



В.О. Точилін, Р.З. Подолець, О.А. Дячук, Ю.А. Олександренко

Державна установа «Інститут економіки та прогнозування НАН України», Київ

ПРИКЛАДНА ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ «TIMES-УКРАЇНА» ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ УКРАЇНИ



Запропоновано комп'ютерну економіко-математичну модель «Times-Україна» для оптимізації енергетичних потоків та обговорено можливість використання її в комплексних науково обґрунтованих розрахунках прогнозного енергетичного балансу України. Розроблена модель разом із статистичною базою даних є прикладним інструментарієм, що дозволяє оперативно вносити зміни в умови базового і альтернативних сценаріїв енергозабезпечення та проводити оперативні розрахунки за широким спектром досліджень.

Ключові слова: енергоменеджмент, енергетичний баланс, енергетична система, енергетичний попит, модель «Times-Україна», оптимізація, прогнозування, сценарії енергозабезпечення.

В Україні тривалий час доступність відносно дешевої енергетичної сировини давала можливість підприємствам обробної промисловості підтримувати високий рівень експортної виручки, забезпечуючи позитивне сальдо торгового балансу і прийнятні темпи економічного зростання. Погіршення кон'юнктури металургійної та хімічної продукції на світових ринках на фоні збільшення вартості енергоресурсів змусило повернутися до питання обґрунтованості факторів такого зростання. Період екстенсивного розвитку не був у повній мірі використаний для структурної перебудови економіки, незбалансованість та надмірна енергоємність якої посилювали інерційний характер функціонування паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) та унеможлилювали проведення необхідних у ньому реформ. У свою чергу в самому ПЕК існуючі диспропорції стримували трансформацію структури споживання. Незважаючи на деяке зниження енер-

гоємності протягом останніх років, конкурентоспроможність вітчизняної продукції все ще забезпечувалася за рахунок зменшення обігових коштів підприємств та обмеження інвестиційних коштів у модернізацію виробництва.

Державні ініціативи зазвичай обмежувалися розробкою стратегічних програм щодо збільшення ефективності використання енергії, нарощування видобування власних та диверсифікації джерел постачання імпортованих енергоресурсів, проте через відсутність чітких механізмів та джерел фінансування рівень реалізації цих програм не перевищував 15–40 відсотків. Динаміка розгортання фінансово-економічної кризи 2008–09 рр. не стільки показала недосконалість існуючих державних програмних документів, скільки довела безперспективність організації роботи по їх створенню за умов неузгодженого відомчого або галузевого підходу та несистемного «ручного» розрахунку. Неузгодженість при формулюванні пріоритетних заходів енергетичної політики (особливо за умов обмежених можливостей держав-

© В.О. ТОЧИЛІН, Р.З. ПОДОЛЕЦЬ, О.А. ДЯЧУК,
Ю.А. ОЛЕКСАНДРЕНКО, 2010





ного фінансування) може призвести до ситуацій, коли впровадження окремих енергозберігаючих технологій сприятиме скороченню споживання бездефіцитного дешевого ресурсу, а стимулювання виробництва такого ресурсу призведе до диспропорцій між встановленими потужностями, логістичною мережею та ємністю ринку.

Враховуючи невизначеність щодо основних складових макроекономічних прогнозів, найбільш раціональним способом організації відповідних досліджень є започаткування практики використання прикладних модельних комплексів, за допомогою яких можна адекватно відобразити енергетичну систему та проводити багатоваріантні розрахунки її розвитку за альтернативними економічними сценаріями. Доцільність використання економіко-математичних моделей обумовлена можливістю більш точного та адекватного визначення взаємозв'язків та залежностей між різними елементами системи, впливу зовнішніх факторів на систему, аналізу альтернативних стратегій її розвитку. Складність реальних процесів унеможлиблює їх бездоганне представлення у моделі, природним є певне спрощення їх математичної проєкції. Такі спрощення, обмеження, можливі неточні оцінки окремих параметрів, а також непрогнозована поведінка самих об'єктів моделювання, безумовно, зменшують достовірність моделі. Проте використання моделей слід розглядати не як пошук чітких відповідей для прийняття рішень, а як спосіб вивчення тих процесів, що відбуваються в системі. Часто інформація та досвід, набуті в процесі побудови та експлуатації моделі, набагато важливіші безпосередньо за результати модельних розрахунків.

