

УДК 621.311

Б.А. КОСТЮКОВСЬКИЙ (Інститут загальної енергетики НАН України, Київ)

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ СТРУКТУРИ ГЕНЕРУЮЧИХ ПОТУЖНОСТЕЙ ОБ'ЄДНАНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ ВПРОВАДЖЕННЯ РИНКОВИХ МЕХАНІЗМІВ РЕГУЛЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

Наведено принципи побудови та формалізації основних залежностей оптимізаційних моделей для формування варіантів розвитку структури генеруючих потужностей Об'єднаних електроенергетичних систем при прогнозуванні їх розвитку.

У загальному випадку основним завданням державного управління розвитком електроенергетики є забезпечення досягнення таких основних цілей:

- покриття потреб споживачів в електроенергії відповідно до їх платоспроможного попиту та режимів електроспоживання;
- виконання вимог енергетичної безпеки;
- забезпечення прийнятних цін на електроенергію з позиції як споживачів, так і власників енергетичних компаній;
- забезпечення нормативних значень показників якості електроенергії;
- виконання вимог щодо надійності роботи електроенергетичної системи в нормальних умовах експлуатації та забезпечення необхідного рівня її життєздатності в разі виникнення форс-мажорних обставин;
- виконання вимог щодо раціонального природокористування та захисту довкілля.

Досягнення означених цілей необхідно забезпечити за існування об'єктивної невизначеності майбутніх умов розвитку і функціонування електроенергетики, наявності великої кількості критеріїв, для яких неможливо однозначно визначити їх пріоритетність у подальшому. Ці критерії мають різну сутність, а деякі взагалі неможливо формалізувати.

Складність вирішення цього завдання в умовах постійного зростання значення електроенергії в усіх сферах життя суспільства, можливості виникнення великих економічних збитків і дуже важких соціально-екологічних наслідків у разі прийняття невірних рішень, упровадження механізмів ринкового регулювання зумовило створення і постійний розвиток методології обґрунтування рішень з розвитку електроенергетики, визначення вимог до методів і засобів проведення відповідних досліджень, їх розробки та постійного вдосконалення.

Для вирішення, цього завдання в Інституті загальної енергетики НАН України розроблено та постійно вдосконалюється комплекс математичних моделей для прогнозування розвитку

структури генеруючих потужностей ОЕС, ядром якого є система побудови та реалізації оптимізаційних моделей для визначення варіантів розвитку структури генеруючих потужностей при різних припущеннях стосовно майбутніх умов їх функціонування та розвитку. Подальший аналіз отриманих варіантів дозволяє формувати різноманітні прогнози розвитку електроенергетики країни, визначати доцільні до реалізації напрями розвитку окремих технологій тощо.

В основу побудови системи формування оптимізаційних моделей покладено "вибірковий" принцип їх побудови, який передбачає:

- використання загальних принципів формалізації при побудові оптимізаційних моделей формування варіантів розвитку ОЕС;
- поділ усіх елементів, зв'язків, умов розвитку та функціонування, ресурсних та екологічних обмежень, що описують систему, на групи за принципом наявності однакових фізико-технічних і економічних особливостей, виконання однакових функцій тощо;
- визначення для кожної групи набору методів моделювання, що відрізняються рівнем агрегування та адекватності опису реальних процесів, елементів, зв'язків, вимог та обмежень, можливості використання певних критеріїв при оптимізації тощо;
- формування конкретної оптимізаційної моделі шляхом вибору узгоджених між собою методів моделювання окремих елементів, зовнішніх і внутрішніх зв'язків ОЕС тощо, відповідно до цілей дослідження.

Цей підхід реалізує ідею "конструктора" – створення моделей з окремих блоків за рахунок вибору певних методів представлення ОЕС, тому він і отримав назву "вибіркового". Даний підхід дозволяє формалізувати моделі формування та аналізу варіантів розвитку ОЕС за єдиними правилами, незалежно від обраного рівня деталізації та адекватності опису умов розвитку ОЕС, її елементів, внутрішніх та зовнішніх її зв'язків, обраного критерію оптимізації тощо.

Загальні принципи формалізації при застосуванні цього підходу передбачають представлення ОЕС у вигляді ряду вузлів виробництва-споживання, в які агреговано всіх виробників, споживачів та постачальників продукції (товарів, послуг), що розглядаються в моделі. В кожному такому вузлі повинен виконуватися баланс виробництва-споживання продукції, при цьому продукція, вироблена в одному вузлі, може споживатися в іншому за наявності між ними відповідних технологій її транспортування. Кількість виділення таких вузлів може варіюватися залежно від цілей дослідження, наявності вхідної інформації тощо.

