік фактичних значень електричного навантаження енергоємних підприємств ПАТ «Дніпрообленерго» о 8-й год за період з 27.09.2013 по 31.03.2014. На графіку візуалізуються окремі викиди. Розраховані згідно з п. 2 алгоритму статистичні характеристики вихідних даних електричного навантаження ЕП становлять: середнє значення $M(P^{08}) = 1328,4$ МВт, стандартне відхилення $\delta(\Delta P^{08}) = 60,6$. Відповідно до п. 3. алгоритму №1 визначено, що розподілення ЕН ЕП не відповідає нормальному закону розподілу (розраховане значення $\chi^2 = 11,38 > 0,71$, де 0,71 – квантиль розподілу Пірсона при рівні значимості $p=0,95$ для чотирьох степенів свободи. При розрахунку використано об'єднання інтервалів). Відповідно до рис. 3 б очікуваний закон розподілу є унімодальним. Таким чином,

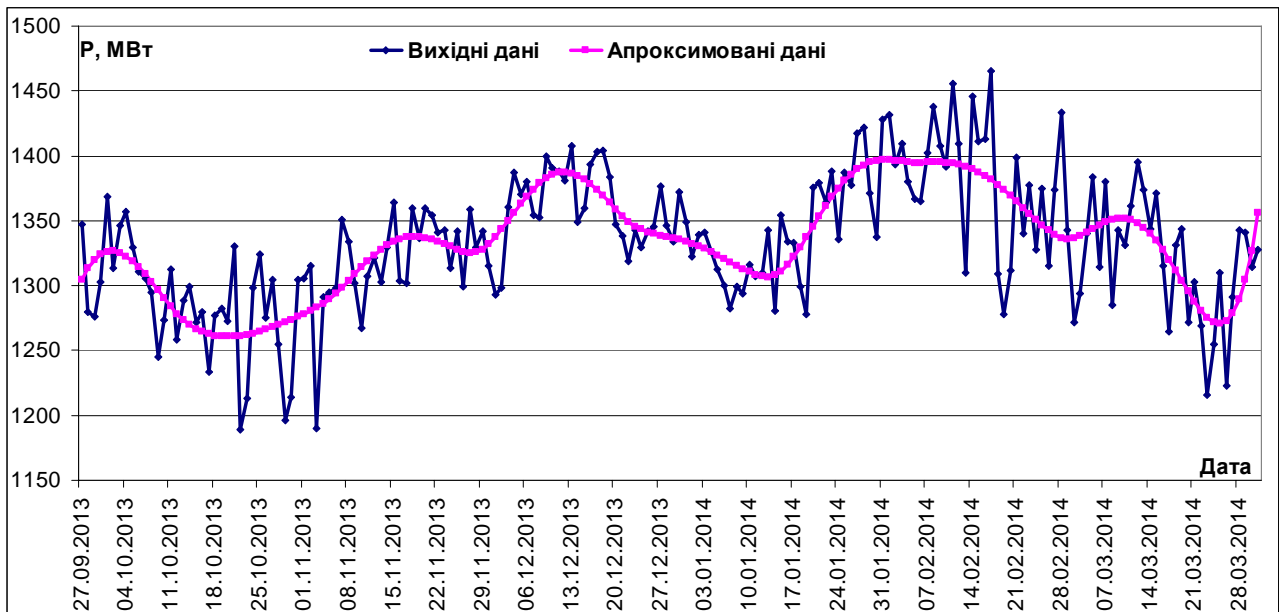


Рис. 4

коефіцієнт k нерівності (1) у цьому випадку становитиме 2,82.

Проведено ітераційну процедуру ідентифікації аномальних значень ЕН ЕП згідно з п. 4-8 алгоритму. Гіпотеза про належність закону розподілу відхилень ЕН до унімодального на кожному кроці ітераційного процесу залишалася вірною. Виявлені викиди, а також відновлені згідно з формулою (2) значення електричного навантаження енергоємних підприємств протягом двох ітераційних кроків також наведено на рис. 3. Таким чином, на першій ітерації виявлено підряд три аномальних значення, що представляють собою один трапецієподібний викид, на другій – два трикутних викиди. Графік відновлених значень ЕН та гістограму їх розподілу наведено на рис. 3 в та г відповідно.

