

Пасічна М.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ОПТИМІЗАЦІЙНЕ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОГЕНЕРУЮЧИХ ПОТУЖНОСТЕЙ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПАНІЙ

У статті розглядаються методологічні і практичні аспекти застосування оптимізаційного та імітаційного моделювання для аналізу структури потужностей генерації електроенергії енергетичних компаній. Під час моделювання систем енергетики у більшості випадків використовуються універсальні інструментальні засоби. Вони базуються на оптимізаційних особливостях лінійного і нелінійного програмування, багато-критеріальному процесі прийняття рішень, генетичних алгоритмах та іншому. Головна увага у статті зосереджена на теорії і практиці моделювання структури генеруючих потужностей, класифікації наявних інструментів моделювання. Як приклад наводяться результати застосування програмних інструментів лінійного і нелінійного програмування для оцінки структури генеруючих потужностей в Україні.

Ключові слова: оптимізаційне та імітаційне моделювання, інформаційна технологія, структура генеруючих потужностей, генерація електроенергії.

Постановка проблеми. Сегмент генерації електроенергії являє собою складову частину електроенергетичної галузі. Оскільки електроенергію можна виробляти на різних генераторах енергії (що використовують різні типи палива), то сферу генерації електроенергії умовно поділяють на тепло-, гідро- й атомну генерацію. Промислові підприємства, які забезпечують перетворення вихідної природної енергії в електричну, називаються електростанціями. Сьогодні в світі приблизно 80% виробництва здійснюється на базі теплової енергетики (70% на ТЕС (теплові електростанції), 20% на АЕС (атомні електростанції) і 10% на ГЕС (гідроелектростанції)). На інші види електростанцій, що використовують нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії припадає незначна доля у виробництві електроенергії [1].

Так, відповідно до інформації Євростату [2] загальне виробництво електроенергії ЄС-28 (Європейський Союз-28) станом на 2015 р. досягло 3,07 млн ГВт-год (гіга-Ват-годин), де 48.1% – найбільша частка електроенергії – була згенерована на вугільних і газових електростанціях, 26.4% – за допомогою АЕС, 11.9% – на ГЕС, 9,7% та 3,5% – за допомогою ВЕС (вітрових електростанцій) та СЕС (сонячних електростанцій) відповідно.

В Україні відповідно до Державної служби статистики станом на 2015 р. було згенеровано 163,3 тис ГВт-год електроенергії, лівова частка якої (57,16%) припадала на АЕС; 30,86% електроенергії було вироблено ТЕС і ТЕЦ (теплоелектроцентралі), що працюють переважно на вугіллі; 4,51% –

на ГЕС та ГАЕС (гідроакумуючих станціях); ВЕС, СЕС і біомасні ТЕЦ виробили 0,68, 0,33 і 0,09 відсотків електроенергії відповідно [3].

Таким чином, структура генерації електроенергії може бути представлена як розподіл (диверсифікація) генеруючих потужностей (ГП) за типами технологій виробництва електричної енергії з розбивкою за видами палива. Вона показує статус часток різних джерел генерації електроенергії в загальному обсязі валового виробництва електроенергії. Залежно від складу структури ГП можна припустити рівень залежності країни від конкретних видів палива, рівень технічного прогресу, тенденцій щодо виснаження ресурсів, викидів CO₂ та інших парникових газів.

З огляду на це, зміни в сегменті генерації електроенергії, що відбуваються у зв'язку зі зношеністю і виведенням з експлуатації наявного електрогенеруючого обладнання, а також запровадженням інноваційних енергогенеруючих технологій, являють собою процес прийняття рішень в умовах багатоваріантності задач, їх багатомодельності, невизначеності і слабкої структурованості вхідних даних [4]. Фактор створення оптимальної або ефективної структури загальної встановленої електрогенеруючої потужності (ЗВЕП) електричних станцій є центральною проблемою урядів країн і менеджменту енергетичних компаній. Водночас технологічна диверсифікація, під якою розуміють впровадження інноваційних технологій генерації електроенергії, є однією зі складових частин оптимізації сектору електроенергетики [5].

Відповідно формується ряд задач, які необхідно розв'язати для забезпечення процесу автоматизації інтелектуального процесу прийняття рішень для сфери генерації електроенергії.

Поточні підходи до оцінки (оптимізації) структури генерації електроенергії базуються на програмних інструментах, основу яких становлять елементи сучасної теорії портфеля Марковіца (середнє значення розподілу ймовірностей, MVP – Mean Variance Portfolio) [6], елементи теорії нечітких множин [7], положення теорії корисності [8], задачі лінійного та нелінійного програмування та інше. До того ж застосування оптимізаційного та імітаційного моделювання до комплексного аналізу енергогенеруючих потужностей в Україні є недостатньо вивченим. Зокрема, багато уваги приділяється вивченню оптимального завантаження енергоблоків на короткостроковий період (доба, тиждень, місяць) [9], оптимальному керуванню вітровими і сонячними установками [10, 11] та іншому.

