

УДК 338.55:621.31

Ф.Ю. ШАРАЄВСЬКИЙ (Інститут загальної енергетики НАН України, Київ)

МОДЕЛЬ І ПРОЦЕДУРИ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ В ОПТОВОМУ РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ

Розглянуто моделі та процедури короткострокового прогнозування обсягів споживання електроенергії в умовах оптового ринку електроенергії України. Детально проаналізовано сучасну модель оптового ринку електроенергії України, визначено необхідність модернізації ринкових відносин і методів прогнозування.

Структура моделі оптового ринку електроенергії України

Для підвищення конкурентоспроможності української економіки шляхом забезпечення потреб споживачів в електричній енергії за мінімально можливою ціною на засадах конкуренції між її виробниками та постачальниками, а також з метою надійного та безперебійного електропостачання споживачів, фінансової стабільності та прибутковості галузі, зацікавленості до неї з боку вітчизняних та іноземних інвесторів 1996 року в Україні створено оптовий ринок електричної енергії (далі – ОРЕ). ОРЕ України базується на моделі "Електроенергетичного Пулу Англії та Уельсу" (електроенергія реалізується через єдиний обов'язковий ринок). ОРЕ – єдина впорядкована система взаємовідносин між суб'єктами господарської діяльності при здійсненні купівлі-продажу електричної енергії. Правовою базою функціонування ОРЕ є Закон України "Про електроенергетику" [1], прийнятий Верховною

Радою України 16.10.97, який визначає загальні положення діяльності ОРЕ і закріплює статус його суб'єктів і повноваження державних органів у цих відносинах. Схему ОРЕ відповідно до цього Закону зображено на рис. 1.

Основним документом, що регулює взаємовідносини між усіма учасниками ОРЕ, є договір між членами оптового ринку електричної енергії України (далі – Договір). Договір містить невід'ємні додатки, які визначають економічні та фінансові механізми функціонування ОРЕ – Правила оптового ринку електричної енергії (далі – Правила ринку), Інструкцію про порядок розрахунків, Інструкцію про порядок використання коштів ОРЕ, Інструкцію про порядок нарахування та обліку витрат, Інструкцію про порядок комерційного обліку електроенергії. Згідно із Законом та Договором сторонами договору, на підставі якого створюється ОРЕ, є:

– виробники електричної енергії, які одержали ліцензію на право здійснення підприєм-