Для виявлення неявних викидів застосовувалась процедура достовірності згідно з п. 9-16 алгоритму. Проведено кусково-поліноміальну апроксимацію очищених від явних вики-

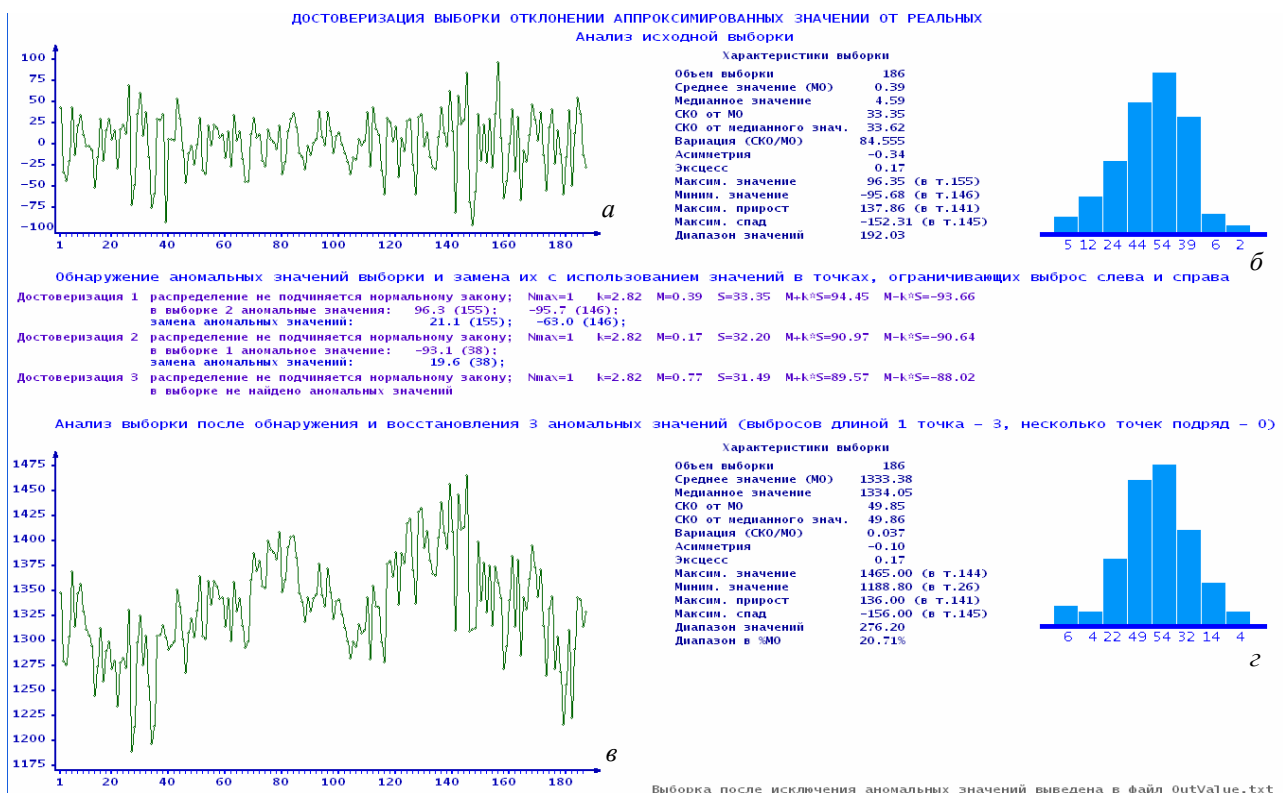


Рис. 5

дів значень ЕН та розраховано масив відхилень згідно з п.10. Результати апроксимації та графік відхилень $\Delta P_i^j = P_i^j - \bar{P}_i^j$ електричного навантаження ЕП о 8-й год. за період з 27.09.2013 по 31.03.2013 р. наведені на рис. 4 та 5 а.