Метою цієї статті є дослідження особливостей застосування програмних інструментів оптимізаційного та імітаційного моделювання для оцінки структури генеруючих потужностей компаній, що виробляють електроенергію на території України.

Викладення основного матеріалу

1. Економіко-математичне моделювання в енергетиці

Поступова інтеграція традиційних й альтернативних (відновлюваних) джерел генерації електроенергії залежить від комбінації багатьох внутрішніх (техніко-економічні показники технологій, ресурси енергогенеруючої компанії) і зовнішніх (державне регулювання, економічна ситуація в країні) факторів впливу, нових умов та підвищених вимог для роботи енергогенеруючих компаній (підвищення енергоефективності і зменшення впливу на довкілля, забезпечення енергетичної безпеки), розвитку інтелектуальних систем підтримки управлінських рішень та інше [12, 13].

Таким чином, сфера генерації електроенергії являє собою складну систему кібернетичного типу, володіє багатьма рисами нестаціонарних систем, пов'язаних із розподіленістю структури, багатовимірністю і невизначеністю параметрів, що визначають стан і умови їх функціонування. Проектування таких систем вирішується в умовах нечітко окреслених цілей і обмежень, нечітких і невизначених даних, а також нечіткості завдання пріоритету окремих критеріїв [14].

З огляду на сучасні підходи до енергетичного моделювання (рис. 1), можна провести класи-

фікацію за такими трьома ознаками. По-перше, оскільки серед всієї множини задач вибору, що виникають під час дослідження складних систем, завжди актуальною є задача пошуку оптимального рішення, за кількома критеріями та в умовах певних обмежень застосовується оптимізаційне моделювання. Оптимізаційне моделювання дає можливість вибрати кращий стан системи з множини допустимих рішень, але вимагає, як правило, великої кількості вхідних даних і розв'язок моделі не завжди може бути якісно інтерпретовано.

Задачі оптимізації процесів в сегменті генерації електроенергії направлені в основному на:

– визначення такого набору енерготехнологій, який сприятиме зменшенню витрат генерації в умовах таких обмежень, як, наприклад, покриття попиту, вичерпність енергоресурсів, обмежений характер розповсюдження інновацій, квоти на викиди і так далі [15];

– знаходження «екологічно» оптимального завантаження енергоблоків з урахуванням обмежень на екологічні фактори енергосистеми та можливості маневруванням навантаженням енергоблоків [9].

По-друге, в зв'язку з тим, що під час запровадження технологій відбувається вплив так званих факторів зовнішнього середовища, постає питання імітації поведінки учасників ринку електроенергії під впливом таких факторів, як ціни на електроенергію, рівень доходів та інших. Як правило, тип моделювання допомагає зрозуміти, на яких умовах і в який спосіб можна зазнати невдачі, і яким навантаженням (бар'ерам) можна протистояти. Імітаційне моделювання не обмежується «оптимальною» поведінкою. Водночас сценарії розвитку подій на майбутнє є чутливими до початкових умов і вхідних параметрів.

По-третє, оскільки галузь електроенергетики напряму залежить від кінцевого споживання електроенергії в різних секторах економіки, то застосовуються моделі звітності (за кінцеве споживання електроенергії). Цей вид моделювання в першу чергу засновано на проектуванні відносин і чітких припущеннях про майбутнє (удосконалення технології в частині техніко-економічних показників, частка охоплення ринку та інше). Дане моделювання можна також віднести і до гібридного, оскільки математичний апарат базується на лінійному програмуванні, може бути доповнений симуляційним моделюванням, а також застосовуватись підхід багато-критеріального прийняття рішень. Особливістю моде-

лей звітності, зокрема LEAP, є те, що користувач вказує очікувані результати, а інструмент управляє даними та аналізує вплив результату на певний «що, якщо» енергетичний сценарій. Отже, особливістю моделювання є те, що замість моделювання результату відбувається аналіз наслідків тих чи інших вже прийнятих рішень (сценаріїв).

Основу всіх цих підходів становить побудова цільової функції, що являє собою функцію мети, і

на кожен змінну якої встановлюються певні обмеження і визначається область допустимих (граничних умов).

Контекстна діаграма інформаційної технології (ІТ), що описує процеси зі збору різнотипних розрізаних вхідних даних, механізмів їх збору і обробки, управління цими даними на основі математичного і програмного забезпечення, на якому базується вищенаведене моделювання, представлена на рис. 2.

