

ДЕТЕРМІНОВАНО-СТОХАСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ОБ'ЄДНАНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМАХ НА ДОВГОСТРОКОВУ ПЕРСПЕКТИВУ

Кулик М.М., академік НАН України, Сас Д.П.
Інститут загальної енергетики Національної академії наук України,
 вул. Антоновича, 172, Київ, 03680, Україна. e-mail: info@ienegy.kiev.ua.

Розглядається питання прогнозування обсягів виробництва електроенергії на довгострокову перспективу з використанням методу UP-DOWN та детерміновано-стохастичного моделювання. Пояснюється доцільність використання детерміновано-стохастичного моделювання для вирішення таких задач. Описуються особливості прогнозування електроспоживання на макrorівні UP та секторальному рівні DOWN на основі моделей виявлення залежностей, а також структура і принцип роботи розробленої детерміновано-стохастичної моделі для уточнення результатів прогнозування. Наводяться вхідні дані та результати розрахунку обсягів виробництва електроенергії в Україні на період до 2030 року. Бібл. 4, табл. 2.

Ключові слова: детерміновано-стохастичне моделювання, електроенергія, прогнозування, енергосистема, електроємність ВВП, електроспоживання.

Обсяги виробництва електроенергії в об'єднаній енергосистемі країни визначаються її внутрішнім споживанням та розміром сальдо експорту-імпорту. Хоча прогнозування обсягів імпорту та експорту електроенергії вимагає вирішення низки проблем, основні труднощі пов'язані з прогнозуванням власного попиту на неї на довгострокову перспективу. При цьому важливим є забезпечення прийнятної точності прогнозування, оскільки похибки можуть призвести до значних економічних збитків. У зв'язку з цим постійно удосконалюються методи прогнозування обсягів попиту на енергетичні ресурси і особливо – на електроенергію.

Одним з них є метод, згідно з яким прогнозування обсягів споживання електроенергії проводиться у два етапи [2]. На першому (з використанням методів виявлення залежностей) прогнозується попит на макrorівні (країна в цілому) та на рівні секторів (види економічної діяльності). Як правило, попит, визначений на макrorівні, не співпадає із сумарним секторальним попитом. Тому на другому етапі шляхом використання спеціальних алгоритмів (зазвичай, ітераційних процедур) забезпечують співпадіння показників верхнього (UP) та нижнього (DOWN) рівнів.

Авторами розроблено новий аналітичний метод, який забезпечує безітераційне визначення погоджених обсягів потреби в електроенергії на рівнях UP і DOWN. Згідно з ним формується перевизначена система алгебраїчних рівнянь

$$y_a(t) = f_a(t), \quad y_i(t) = f_i(t), \quad y_a(t) - \sum_{i=2}^n y_i(t) = 0, \quad (1)$$

де $y_a(t)$ – прогноз потреби верхнього рівня; $y_i(t)$ – секторальні прогнози, $i=2, \dots, n$.

Рівняння (1) повинні забезпечити співпадіння прогнозів верхнього та секторального рівнів. Система (1) з прямокутною матрицею $Ay(t)=F(t)$ шляхом множення зліва на спряжену матрицю A' перетворюється в систему $A'Ay(t)=A'F(t)$ із квадратною симетричною матрицею та правою частиною $A'F(t)=f(t)=[f_a(t), f_i(t), f_n(t)]'$, $i=2, \dots, n$.

Авторами встановлено, що для системи (1) існує аналітичне рішення у вигляді

$$y_a(t) = y_s(t) = [f_a(t) + f_s(t)]/2, \quad f_s(t) = \sum_{i=2}^n f_i(t), \quad y_s(t) = \sum_{i=2}^n y_i, \quad (2,3)$$

$$y_i(t) = a \cdot f_i(t), \quad a = 1 + [f_a(t) - f_s(t)](2f_s(t))^{-1}. \quad (4)$$

З використанням залежностей (2)–(4) було проведено розрахунки попиту на електроенергію до 2030 року. На рівні UP були побудовані прогнозні функції обсягів виробництва та електроємності ВВП на основі ретроспективних даних за 1999–2012 роки, на рівні DOWN – 9 окремих функцій електроємності ВВП для наступних секторів економіки: «Паливна промисловість», «Металургійна промисловість», «Хімічна та нафтохімічна промисловість», «Машинобудівна промисловість», «Промисловість будівельних матеріалів, харчова та переробна», «Інша промисловість», «Сільське господарство та будівництво», «Транспорт» та «Інші непромислові споживачі» і 2 прогнозні функції електроспоживання секторів «Населення» та «Комунально-побутові споживачі». Функції електроємності ВВП для цих секторів були побудовані на основі ретроспективних даних за 2001–2011 роки, а функції електроспоживання – на основі даних за 1999–2012 рік. Розподіл ВВП за секторами був визначений згідно з [3]. Результати розрахунків наведені у таблиці 1.