Відповідно до рис. 5 б встановлено, що закон розподілу (п.12 алгоритму) масиву відхилень ΔP_i^j є унімодальним ($\chi^2 = 11,92 > 2,17$, де 2,17 – квантиль розподілу Пірсона при рівні значимості $p=0,95$ для семи степенів свободи). Закон розподілу залишався незмінним протягом подальших операцій згідно з п. 11-15 алгоритму. Таким чином, згідно з рис. 5 після двох ітерацій уточнена процедура достовіризації ЕН ЕП відповідно до п. 9-15 алгоритму додатково виявила ще три трикутних викиди. Їх відновлення проводилося згідно з формулою (4). Графік відновлених значень ЕН ЕП наведено на рис. 5 в.

Для відновлених даних проведено повторну процедуру апроксимації та достовіризації згідно з п. 16 алгоритму, що дало можливість ідентифікувати ще один викид. На рис. 6 представлена уточнена залишкова компонента ЕН ЕП о 8-й год із вказаним на ній викидом.

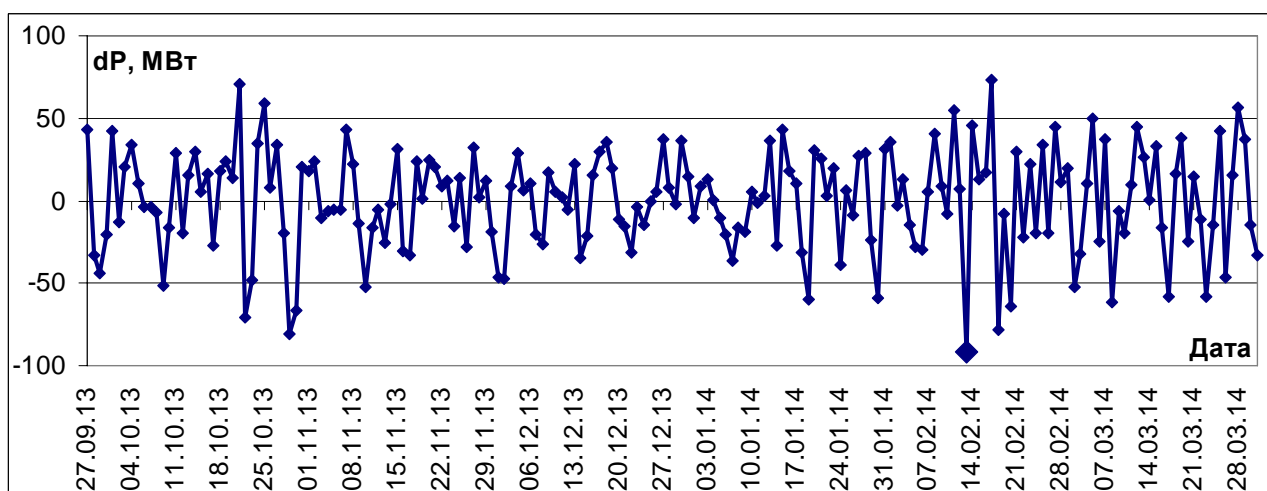


Рис. 6

Гістограму розподілу значень залишкової компоненти після відновлення всіх виявлених на останньому ітераційному кроці викидів показано на рис. 5 г. Її статистичні характеристики такі: середнє значення $M(\Delta P^{08}) = 0,7$, стандартне відхилення $\delta(\Delta P^{08}) = 30,2$. Таким чином, зниження стандартного відхилення електричного навантаження ЕП на останньому кроці

Дата	Викид, 8 год, МВт	Відновлене знач., 8 год, МВт	Викид, 22 год, МВт	Відновлене знач., 22 год, МВт
08.10.2013	---	---	1192,3	1421,3
09.10.2013	1077,6	1227,8	1123,9	1352,9
10.10.2013	1106,3	1251,8	1158,6	1387,6
11.10.2013	1145,3	1286,8	1165,6	1394,6
22.10.2013	---	---	1259,5	1364,8
29.10.2013	---	---	1268,3	1359,3
03.11.2013	1190,2	1289,7	---	---
05.01.2017	1160	1301,7	1276	1365,5
13.02.2014	1310	1399,5	1357	1455,9
14.02.2014	---	---	1574	1437,5
17.02.2014	---	---	1569	1457
19.02.2014	1278	1367,9	---	---
27.02.2014	1175	1344,5	1282	1443
28.02.2014	1433	1337,9	1511	1435