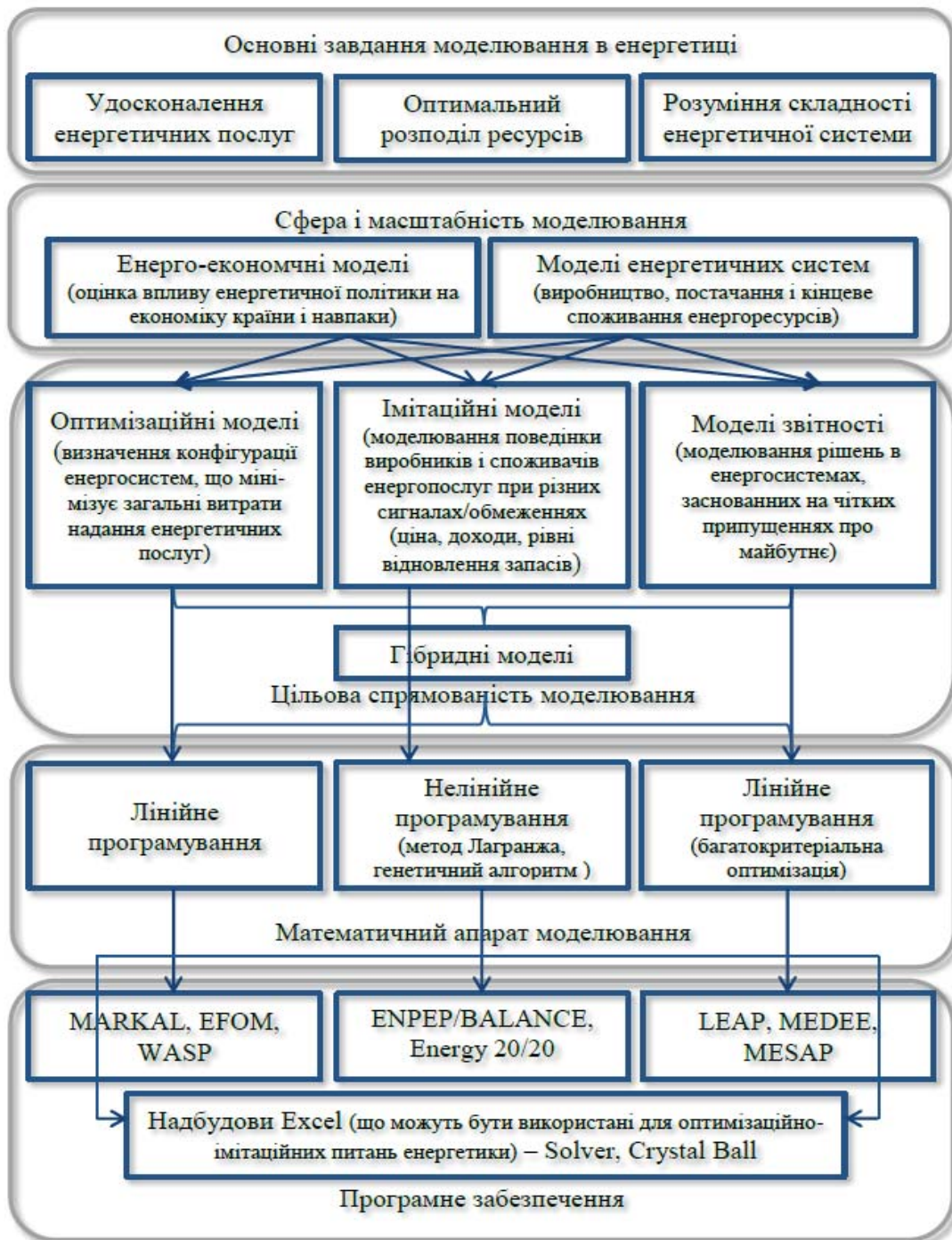


Рис. 1. Класифікація методів моделювання в енергетиці

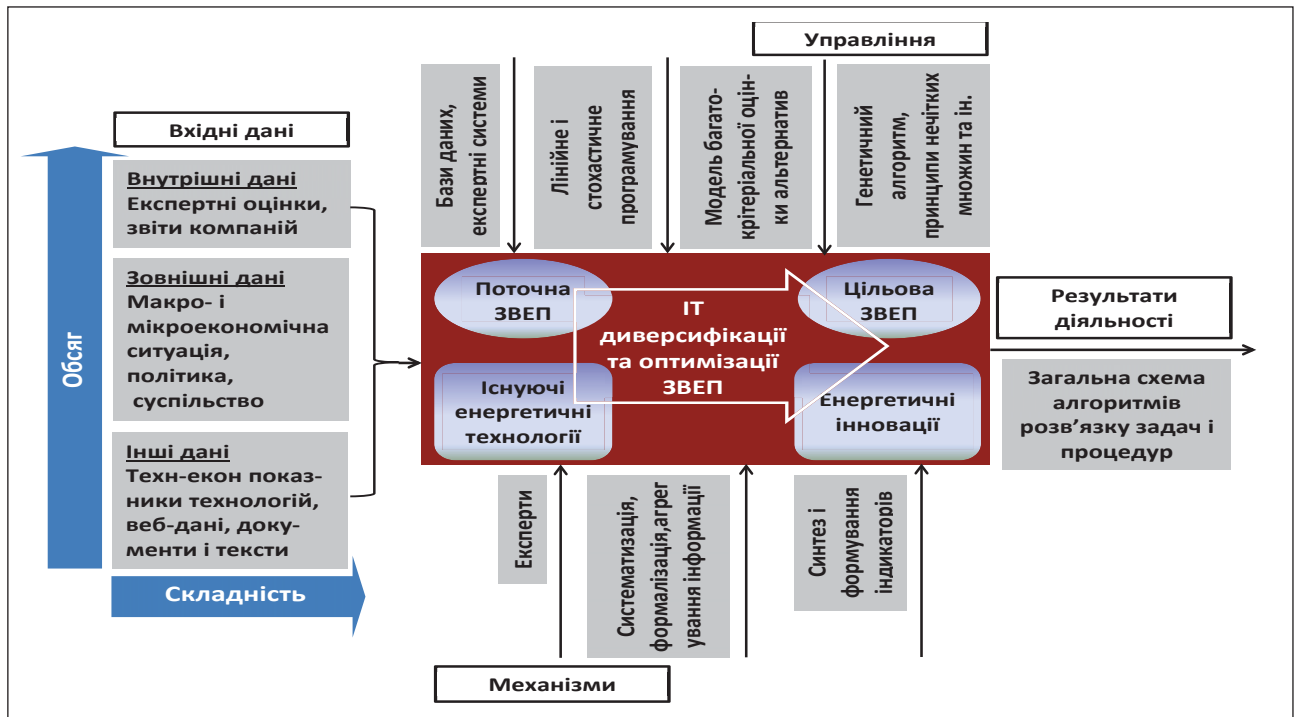


Рис. 2. Концептуальна схема інформаційної технології та складових частин програмного забезпечення диверсифікації та оптимізації структури загальної встановленої електрогенеруючої потужності

2. Застосування програмних інструментів лінійного і нелінійного програмування для структури генеруючих потужностей в Україні

Моделювання найменш вартісного розширення генеруючих потужностей електроенергії можна проводити в контексті оптимального розподілу потужностей та обсягу інвестицій за видами технологій. Для цього було застосовано програмний інструмент довгострокового планування із запровадження альтернативних джерел енергії LEAP [16] (рис. 3) та надбудова Excel – Crystal Ball [17], які базуються на принципах оптимізаційних особливостей лінійного програмування та стохастичної оптимізації відповідно.

LEAP. LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System¹) являє собою інтегровану систему сценарного моделювання, що використовує оптимізаційні особливості лінійного програмування системи OSeMOSYS (Open Source Energy Modelling System²), яке спирається на мову програмування з відкритим вихідним кодом (GNU MathProg) і базується на GLPK (GNU Linear Programming Kit³).

Алгоритм розрахунків в LEAP побудовано навколо обчислення так званих модулів – попиту

на електроенергію з боку секторів кінцевого споживання електроенергії (КСЕ), перетворення електроенергії, основних первинних та вторинних енергоносіїв, що споживаються.

Основними припущеннями в моделюванні є величини ВВП, доходу та кількості населення, кількості та розміру приватних домогосподарств (ПД). Моделювання охоплює чотири сектори КСЕ: приватні домогосподарства, промисловість, транспорт та послуги. Сектор ПД враховує електрифіковані будинки; промисловість включає хімічний і нафтохімічний, металургійний та целюлозно-паперовий сектори; транспорт покриває пасажирський і вантажний, як автомобільний, так і залізничний; сектор послуг включає будівлі комерційного призначення (нежитлового фонду). До модуля перетворення енергії входить виробництво електроенергії, власне використання електроенергії на електростанціях, втрати електроенергії та природного газу під час передачі та розподілу електроенергії. Вугілля, природний газ, гідроенергія, вітроенергія, сонячна енергія, біоенергія та атомна енергія прийняті за первинні енергоресурси, дизель, газолін і електроенергія – за вторинні енергоресурси.