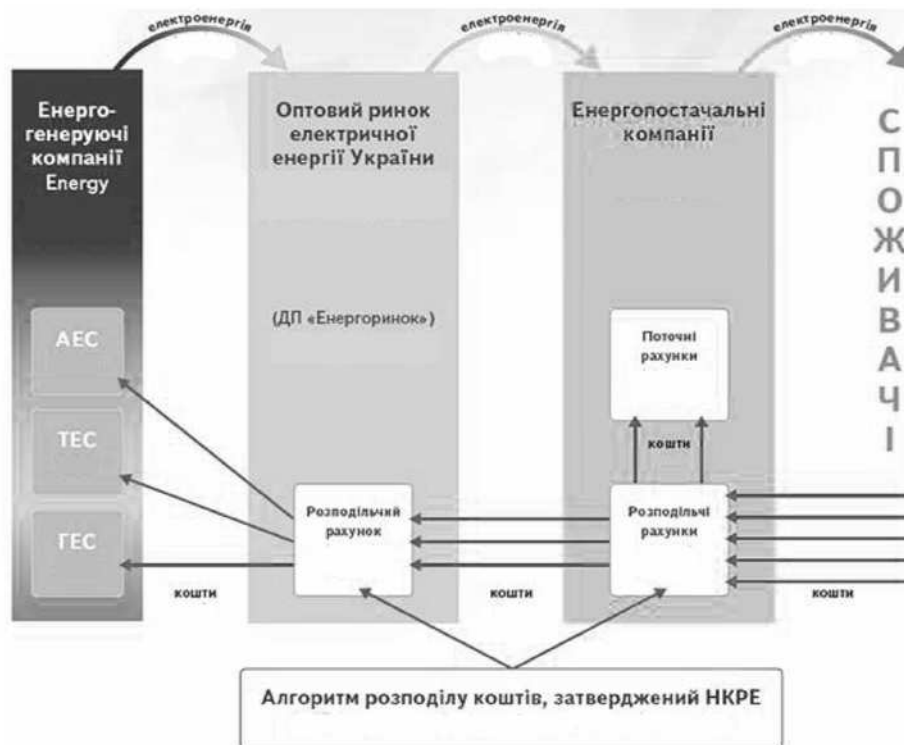


Рис. 1.

ницької діяльності з виробництва електричної енергії;

– постачальники електричної енергії, які одержали ліцензію на право здійснення підприємницької діяльності з постачання електричної енергії за регульованим тарифом;

– постачальники електричної енергії, які одержали ліцензію на право здійснення підприємницької діяльності з постачання електричної енергії за нерегульованим тарифом;

– державне підприємство "Енергоринок" (далі – ДП "Енергоринок"), яке одержало ліцензію на право здійснення підприємницької діяльності з оптового постачання електричної енергії.

Засадами функціонування ОРЕ є:

– рівноправний доступ до ОРЕ та послуг електричних мереж усіх суб'єктів підприємницької діяльності з виробництва та постачання електричної енергії після отримання відповідної ліцензії на право здійснення цих видів діяльності;

– купівля електричної енергії у виробників, потужність чи обсяг відпуску яких перевищують граничні показники (крім електричної енергії, виробленої на теплоелектроцентралях, що входять до складу енергопостачальників, для споживання на території здійснення ліцензованої діяльності), а також у суб'єктів підприємницької діяльності, які є власниками електричної енергії, виробленої з давальницької сировини;

– купівля в учасників ОРЕ електричної енергії, отриманої ними за угодами на її імпортування;

– оптове постачання електричної енергії;

– визначення цін на електричну енергію енергогенеруючих компаній та оптових цін за Правилами ринку;

– укладання учасниками ОРЕ договорів купівлі-продажу електричної енергії з суб'єктом підприємницької діяльності, який здійснює оптове постачання електричної енергії відповідно до договору, на підставі якого створюється ОРЕ.

Ціноутворення в умовах ОРЕ України

Ціноутворення на ОРЕ є однією з економічних засад функціонування ОРЕ. Слід зазначити, що воно об'єктивно має певні особливості, зумовлені здійсненням купівлі-продажу електричної енергії на ОРЕ в межах об'єднаної енергетичної системи України та в умовах постійного і безперервного в часі збалансування виробництва та споживання електричної енергії.

На даний час в ОРЕ визначено такий механізм формування оптової ринкової ціни [2]:

"Кожного дня, не пізніше 9.30, всі Виробники повинні надавати Розпоряднику системи розрахунків набір заявлених цін та заявку робочої потужності на наступну добу для кожного блока, який не знаходиться в ремонті та може бути включений в роботу протягом 24 годин (для газомазутного енергоблоку 800 МВт – протягом 72 годин). Набір заявлених цін має відображати рівень цін, за якими Виробник спроможний відпустити електричну енергію в Оптовий ринок. Заявка робочої потужності має відображати потенційну спроможність кожного блоку виробляти електроенергію в кожний розрахунковий період наступної доби".

Відповідно до Правил ринку визначається погодинна ціна закупівлі електричної енергії, виробленої тепловими станціями, які працюють за ціновими заявками. При цьому тарифи на виробництво електричної енергії атомними електростанціями, гідроелектростанціями та ТЕЦ встановлюються НКРЕ.

Вартість електричної енергії, що закуповується на ОРЕ, визначається як середньозважена величина вартості електричної енергії теплових, атомних електростанцій, гідроелектростанцій, теплоелектроцентралей та інших суб'єктів підприємницької діяльності, які продають електричну енергію в ОРЕ.