Ключовим поняттям, яке використовується при побудові оптимізаційних моделей для формування прогнозних варіантів структури генеруючих потужностей, є поняття технології виробництва продукції, до якого зводяться всі інші технології, а саме: транспортування (розподілу), постачання та споживання продукції.

Під технологією, залежно від рівня абстрагування, може розумітися як конкретний виробничий об'єкт, наприклад електростанція чи енергоблок конкретного типу (К-300, Т-250), так і узагальнені технології, для яких можливий різний рівень агрегування, наприклад ПГУ на природному газі, перспективні технології виробництва електроенергії на вугіллі тощо.

Технологія, в загальному випадку, характеризується такими показниками:

1. Вид технології, який позначимо індексом k : $k = 1 \div K$.

2. Стан технології в t -етапі розрахункового періоду ($t = 1 \div T$) відносно попереднього етапу, що визначається індексом n ($n = 0 \div 2$). $n = 0$ відповідає технологіям, що існували і в попередній етап; $n = 1$ – введені в роботу за рахунок нового будівництва на початок етапу t , а $n = 2$ – введені в роботу за рахунок реконструкції технологій, які працювали в попередній період або були законсервовані.

3. Встановленою потужністю технології X_{knt} у t -етап розрахункового періоду та її станом відносно попереднього етапу.

4. Коефіцієнтом готовності d_k .

5. Потужністю, яка фактично використовується – Y_{kt} . Для кожного моменту часу між встановленою потужністю і тією, що фактично використовується, існує така залежність:

$$Y_{kt} \leq \sum_{n=0}^2 d_k^* X_{knt}. \quad (1)$$

6. Питомими витратами певних ресурсів (продукції, товарів і послуг) j – $b_j = j \div J$. У загальному

випадку b_j є нелінійною функцією кількох параметрів, для конкретного моменту часу їх можна виразити у вигляді залежності:

$$b_{kj} = F(k, j, Y_k, \mu). \quad (2)$$

де μ – параметр, який залежить від фактичного стану технології, якості та культури обслуговування, рівня дотримання технологічної дисципліни тощо. Оскільки при прогнозуванні визначити його коректно неможливо, приймається, що питомі витрати визначаються відповідно до нормативних (прогнозних) показників відповідної технології з урахуванням рівня її завантаження. Ця потреба визначається добутком відповідного b_{kj} на Y_{kt} .

7. Питомим виробництвом продукції a_{kj} і викидами в довкілля шкідливих речовин у різноманітних агрегатних станах та газів, що спричиняють парниковий ефект a_{kp} , де p – індекс виду шкідливої речовини або парникового газу, $p = 1 \div P$. Залежність їх рівнів і загальні обсяги визначаються аналогічно до визначення для питомих витрат.

Значимо, що b_{kj} та a_{kp} розраховуються з урахуванням коефіцієнтів α та β .

8. Необхідним обсягом інвестицій для впровадження в роботу відповідної технології I_{kn} та схемою їх освоєння за роками періоду проектування, будівництва та введення в експлуатацію.

9. Гранично-прийнятною ціною виробництва продукції C_{kjt} , яка розноситься на дві складові – умовно-постійну та умовно-змінну.

Умовно-постійна складова C_{kjt}^n відноситься на одиницю встановленої потужності. Вона визначається як збільшена на ставку податку на додану вартість сума таких показників:

- амортизаційні відрахування;
- прибуток власників відповідної технології, за якого вони готові вкладати інвестиції та/або забезпечувати її роботу;
- податків на прибуток, капітал та інші обов'язкові платежі до державного та місцевих бюджетів (фондів), які не пов'язані безпосередньо з виробництвом продукції;

– умовно-постійні витрати на забезпечення підтримки технології в працездатному або законсервованому стані, які не залежать від режимів роботи технології – оплата праці, адміністративні видатки тощо.

Умовно-змінна складова C_{kjt}^z відноситься на одиницю виготовленої продукції. Вона визначається як збільшена на ставку податку на додану вартість сума оплати продукції та ресурсів, що використовуються в процесі виробництва, та екологічні платежі.

Для технологій, які виробляють декілька видів продукції, ці витрати розносяться на базі спеціалізованих алгоритмів, що визначаються особливостями тієї чи іншої технології.

Безпосереднє врахування податку на додану вартість забезпечує можливість урахування зміни податкового оточення в напрямі диференціації цього податку для окремих видів господарчої діяльності.

Окремими випадками, з погляду моделюючої системи, є технології кінцевого споживання продукції, для яких відсутні коефіцієнти питомого виробництва та викидів; технології постачання продукції, для яких відсутні коефіцієнти питомого використання ресурсів, а також технології транспортування продукції, які одночасно виступають і кінцевим споживачем, і постачальником продукції.