Хронологія прогнозування LEAP становить з 2015 р. (базовий рік) по 2030 р. Прогнози включають «Базовий», «Європейський» та «Оптималь-

¹ Система довгострокового планування із запровадження альтернативних джерел енергії

² Система моделювання енергетики з відкритим кодом

³ Лінійний набір програм GNU

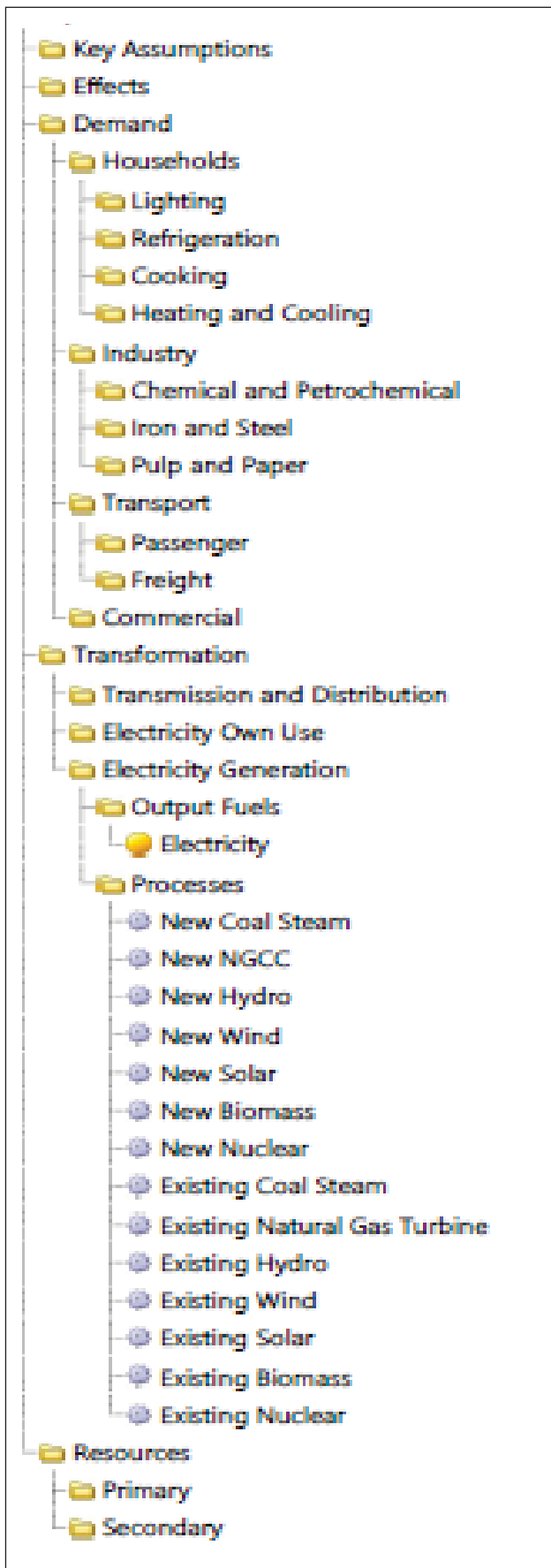


Рис. 3. Ієрархічне дерево LEAP (модулі та відповідні їм гілки)

ний» сценарії (БСц, ЄСц і ОСц відповідно). БСц забезпечує такий економічний розвиток, який слідує минулим тенденціям: падіння ВВП на 2,8% протягом року, поступове падіння чисельності населення, повільне зростання доходів населення, падіння кількості приватних домогосподарств. У сфері КСЕ на стороні ПД відбувається повільне падіння споживання твердих видів палива та електроенергії, в промисловості спостерігається падіння попиту на електроенергію в середньому на 1.3% в рік зі зменшенням використання вугілля та електроенергії проти збільшення використання природного газу (ПГ) і ВДЕ. В секторі транспорту – зростання споживання дизеля та електроенергії та падіння споживання газоліну, а також зменшення використання енергії (тверді палива і природний газ) в сфері послуг.

У сфері перетворення енергії, втрати ПГ становлять в середньому 20% для України, втрати електроенергії приймаються (за відсутності інформації) за 0%. Відбувається помірне зростання майже всіх видів генерації, за виключенням атомної.