Результати прогнозування, отримані методом UP-DOWN, можуть бути в більшій мірі уточнені з використанням методу детерміновано-стохастичного моделювання [4].

Таблиця 1. Попит на електроенергію в Україні на рівні 2030 року, млрд. кВтгод

| Сектор | Показник | Попит до узгодження | Попит після узгодження | Попит | | Кінцевий попит |
|--------|---|---------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
| | | | | стохастичне моделювання | середньо-квадр. відхил. | |
| | Рівень UP | 343,83 | 308,27 | 308,27 | - | 300,56 |
| | Рівень DOWN: | 272,72 | 308,27 | 292,84 | 15,56 | 300,56 |
| 1. | Паливна промисловість | 14,66 | 16,57 | 15,75 | 1,64 | 16,16 |
| 2. | Металургійна промисловість | 57,93 | 65,48 | 62,19 | 5,99 | 63,83 |
| 3. | Хімічна та нафтохімічна промисловість | 9,64 | 10,89 | 10,35 | 1,09 | 10,63 |
| 4. | Машинобудівна промисловість | 9,91 | 11,20 | 10,65 | 1,12 | 10,93 |
| 5. | Промисловість будівельних матеріалів, харчова і переробна | 11,32 | 12,79 | 12,16 | 1,28 | 12,48 |
| 6. | Інша промисловість | 8,85 | 10,01 | 9,51 | 1,00 | 9,76 |
| 7. | Сільське господарство та будівництво | 17,00 | 19,21 | 18,26 | 1,90 | 18,74 |
| 8. | Транспорт | 21,98 | 24,84 | 23,60 | 2,43 | 24,22 |
| 9. | Комунально-побутові споживачі | 29,22 | 33,03 | 31,38 | 3,20 | 32,20 |
| 10. | Інші непромислові споживачі | 14,58 | 16,48 | 15,65 | 1,63 | 16,07 |
| 11. | Населення | 77,64 | 87,76 | 83,34 | 7,75 | 85,53 |

Його сутність полягає у припущенні, що зовнішні змінні, що використовуються для розрахунку досліджуваних показників, неможливо однозначно визначити для будь-якого періоду моделювання, крім сучасного (точніше – лише для минулого). При моделюванні майбутнього можливо визначити лише діапазони, в яких будуть знаходитися ці змінні. Згідно з цим методом у даному випадку як вхідні дані використовуються показники першого стовпця табл. 1 (детермінована частина) та залежності (2)–(4). Окрім того, в модель експертно задаються діапазони імовірних змін вхідних величин $f_i(t)$, $i=2, \dots, n$ (для тестового розрахунку приймався діапазон $[-20\%; +10\%]$).

Потім проводяться багатократні розрахунки, що базуються на стохастичних вхідних даних.

Таблиця 2. Обсяги виробництва і споживання електроенергії в Україні до 2030 року, млрд кВтгод

| Показник | Рік | | |
|--|--------|--------|--------|
| | 2020 | 2025 | 2030 |
| Виробництво електроенергії | 265,91 | 285,59 | 306,06 |
| Сальдо експорт-імпорт | 5,50 | 5,50 | 5,50 |
| Споживання електроенергії усього, з нього | 260,41 | 280,09 | 300,56 |
| 1. Паливна промисловість | 15,29 | 15,72 | 16,16 |
| 2. Металургійна промисловість | 60,42 | 62,12 | 63,83 |
| 3. Хімічна та нафтохімічна промисловість | 10,06 | 10,34 | 10,63 |
| 4. Машинобудівна промисловість | 10,35 | 10,63 | 10,93 |
| 5. Промисловість будівельних матеріалів, харчова і переробна | 11,81 | 12,13 | 12,48 |
| 6. Інша промисловість | 9,24 | 9,49 | 9,76 |
| 7. Сільське господарство та будівництво | 12,09 | 15,06 | 18,74 |
| 8. Транспорт | 19,09 | 21,51 | 24,22 |
| 9. Комунально-побутові споживачі | 30,15 | 31,33 | 32,20 |
| 10. Інші непромислові споживачі | 12,23 | 14,02 | 16,07 |
| 11. Населення | 69,69 | 77,73 | 85,53 |

На початку кожного розрахунку випадковим чином визначається показник із діапазону, який надалі використовується для розрахунку. Після проведення заданої кількості експериментів проводиться статистична обробка даних і знаходиться середнє значення досліджуваних показників, що відповідає оцінці математичного сподівання цих показників та середньоквадратичному відхиленню, яке дозволяє визначити діапазон досліджуваних показників. Цей метод може забезпечити прийнятний результат лише для великої кількості розрахунків (від 10000 експериментів). Слід зазначити, що чим більша кількість незалежних змінних бере участь у розрахунку, тим кращий результат можна отримати.