ітераційної процедури достовіризації склало 50,3 % у порівнянні з вихідною вибіркою. Незважаючи на суттєве зменшення розрахованого для наведеної вибірки відхилення значення χ^2 , що становить 5,87, закон розподілу не відповідає нормальному ($5,87 > 2,17$), а залишається унімодальним.

Проведено аналогічну процедуру достовіризації електричного навантаження енергоємних підприємств Дніпропетровської області о 22 год. Викиди та відновлені дані ЕН ЕП о 8 та 22 год наведено в таблиці.

Висновки. 1. Статистично коректна процедура виключення аномальних вимірів і відновлення пропущених даних, а також забезпечення однорідності вибірки погодинних значень добових графіків енергоємних підприємств дає можливість уникнути спотворення математичних моделей впливу на електричне навантаження метеорологічних, астрономічних та календарних факторів.

2. Запропонована двоетапна ітераційна процедура достовіризації даних добових графіків електричного навантаження енергоємних підприємств дає змогу врахувати добову нерівномірність та трендову складову електричного навантаження і виявити як різкі, так і явно виражені трикутні та трапецієподібні викиди.

3. Точність та однозначність процедури достовіризації забезпечуються запропонованим переходом від статистичної обробки нестационарного випадкового процесу до випадкової величини та коректним застосуванням критерію Чебишева залежно від типу розподілу вибірки.

1. Бенн Д.В., Фармер Е.Д. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 200 с.
2. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Наука, 1968. – 288 с.
3. Черненко П.А., Заславский А.И., Мартинюк А.В. Обработка и анализ информации для иерархического прогнозирования электрических нагрузок // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2006. – Вип. 2(14). – С. 47–49.
4. Черненко П.О., Мартинюк О.В. Прогнозування добового графіка сумарного електричного навантаження електроенергетичної системи // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2007. – Вип. 18. – С. 57–65.
5. Черненко П.О., Мартинюк О.В., Мірошник В.О. Врахування споживання електроенергії енергоємними підприємствами при короткостроковому прогнозуванні електричного навантаження енергосистеми // Техн. електродинаміка. – 2014. – № 5. – С. 35–37.

УДК 621.311:681.3

П.А. Черненко, докт. техн. наук, **А.В. Мартинюк**, канд. техн. наук, **А.И. Заславский**, вед. инж.

Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

Обеспечение статистической однородности суточных графиков электрической нагрузки энергоёмких предприятий при краткосрочном прогнозировании нагрузки энергосистемы

От результатов краткосрочного прогнозирования электрической нагрузки существенно зависит эффективность решения задач планирования режимов ОЭС Украины. Увеличение числа существенно влияющих на электрическую нагрузку факторов способствует повышению точности и надежности результатов прогнозирования, однако при условии их достоверности. В электропотреблении ОЭС Украины большой удельный вес составляют энергоёмкие предприятия. Анализ суточных графиков их электрической нагрузки за длительный период времени показал наличие в них аномальных данных, обусловленных сбоями в системе сбора, передачи и первичной обработки информации или резкими изменениями в режимах работы этих предприятий, вызванными технологическими и экономическими факторами.