ЄСц демонструє більш амбітні цілі (порівняно із БСц) в плані економічного зростання, покращення енергоефективності, прискореної відмови від використання викопних палив і атомної енергії, переході до споживання ВДЕ і так далі. ЄСц відрізняється від БСц у частині росту ВВП (0,5%), не спостерігається падіння кількості населення. В сфері КСЕ спостерігається стрімке падіння споживання електроенергії приватними домогосподарствами (-60% – освітлення, -50% – використання холодильників, -42% – приготування їжі, -30% – нагрів і охолодження помешкань) і ПГ; водночас зростає споживання вугілля. В промисловості відбувається зниження використання твердих видів палива (1,1% на рік) і зростання (на 0.5% на рік) використання ПГ, сонячної енергії, біомаси та електроенергії. На транспорті (пасажирські автомобілі) споживання дизеля і газоліну скорочується на 34 і 20 відсотка відповідно за період 2015–2030 рр., частка електромобілей зростає до 5% на 2030 р. На вантажних автомобільних перевезеннях споживання дизеля скорочується на 6% на рік. У сфері послуг споживання ПГ і електроенергії за період 2015–2030 рр. падає на 33% і 50% відповідно. Втрати ПГ зменшуються вдвічі. Обсяг встановленої потужності в Україні зростає, окрім атомної (яка зменшується майже вдвічі).

Дані для БСц були запозичені з розробленого заздалегідь базового сценарію за допомогою моделі «TIMES-Ukraine» [18]. Тенденції ЄСц

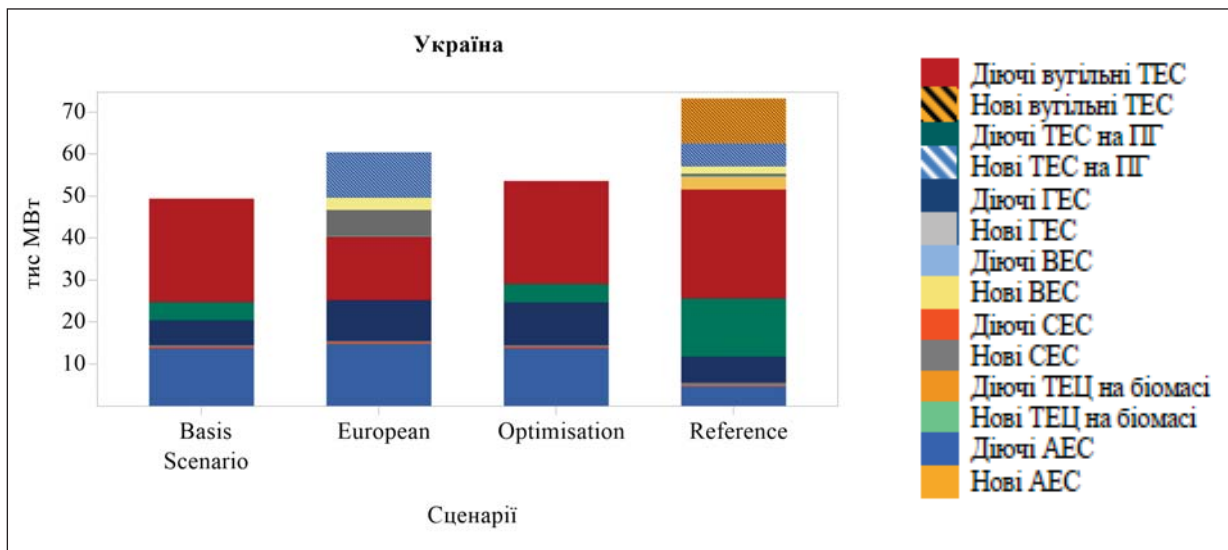


Рис. 4. Прогноз структури ЗВЕП із розбивкою за видами палива на 2030 р. для України; Basis Scenario – ситуація на 2015 р., European – Європейський сценарій, Optimization – Оптимальний сценарій, Reference – Базовий сценарій

ототожнюються із цілями, заявленими в Енергетичній стратегії України на період до 2035 року [19]. У разі відсутності необхідних даних було розраховано лінійний прогноз, що базується на тенденціях за період 2010–2015 рр. Викиди забруднюючих речовин та вплив на навколишнє природне середовище, що є результатом використання технологій генерації електроенергії на основі викопних палив, розраховуються за допомогою LEAP на основі коефіцієнтів викидів, запропонованих МГЕЗК⁴.

З метою знаходження найбільш оптимального складу електрогенеруючих потужностей (побудови ОСц), що мінімізує витрати на генерацію, задовольняючи водночас необхідний попит, враховуючи коливання добових навантажень роботи енергосистеми, а також навантаження на довкілля (викиди) було застосовано лінійне програмування системи OSeMOSYS методу оптимізації LEAP [20].

Цільова функція OSeMOSYS представлена наступним рівнянням:

$$\text{Min} \sum_y \sum_t \sum_r TC_{y,t,r} = OC_{y,t,r} + CC_{y,t,r} + EP_{y,t,r} - SV_{y,t,r} \forall y, t, r,$$

де TC, OC, CC, EP, SV являють собою дисконтовані (5%) загальну вартість, експлуатаційні витрати, капітальні витрати, штраф за викиди забруднюючих речовин від використання енергогенеруючих технологій та вартість виведення енергогенеруючих станцій з експлуатації відповідно; y, t, r – індекси року, технології та регіону відповідно.