Розподіл результатів після їхньої статистичної обробки відображається у моделі за допомогою гістограм. Крім отриманого розподілу відображається кількість проведених експериментів, кількість діапазонів, що використовувалася для статистичної обробки, довжина діапазону, максимальне та мінімальне значення дослід-

жуваного параметру, мінімальна та максимальна частота потраплянь значення досліджуваного параметру у відповідні діапазони, математичне сподівання досліджуваного параметру, середньоквадратичне відхилення та частка, яку воно складає від математичного сподівання, а також середина діапазону з найвищою частотою потрапляння досліджуваного параметру. Гістограми, отримані для описаного тестового розрахунку, показали розподіл, близький до нормального.

Після стохастичного моделювання попиту, визначені для рівнів UP і DOWN, знову не співпадають. Тому для визначення кінцевого попиту була застосована процедура (2)–(4), результати якої наведені у табл. 1. Обсяги виробництва електроенергії електростанціями України визначаються шляхом складання показників попиту на неї та сальдо експорту-імпорту на відповідному часовому рівні. В табл. 2 наведено обсяги виробництва і споживання електроенергії в Україні на період до 2030 року. Показники сальдо експорт-імпорт представлено в [1].

1. *Енергетична стратегія України на період до 2030 року* (схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №1071-р.).
2. *Сас Д.П.* Прогнозування попиту на електричну енергію за допомогою методу UP-DOWN // *Проблеми загальної енергетики*. – 2013. – №3(34). – С. 11–16.
3. *Статистичний щорічник України за 2011 рік*. – Київ: Державна служба статистики України, 2012. – 559 с.
4. *Шульженко С.В.* Особливості розрахунку вартісних показників у задачах прогнозування розвитку електроенергетичних систем за ринкових умов їхнього функціонування // *Проблеми загальної енергетики*. – 2008. – №18. – С. 16–20.

УДК 620.9

ДЕТЕРМИНИРОВАНО-СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОБЪЕДИНЁННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ НА ДОЛГОСРОЧНУЮ ПЕРСПЕКТИВУ

Кулик М.М., академик НАН Украины, **Сас Д.П.**

Институт общей энергетики Национальной академии наук Украины,

ул. Антоновича, 172, Киев, 03680, Украина.

e-mail: info@ienenergy.kiev.ua

В статье рассматривается вопрос прогнозирования объёмов производства электроэнергии на долгосрочную перспективу с использованием метода UP-DOWN и детерминированно-стохастического моделирования. Объясняется целесообразность использования детерминированно-стохастического моделирования для решения таких задач. Описываются особенности прогнозирования электропотребления на макроуровне UP и секторальном уровне DOWN на основании моделей выявления зависимостей, а также структура и принцип работы разработанной детерминированно-стохастической модели для уточнения результатов прогнозирования. Приведены входные данные и результаты расчетов объёмов производства электроэнергии в Украине на период до 2030 года.

Библ. 4, табл. 2.

Ключевые слова: детерминированно-стохастическое моделирование, электроэнергия, прогнозирование, энергосистема, электроёмкость ВВП, электропотребление.

DETERMINISTIC-STOCHASTIC MODELING ELECTRICITY PRODUCTION IN INTEGRATED POWER SYSTEMS FOR A LONG-TERM PERSPECTIVE

Kulik M.M., **Sas D.P.**

Institute of General Energy of National Academy of Sciences of Ukraine,

str. Antonovycha, 172, Kyiv, 03680, Ukraine.

e-mail: info@ienenergy.kiev.ua

In this paper the issue of forecasting electricity production for a long term perspective with the use of UP-DOWN method and deterministic-stochastic modeling is considered. The reasonability of using deterministic-stochastic modeling for solving such tasks is explained. The special aspects of forecasting electricity consumption on macro level UP and sectoral level DOWN on the base of interaction detection models are described as well as structure and principle of operation of developed deterministic-stochastic model for adjusting the results of forecasting. The input data and the results of calculation of electricity production in Ukraine up to 2030 are presented. References 4, tables 2.

Key words: deterministic-stochastic modeling, electricity, forecasting, power system, GDP electric intensity, electricity consumption

1. *Energy Strategy of Ukraine up to 2030* (approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine on July 24, 2013 № 1071-p.). (Ukr)
2. *Sas D.P.* Forecasting electricity demand using UP-DOWN method // *Problemy zahalnoi enerhetyky*. – 2013. – №3(34). – Pp. 11–16. (Ukr)
3. *Statistical Yearbook of Ukraine for 2011*. – Kyiv: Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy, 2012. – 559 p. (Ukr)
4. *Shulzhenko S.V.* The specific aspect of cost indicators calculation in forecasting development of power systems in market conditions of its operation // *Problemy zahalnoyi enerhetyky*. – 2008. – №18. – Pp. 16–20. (Ukr)

Надійшла 10.02.2014