Оптова ринкова ціна електричної енергії формується на погодинній основі виходячи з платежів виробникам електричної енергії, імпортерам електричної енергії, підприємству, яке здійснює диспетчерське управління об'єднаною енергетичною системою та передачу електричної енергії магістральними і міждержавними електричними мережами та іншим особам, які мають право на отримання коштів відповідно до законодавства.

Короткострокове прогнозування електроспоживання в ОРЕ

Як зазначено вище, обов'язковою складовою розрахунку оптової ціни на електроенергію є визначення оптимального складу працюючого енергетичного обладнання з огляду на мінімальну вартість виробництва її ТЕС (ТЕЦ) залежно від рівня необхідності покриття графіка навантаження, що свої черги з'ясовується на підставі прогнозованого споживання електроенергії. Даний прогноз в умовах ОРЕ України здійснюється щоденно на наступну добу, для чого використову-

ється "Комплекс програм аналізу та прогнозування електроспоживання енергосистем за допомогою персональних ЕОМ" [3]. При роботі з даним комплексом програм для отримання короткострокового (доба-тиждень) прогнозування необхідні такі вхідні дані:

- добове електроспоживання (далі ЕС) і добові графіки навантажень (далі ДГН) за 1-4 останні тижні по останній минулий день включно;

- середньодобові температури і показники освітленості за той самий період;

- прогнози температури та освітленості на інтервал прогнозування;

- інтервал прогнозування: початок (число, місяць, рік) і кінець (число, місяць, рік) – від 1 до 10 майбутньої доби.

Як результат ми отримуємо прогнози добового ЕС і ДГН на всі дні інтервалу прогнозування.

Алгоритмічні константи (задаються при "налаштуванні" програми прогнозування і можуть бути змінені при виконанні розрахунку):

- кількість тижнів передісторії (від 1 до 4);
- показник ступеня вагової функції (1, 2, 3).

Сам метод прогнозування складається в оцінці (аналогічно до вартових навантажень) за даними інтервалу передісторії напряму та величини очікуваної зміни добового ЕС від одного дня тижня до іншого. Добове ЕС попередньо "вирівнюється" шляхом приведення до середніх температур і показників освітленості за розглянутий інтервал часу. При обчисленні очікуваного добового ЕС використовується отримана оцінка зміни ЕС, останнє фактичне ("опорне") значення ЕС, прогноз температури та освітленості й оцінка коефіцієнтів зміни ЕС (чутливості) за температурою та освітленістю.

Конфігурація ДГН визначається за допомогою зваженого усереднення ДГН за відповідні однотипні дні передісторії, нормованих значень середньодобового навантаження (так званих зведених ДГН).

Прогноз добового ЕС $W(l)$ на майбутній день l обчислюється за фактичним ("опорним") значенням $W(i)$ за останній минулий день i та передвіщеним відхиленням $d(l, i)$:

$$W(l) = W(i) + d(i, l) + Ct(T(l) - T(i)) + Co(O(l) - O(i)), \quad (1)$$

де l, i – порядкові номери днів у році; попередження $h = l - i = 1, \dots, 10$ доби; Ct – коефіцієнт, що визначає відхилення ЕС в разі відхилення температури на один градус; Co – аналогічний кое-

фіцієнт для показників освітленості; $T(l), O(l)$ – прогнози температури та освітленості на день l ; $T(i), O(i)$ – фактичні значення метеофакторів за день i .

Прогноз ДГН на день l обчислюється за отриманою оцінкою конфігурації ДГН (у відносних одиницях) і прогнозом добового ЕС:

$$P(l, k) = W(l) \times Pn(k) / 24 \quad (2)$$

де $Pn(k)$ – усереднений наведений (нормований середньодобовим навантаженням) ДГН; $k = 1, \dots, 24$ – година доби.

Очікувані відхилення $d(l, i)$ та коефіцієнти Ct, Co , а також середньодобовий наведений ДГН оцінюються за даними інтервалу передісторії таким чином. Обробка даних передісторії:

1. Вибір днів інтервалу передісторії.