Изложен двухэтапный статистически корректный алгоритм исключения аномальных измерений и восстановления пропущенных данных в выборке суммарной электрической энергоёмких предприятий. При этом аномальные значения подразделяются в зависимости от природы возникновения, а также их длительности. На первом этапе достоверизации идентифицируются существенные выбросные значения выборки и восстановление осуществляется с использованием линейной интерполяции. На втором этапе исключаются не явно выраженные выбросы путем предварительного исключения трендовой составляющей выборки с помощью кусочно-полиномиальной аппроксимации. Восстановление треугольных выбросов производится путем замены выбросных значений на аппроксимированные, а при восстановлении трапецевидных учитывается характер их изменения. На обоих этапах определяются статистические характеристики, тип закона распределения данных (гауссовский, унимодальный или произвольный) и исключение осуществляется с помощью критерия Чебышева. Точность

и однозначность результатов достоверизации проверены большим количеством расчетов согласно данным суточных графиков электрической нагрузки энергоемких предприятий ПАТ «Днепроблэнерго» за годовой период времени. Библ. 5, рис. 6, таблица.

Ключевые слова: достоверизация, аномальные значения, критерий Чебышева, электрическая нагрузка, энергоемкие предприятия.

P. Chernenko, O. Martyniuk, A. Zaslavsky

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,

Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

Statistical homogeneity assurance of the electrical load daily schedules of the energy-consuming enterprises for short-term load forecasting of electric power system

The efficiency of the Ukraine Interconnected Electrical Power System (IEPS) operating modes scheduling essentially depends on short-term electric load forecasting results. The increase in number of factors significantly influencing on electric load contribute to improve the accuracy and reliability results of forecasting. However their certainty is essential. The energy-consuming enterprises contribute a great share into the electricity consumption of IEPS of the Ukraine. Analysis of the daily schedules of their electrical load over a long time period showed the availability of anomalous data caused by the system of data gathering, transmission and the basic information processing failures. Also the anomalous data appearance is dependent on abrupt changes of the operating conditions enterprises due to the technological and economic factors. The paper presents a two-stage statistically correct algorithm of the anomalous measurements discarding and the energy-consuming power enterprises missing data replacement in the total electric load sample. Besides, the anomalous values are subdivided depending on their character and continuance. At the first stage of the verification the sample essential anomalous values identification and missing data replacement are performed using linear interpolation. At the second stage the unobvious anomalous values are excluded by means of the preliminary discarding of the sample trend component by piecewise polynomial approximation. Single anomalous values replacement is performed with the aid of the linear approximation, but the group ones are replaced taking into account their change character. At the both stages the determination of the statistical characteristics, the type of data distribution law (Gaussian, unimodal or arbitrary) and the discarding are performed by means of Chebyshev criterion.

The accuracy and unambiguous character of the verification results were controlled by a great number of calculations based on data of daily electric load schedules for annual period of time for "Dniprooblenergo" energy-consuming enterprises. References 5, figures 6, table.

Key words: abnormal values, Chebyshev criterion, electrical load, energy-intensive industries.

Надійшла 8.12.2014

Received 8.12.2014

УДК 621.311.4

ВПЛИВ ЯВИЩА ГІСТЕРЕЗИСУ НА ВИНИКНЕННЯ НЕТРАДИЦІЙНИХ ФЕРОРЕЗОНАНСНИХ ПРОЦЕСІВ У ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

В.Г. Кузнецов¹, чл.-кор. НАН України, **І.Ю. Тугай²**, канд. техн. наук, **В.А. Мельничук³**

1, 2 – Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ, 03680, Україна

3 – Київський енергетичний коледж,

вул. І. Сергієнка, 7, Київ, 02105, Україна

tugay@ied.org.ua

Показано, що на відміну від ферорезонансних процесів на основній частоті, розрахунок нетрадиційних ферорезонансів у електричних мережах високої напруги потребує більш точного моделювання. Використання моделі гістерезису дає змогу підвищити точність розрахунку нетрадиційних ферорезонансів. Моделювання гістерезису було виконано за допомогою моделі Джілса-Атертона, що дозволило більш точно розрахувати області небезпечних параметрів нетрадиційних ферорезонансів. Наведено найбільш поширені засоби попередження розвитку таких ферорезонансних процесів. Бібл. 7, рисунок.

Ключові слова: ферорезонанс, електрична мережа, перенапруга, надструм.

Ферорезонанс – це складні нелінійні коливання, які виникають в електричних мережах і викликають появу перенапруг та надструмів. Екстремальні значення параметрів режи-