⁴ Міжурядова група експертів з питань змін клімату

Обмеження цільової функції стосуються величин мінімальної та максимальної потужностей, соціальної чи економічної діяльності, для якої споживається електроенергія, резервної потужності та викидів (NO_x, SO_x, CO₂).

Враховуючи прогноз падіння попиту на електроенергію зі сторони секторів КСЕ, а також враховуючи ціль знаходження найменш вартісного рішення для навантаження та розширення ГП, LEAP передбачає наступну оптимальну структуру потужностей генерації електроенергії (ОСц) на 2030 р. (рис. 4). Як видно, ОСц значно відрізняється від БСц та ЄСц, призводить до досить помірного збільшення потужностей і переважно в частині електростанцій, що працюють на гідроенергії. Натомість в ЄСц планується розширення потужностей, що працюють на ПГ, а також СЕС і ВЕС шляхом скорочення вугільної генерації. Водночас в контексті витрат ЄСц є в два рази дорожчим за ОСц.

Ці результати можна пояснити тим, що ОСц є сценарієм найменших витрат, за винятком обмежень, накладених на мінімальний і максимальний рівні встановленої потужності (відповідно до цілей країни).

З іншого боку, це все вказує на те, що падіння попиту на електроенергію та нестабільна економіка призводять до занадто великого обсягу потужностей (за резервної потужності понад 40% під час максимального попиту). Ці результати треба ретельно вивчати, оскільки відсутні дані про витрати, пов'язані із розширенням потужностей ГЕС, і модель не враховує рівень зношеності генеруючих потужностей.

Crystall Ball. Програмне забезпечення Crystall Ball є результатом реалізації технології розсіяного пошуку (scatter search), налаштовуючи його операцію до контексту оптимізації імітацій. Система шукає найкраще можливе рішення задачі оптимізації, яке визначається набором вхідних факторів для імітаційної моделі. Базою даного ПЗ є метаврестична оптимізація.

дніх років та ймовірнісний бюджет на майбутні періоди).

Відповідно до результатів моделювання Crystal Ball (OptQuest) (табл. 2) лівова частка бюджету припадає на генерацію на основі атомної енергії, а також вугілля. До того ж більша частка бюджету, як правило, припадає на технології, яким притаманний більший ризик (1/LCOE) в плані економічної ефективності.

Таблиця 2

Розподіл ймовірнісного бюджету (2 млрд. грн) за типами технологій, а також показник ефективності генерації електроенергії (МВт/Євро) для генеруючих потужностей України

	частка бюджету	МВт/Євро (1/LCOE)
Вугілля	16,5%	0,015
Природний газ	0,0%	0,009
Гідро-енергія	13,6%	0,034
Вітрова енергія	0,1%	0,004
Сонячна енергія	0,1%	0,004
ТЕЦ на біомасі	0,1%	0,003
Атомна енергія	69,5%	0,039

Висновки. Підсумовуючи, слід зазначити, що Оптимальний сценарій відповідно до LEAP, як видається, є сценарієм найменших витрат порівняно з іншими створеними сценаріями, якщо не існує обмежень на встановлену потужність та резервну маржу. Моделювання LEAP не враховує витрати на розробку мереж передачі та розподілу, а також витрати, пов'язані з реконструкцією та модернізацією електростанцій. Детальне уявлення про кінцевий попит на енергію є важливим детермінантом прогнозування в LEAP.

Вхідні дані моделювання охоплюють сім видів палива (вугілля, природний газ, гідроенергія, вітроенергія, сонячна енергія, біоенергія та атомна енергія), витрати на виробництво електроенергії (LCOE), мінімальний й максимальний рівні інвестицій у технології (тенденції попере-

Програмне забезпечення Crystal Ball (OptQuest) показує здатність системи знаходити оптимальні та найближчі оптимальні рішення за лічені хвилини. Водночас розрахунки є досить чутливими до вхідних даних.

В обох випадках оптимізаційно-імітаційного моделювання найбільш ефективний і оптимальний сценарій розвитку генеруючих потужностей відповідно до запропонованого моделювання не завжди співпадає із політикою урядів країн та стратегічних планів енергетичних компаній.