Принциповою відмінністю розроблених принципів формалізації вимоги балансування виробництва є споживання продукції у відповідних вузлах ОЕС, що дозволяє найбільш коректно врахувати наявність нерівномірності споживання електроенергії та тепла в сезонному, тижневому та добовому розрізі, а також різні маневрові можливості окремих технологій виробництва електроенергії.

Якщо позначити через g індекс сезону ($g = 1 \div G$), через m індекс характерних діб, для яких розглядаються графіки навантажень ($m = 1 \div M$), а через l індекс зони графіка навантажень ($l = 1 \div L$), то для кожної зони баланс виробництва-споживання відповідного виду продукції в загальному випадку формалізується таким чином:

$$\sum_{k=1}^K (a_{kj} - b_{kj}) * Y_{ktgml} = B_{jtgml} \quad (3)$$

де B_{jtgml} – потреба у продукції, обсяги якої не оптимізуються при формуванні варіантів розвитку структури генеруючих потужностей.

При прогнозуванні розвитку структури генеруючих потужностей ресурсні обмеження, як правило, задаються для всього розрахункового етапу і в загальному випадку формалізуються таким чином:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^G \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L b_{kj} * Y_{ktgml} * \delta_{tgm} * H_{tgm} \leq B_{jt} \quad (4)$$

де H_{tgm} – тривалість l -зони відповідного ГЕН; B_{jt} – значення обмежуючого ресурсу в t -етапі розрахункового періоду; δ_{tgm} – кількість характерних днів у відповідний сезон.

Аналогічно формуються і екологічні інтегральні загальносистемні обмеження, але замість коефіцієнта b_{kj} використовується коефіцієнт a_{kp} . Якщо да-

ні обмеження розглядаються для певних сезонів, то визначення відповідних витрат проводиться шляхом визначення їх суми у множині таких сезонів. Причому, якщо вид продукції, який розглядається, передбачає можливість накопичення запасів, то для них розглядається можливість "зміни запасів", тобто в період мінімального споживання вони "складаються", а в період максимального споживання – витрачаються зі "складу".

При моделюванні передбачається можливість введення інвестиційних обмежень, наприклад, на обсяг бюджетної підтримки інвестиційної діяльності з розвитку структури генеруючих потужностей або окремих типів технологій, зокрема, нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії. В цьому випадку інвестиційні обмеження формалізуються таким чином:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^2 \phi_{knt} * \omega_{skn} * I_{kn} * X_{knt} \leq I_{st} \quad (5)$$

де ϕ_{knt} – частка від загальної суми інвестицій, яка враховується в етапі t' при введенні відповідної потужності в етапі t ; s – індекс виду інвестиційного ресурсу – бюджетні кошти, пільгові кредити тощо; ω_{skn} – частка s -го виду інвестицій в загальних інвестиціях, яка враховувалась під час розрахунку ціни на продукцію, що вироблятиметься.

При моделюванні розвитку структури генеруючих потужностей у перспективі необхідно забезпечити коректне врахування можливості використання генерації на етапі t відносно попередніх етапів, а саме – використання потужностей, введених у попередніх етапах, а також тих, що існували до першого розрахункового етапу.

Можливість заміни під час реконструкції (модернізації можна розглядати як окремий випадок реконструкції) однієї технології на іншу визначається на підставі виділення найбільш обмежуючого чинника при заміні існуючої технології на нову. Такими чинниками можуть бути можлива потужність нової технології при збереженні існуючих будівель головного корпусу, екологічні обмеження тощо.

За цим фактором розраховується коефіцієнт заміщення існуючої технології виду k – $\theta_{k'k}$ на технологією виду k' .

З урахуванням цього, означена вимога формалізується в моделях таким чином:

$$X_{k(n=0)t-1} + Z_{kt-1} \geq X_{k(n=0)t} + \sum_{k' \in K} \theta_{k'k} * X_{k'(n=2)t} + Z_{kt} \quad (6)$$

$$X_{k(n=0)t} \leq X_{k(n=0)t-1} + \sum_{n=1}^2 (X_{knt} + X_{kn(t-1)}) - \sum_{t=1}^t X_{k(n=1)t} - B_{k(n=0)t_0} \quad (7)$$

де Z_{kt-1} , Z_{kt} – змінна, яка враховує можливість реконструкції із запізненням або тимчасову кон-

сервацію технологій та може трактуватись як "заморожена" потужність k -виду технологій на певний час.

Оскільки витрати на підтримку таких "заморожених" потужностей повинні бути відображені в цінових пропозиціях на виробництво електроенергії, вони розраховуються на одиницю потужності та вводяться до функціонала при оптимізації ціною C_{kzt} збереження одиниці "замороженої" потужності Z_{kt} .