- залежно від типу дня j , на який здійснюється прогноз, обираються відповідні дні з усіх тижнів заданого інтервалу: $j = 2, 3, 4, 5$ (робочий день): усі робочі дні (з вівторка по п'ятницю) за всі тижні, включаючи поточний тиждень (для $j = 3, 4, 5$); $j = 1$ (понеділок): усі понеділки; $j = 6$ (субота): всі суботи; $j = 7$ (неділя): всі неділі.

Для святкових і "близькосвяткових" днів обирається аналогічний день попереднього року, а також, якщо в заданому інтервалі передісторії є ще який-небудь нерегулярний день відповідного типу, цей день обирається також. Якщо в наявній базі даних немає святкових днів (не накопичений достатній архів), дні обираються за наступними правилами:

- для святкових днів беруться неділі;

- для післясвяткових днів (залежно від календарного типу дня): при $j = 1, 6, 7$ (понеділок, субота, неділя) день обробляється як регулярний; при $j = 2-5$ (робочий день) береться понеділок.

- для передсвяткових днів: при $j = 5, 6, 7$ день обробляється як регулярний; при $j = 1-4$ береться п'ятниця.

Аналогічним чином вибираються дні, що відповідають "опорному" дню.

При виборі днів передісторії враховується наявна у програмі можливість зміни типу будь-якого дня на інтервалі прогнозування або передісторії, наприклад, через переноси "білясвяткових" днів.

Кожній парі днів передісторії, що відповідають прогнозованому та "опорному" дням, ставиться у відповідність вага $v(n)$, що підсилює роль

швидше "свіжих" даних (n – номер тижня передісторії).

2. Ранжирування днів передісторії. Залежно від близькості температури та освітленості обраних днів до заданих значень цих параметрів (прогнозів) на прогнозний день їхньої вага, відповідно, збільшуються або зменшуються. Ця процедура виконується лише в разі прогнозування з обліком метеофакторів.

3. Облік переходу на зимовий (літній) час. Якщо які-небудь з обраних днів передісторії та прогнозний день перебувають у різних періодах (літнього або зимового часу), робиться спеціальне коригування ДГН цих днів таким чином, щоб "привести" їх до конфігурації ДГН, що відповідають періоду, до якого ставиться прогнозований день. Ця процедура виконується тільки в період переходу на літній або зимовий час, коли частина інтервалу передісторії та інтервалу прогнозування виявляються в різних тимчасових зонах.

4. Обчислення середніх наведених ДГН. Середній за тижнями інтервалу передісторії наведений ДГН обчислюється в такий спосіб:

$$Pn(k) = S(n=1, N) (P(n, k) / (S(k=1, 24) P(n, k) / 24)) \times v(n) / S(n=1, N) v(n), \quad (3)$$

де $k = 1, \dots, 24$ – година доби; $n = 1, \dots, N$ – номер тижня; $v(n)$ – ваги, скориговані з обліком ранжирування.

5. Обчислення оцінок коефіцієнтів чутливості ЕС до відхилень температури та освітленості.

Перший етап складається з обчислення зваженого середнього ЕС, середньої температури та освітленості для однотипних днів, що відповідають прогнозованому дню l , за N тижнів:

$$Wsr = S(n=1, N) (W(n) v(n)) / S(n=1, N) v(n) \quad (4)$$

$$Tsr = S(n=1, N) (T(n) v(n)) / S(n=1, N) v(n) \quad (5)$$

$$Osr = S(n=1, N) (O(n) v(n)) / S(n=1, N) v(n) \quad (6)$$

Потім для всіх N тижнів обчислюються відхилення

$$d(n) = W(n) - Wsr \quad (7)$$

$$d(n) = T(n) - Tsr \quad (8)$$

$$d(n) = O(n) - Osr \quad (9)$$

і оцінки коефіцієнтів

$$Ct(n) = d(n) / d(n) \quad (10)$$

$$Co(n) = d(n) / d(n) \quad (11)$$

При цьому для підвищення надійності оцінок вводиться так називана "зона нечутливості": відхилення температури, які за абсолютною величиною не перевищують один градус, відкидаються.