Список літератури:

1. Беляев Л.А., Заворин А.С., Тайлашева Т.С. Тепловые электрические станции: учебное пособие. Томск: STT, 2011. 342 с.
2. Eurostat. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat> (last access: 11.01.2018) - Eurostat.
3. Конеченков А. Европейский энергобаланс – по какому пути развития идут Евросоюз и Украина? Терминал, 2016. Вип. 11. С. 11–13.
4. Стецюк П.І., Журбенко М.Г., Лиховид О.П. Математичні моделі та програмне забезпечення в задачах енергетики. Київ: Національна академія наук України, інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова, 2012. 64 с.
5. Степанова А. Диверсифікація енергетичної залежності країни. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: економіка, 2016. Вип. 2. С.78–85.
6. Lang J., Madlener R. Portfolio Optimization for Power Plants: The Impact of Credit Risk Mitigation and Margining. Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN), E. ON ERC, RWTH Aachen University, 2010.
7. Madlener R., Glensk B., Weber V. Fuzzy Portfolio Optimization of Onshore Wind Power Plants. Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN), E. ON ERC, RWTH Aachen University, 2014.
8. Шулима О.В., Шендрік В.В., Давідсон П. Формалізація задачі прийняття рішень для вибору оптимальної структури гібридної енергетичної системи. Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. Харків: НТУ «ХП», 2016. Вип. 49(1221). С.62–69.
9. Стецюк П.И., Лиховид А.П., Чумаков Б.М. Математические и программные средства моделирования и оптимизации динамической загрузки мощностей энергосистемы. Отчет о научно-исследовательской работе № гос. регистрации 0107U004963. Киев: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, 2009. 136 с.
10. Щур І.З., Щур В.І. Оптимальне керування вітроустановками різної потужності в умовах турбулентних вітрів. Національний університет «Львівська політехніка», кафедра ЕАП, 2012. С. 146–152.

11. Кузнецов М.П., Ужейко С.О. Імовірнісні аспекти використання відновлюваних джерел енергії в зоні відчуження Чорнобильської АЕС. Відновлювальна енергетика, 2016, вип. 3. С. 6–12.
12. Sagar A. Assessing the global energy innovation system: some key issues. Energy Policy, 2002, No. 30. P. 465–469.
13. Clerens P., Farley M., Jazbec L. Thermal Power in 2030. Added value for EU Energy Policy, 2015. 44 p.
14. Макаров И.М., Виноградская Т.М., Рубчинский А.А. Теория выбора и принятия решений. Москва: Наука, 1982. 328 с.
15. Leibowicz B., Krey V., Grubler A. Representing spatial technology diffusion in an energy system optimization model. Technological Forecasting and Social Change, 2016, No. 103. P. 350–363.
16. LEAP. Stockholm Environment Institute. 2012. URL: http://sei-us.org/Publications_PDF/SEI-LEAP-brochure-Jan2012.pdf. - 12.12.2017.
17. Glover F., Kelly J., Laguna M. The OptQuest approach to Crystal Ball simulation optimization. 1998. URL: <https://www.researchgate.net/publication/267771945>.
18. Дячук О., Чепелев М., Подолець Р. Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року. ТОВ «АРТ КНИГА», 2017. 88 с.
19. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». 2017. URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/250250456>.
20. Howells M, Rogner H, Strachan N. OSeMOSYS: The Open Source Energy Modeling System: An introduction to its ethos, structure and development. Energy Policy, 2011, No. 39. P. 5850–5870.

ОПТИМИЗАЦИОННОЕ И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ

В статье рассматриваются методологические и практические аспекты применения оптимизационного и имитационного моделирования для анализа структуры мощностей генерации электроэнергии энергетических компаний. При моделировании систем энергетики в большинстве случаев используются универсальные инструментальные средства. Они базируются на оптимизационных особенностях линейного и нелинейного программирования, многокритериальном процессе принятия решений, генетических алгоритмах и другом. Главное внимание в статье сосредоточено на теории и практике моделирования структуры генерирующих мощностей, классификации существующих инструментов моделирования. В качестве примера приводятся результаты применения программных инструментов линейного и нелинейного программирования для оценки структуры генерирующих мощностей в Украине.

Ключевые слова: оптимизационное и имитационное моделирование, информационная технология, структура генерирующих мощностей, генерация электроэнергии.

OPTIMIZATION AND SIMULATION MODELING OF THE STRUCTURE OF ELECTRICITY GENERATION CAPACITIES OF ENERGY COMPANIES

The article deals with the methodological and practical aspects of the application of optimization and simulation modeling for the analysis of the structure of electricity generating of energy companies. In most cases, while modeling energy systems the universal tools are used. They are based on optimization features of linear and nonlinear programming, multi-criteria decision-making process, genetic algorithms, etc. The main attention in the article is focused on the theory and practice of modeling of the structure of generating capacities, the classification of existing modeling tools. As an example, the results of application of linear and non-linear programming tools for estimating the structure of generating capacities in Ukraine are presented.

Key words: optimization and simulation modeling, information technology, structure of generation capacities, generation of electric power.