При виборі критерію оптимізації було враховано, що за умов впровадження механізмів ринкового регулювання діяльності повинно базуватися на моделюванні перспектив розвитку та функціонування конкурентного ринку електроенергії, на якому прийняття інвестиційних рішень окремими суб'єктами господарювання стосовно будівництва нових та реконструкції існуючих енергетичних об'єктів базується на критеріях прибутковості вкладеного капіталу порівняно з іншими альтернативними можливостями – банківські депозити або вкладення в інші види господарської діяльності, терміну окупності інвестицій та оцінки фінансових ризиків. Лише за умов, що ціна продажу електроенергії робить такі інвестиції доцільними за цими критеріями, інвестори вкладатимуть кошти в розвиток генеруючих потужностей [1].

В свою чергу, і споживачі електроенергії, в загальному випадку, приймають рішення стосовно обсягів та режимів купівлі електроенергії з урахуванням як цінових пропозицій на її поставку, так і з огляду на доцільність її придбання, виходячи з ефективності ведення господарської діяльності за різних цін на електроенергію, доцільності витрат на неї відносно інших альтернативних можливостей тощо.

Це зумовлює обмеженість можливості використання традиційних критеріїв для формування варіантів розвитку структури її генеруючих потужностей – мінімум дисконтних витрат (макси-

мум прибутку) при використанні оптимізаційних моделей та підходів на основі попереднього визначення потреби в електроенергії та обов'язковості її покриття при ринкових моделях регулювання діяльності в електроенергетиці.

З урахуванням цього, критерієм оптимізації для цих умов прийнято максимізацію різниці між гранично-прийнятними цінами для споживачів, потужність яких оптимізується в моделі, помножену на цю потужність, та гранично-прийнятними цінами виробників (постачальників), за якими вони готові поставити електроенергію на ринок. Цей критерій у найбільш загальному вигляді може бути записаний таким чином:

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T \sum_{g=1}^G \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L C_{kgt}^3 * b_{kj} * Y_{kgtml} - \\ & - \sum_{k=1}^{K'} \sum_{t=1}^T \sum_{g=1}^G \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L C_{kgt}^3 * (a_{kj} + b_{kj}) * Y_{kgtml} - \\ & - \sum_{k=1}^{K'} \sum_{n=1}^2 \sum_{t=1}^T C_{knt}^n * X_{knt} - \sum_{k=1}^{K'} \sum_{t=1}^T C_{kzt} * Z_{kt} \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (8)$$

де K' є підмножиною множини K , що включає всі технології, розвиток яких оптимізується.

При моделюванні окремих технологій виробництва – споживання та транспортування – враховуються їхні фізико-технічні особливості, а саме – наявність технічного мінімуму навантаження в теплових та атомних електростанціях, неможливість зупинки атомних електростанцій на вихідні дні, обмеження на гідроресурси для гідроелектростанцій та "заряду" гідроакumuлюючих, погана прогнозованість потужності вітроелектростанцій тощо [2-5].

Розроблений комплекс математичних моделей для прогнозування розвитку структури генеруючих потужностей широко застосовується при проведенні досліджень з оцінювання перспектив розвитку електроенергетики країни, зокрема при розробці Енергетичної стратегії України на період до 2030 року.

1. Вест Д. А., Слинко Т.М., Костюковський Б.А. Некоторые вопросы оценки эффективности капитальных вложений на примере инвестиционного проекта Киевской ТЭЦ-7//материалы семинара "Инвестиционные проекты в электроэнергетике Украины". – Киев: Знание Украины. – 1997. – С. 41-51.

2. Україна на шляху до енергетичної ефективності / за редакцією Кавалка М.П., Рапцуна М.В., Кулика М.М., Єрохіна О.О. – Київ: Агентство з раціонального використання енергії та екології. – 1997. – 225 с.

3. Оптимизация республиканского топливно-энергетического комплекса и его отраслевых систем / Кулик М.Н., Юфа А.И., Дунаев В.Н. и др. АН Украины. Ин-т проблем энергоснабжения. – Киев: Наукова думка. – 1992 – 216 с.

4. Костюковський Б.А. Применение математических моделей для решения задач управления развитием электроэнергетических систем // сборник научных трудов "Оптимизация больших систем энергетики и энергосбережение" – Киев: Институт проблем энергосбережения. – 1990 – С. 10-17.

5. Костюковський Б.А., Крысанова И.Н. Моделирование конденсационных электростанций в задачах развития энергосистем // сборник научных трудов "Оптимизация больших систем энергетики и энергосбережение". – Киев: Институт проблем энергосбережения. – 1990. – С. 53-61.