Для освітленості застосовується аналогічна фільтрація (порог визначається одиницями виміру показників освітленості).

Крім того, оцінки коефіцієнтів, що перевищують за абсолютною величиною 5% від Wsr також відкидаються – такі значення найчастіше спричинено недостовірними даними про температуру та освітленість.

Середні значення коефіцієнтів визначаються шляхом зваженого усереднення:

$$Ct = S(n=1, N) (Ct(n) v(n)) / S(n=1, N) v(n) \quad (12)$$

$$Co = S(n=1, N) (Co(n) v(n)) / S(n=1, N) v(n) \quad (13)$$

6. Приведення ЕС до середніх значень метеофакторів.

Наступний етап – обчислення наведених значень ЗП:

$$Wpr(n) = W(n) - Ct(T(n) - Tsr) - Co(O(n) - Osr) \quad (14)$$

і повторне обчислення Wsr за (4) з використанням зведених значень $Wpr(n)$.

7. Обчислення оцінки зміни ЕС.

Така сама процедура виробляється з ЕС днів передісторії, що відповідають "опорному" дню i ; визначається середнє значення $Wopsr$. Нарешті, визначається оцінка зміни ЕС:

$$d(i, l) = Wsr - Wopsr \quad (15)$$

Прогнози добового ЕС на кожен день інтервалу прогнозування обчислюються за (1) з використанням останнього фактичного значення $W(i)$, оцінок зміни ЗП (15) і оцінок коефіцієнтів (12), (13). Прогнози ДГН визначаються за (2) на основі прогнозу добового ЕС і оцінки конфігурації ДГН (3).

Приклад прогнозування споживання електроенергії наведено на рис. 2.

Насамкінець слід додати, що дана ринкова модель не є досконалою: вона не надає комерційної свободи для стягування платежів за продану в ОРЕ електроенергію (посилюється і без того монопольне становище постачальників), у ній відсутні механізми інформування споживачів про ціни, за яких вони можуть зменшити споживання в пікові години. Зрозуміло, що потрібен перехід до нової моделі ринкових відносин в електроенергетичній галузі (Концепція фун-

Година	План	Факт	Факт-План
0:00	22200	23013	813
1:00	21900	22112	212
2:00	21400	21631	231
3:00	21400	21674	274
4:00	21500	21709	209
5:00	21900	22253	353
6:00	23000	23268	268
7:00	24900	24926	26
8:00	25300	25339	39
9:00	25800	25773	-27
10:00	25900	25701	-199
11:00	26000	25692	-308
12:00	25600	25083	-517
13:00	25600	25365	-235
14:00	25700	25406	-294
15:00	26000	25564	-436
16:00	26700	26502	-198
17:00	27600	27794	194
18:00	27600	27799	199
19:00	26900	27183	283
20:00	26300	26676	376
21:00	25700	26331	631
22:00	24900	25816	916
23:00	23500	24404	904
0:00	22300	22910	610



кціонування і розвитку Оптового ринку електричної енергії України [4] передбачає перехід до ринку прямих договорів). Водночас зростає

значущість прогнозування споживання електроенергії, що виводить дану процедуру на щабель оперативного керування енергосистемою.

1. Закон України "Про електроенергетику", прийнятий Верховною Радою 16.10.97.

2. Правила Оптового ринку електроенергії України. Додаток до договору між членами Оптового ринку електричної енергії /Затверджені Радою Оптового ринку електричної енергії України, погоджена щорічними Загальними зборами членів оптового ринку електричної енергії України 21.02.03.

3. Комплекс программы анализа и прогнозирования электропотребления энергосистем с помощью персональных ЭВМ. Описание алгоритмов прогнозирования электропотребления / Научно-учебный центр ЭНАС при АО ВНИИЭ. – М. – 1999.

4. Концепція функціонування і розвитку оптового ринку електричної енергії України/Схвалена Кабінетом Міністрів України (постанова від 16.11.02 №1789).