При оцінці варіантів енергетичних стратегій питання ефективності структури енергетичного балансу України закономірно розглядається як одне з ключових. Для досягнення оптимальної структури енергобалансу необхідним є прийняття комплексних загальнодержавних рішень, оскільки згадані проблеми виходять за виключно галузеві рамки. Тому при моделюванні енергетичної системи її не-

обхідно розглядати як єдину виробничо-господарську структуру, що складається з автономних інтегрованих підсистем, взаємне функціонування яких узгоджується з динамікою розвитку економіки із врахуванням зміни ринкового середовища, обмежень екологічного та соціального характеру. Ефективність такої узгодженості не може бути досліджена на рівні лише технічної або економічної підсистем, оскільки досліджувати необхідно весь комплекс виробничих та економічних зв'язків на галузевому, міжгалузевому та макроекономічному рівнях.

Адекватність прогнозних оцінок енергетичного балансу в першу чергу залежатиме від коректності вибору методологічного підходу. Структура моделі і прийнятий методологічний підхід визначатимуть програмне забезпечення для її прикладної реалізації. Крім того, комп'ютерна модель має передбачати можливість моніторингу, аналітичного аналізу основних показників та забезпечувати відповідний рівень візуалізації.

ВІТЧИЗНЯНИЙ ТА ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ

Розвитку енергетичного господарства традиційно приділяється значна увага науковців. Ще в першій половині минулого століття були сформульовані основні теоретичні положення системних досліджень енергетики та розроблені перші лінійні моделі.

Поряд із теоретичними розробками щодо різноманітних аспектів функціонування енергетики від визначення принципів оптимального розподілу обмежених ресурсів до аналізу ролі держави на олігопольних галузевих ринках вітчизняні дослідники забезпечували наукове супроводження при розробці стратегічних програмних документів, таких, як Енергетична стратегія України до 2030 року [1], Комплексна державна програма енергозбереження [2] тощо.

Сьогодні розробкою економіко-математичних моделей для дослідження проблем енергетичного сектора України займаються кілька груп науковців. Так, в Інституті загальної енергетики НАН України була побудована систе-





ма математичних моделей для прогнозування та розвитку ПЕК України та його галузевих підсистем, а також створена економіко-математична модель для параметричної оптимізації міжгалузевого балансу ПЕК України. Однак ці моделі відображають лише генерацію, транспортування та розподіл електричної енергії, виробництво і розподіл теплової енергії. В Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України розроблені моделі товарних і грошових потоків та прогнозування макроекономічних наслідків управлінських рішень в енергетиці. В Раді по вивченню продуктивних сил України НАН України розроблено модель для прогнозування основних показників діяльності транспортно-дорожнього комплексу України на довгострокову перспективу. Національною комісією регулювання електроенергетики України проводиться дослідження по розробці моделі впровадження ринку двосторонніх договорів та балансууючого ринку електроенергетики.

Мета і методи досліджень в згаданих роботах істотно відрізняються від запропонованих у цій роботі. Для прогнозування розвитку енергетичного сектора та розробки прогнозного енергетичного балансу застосовувалися експертні оцінки та відповідні методи обробки експертної інформації, оціночні розрахункові моделі або агреговані макроекономічні моделі типу *витрати–випуск*, що, на нашу думку, суттєво зменшує наукову обґрунтованість результатів. У інших випадках, при оптимізаційному підході до моделювання, об'єктом досліджень був не весь енергетичний сектор, що потрібно для розробки прогнозного енергетичного балансу, а лише його частина — електроенергетична галузь, газотранспортна галузь нафтогазового комплексу. Крім того, більшість галузевих досліджень обмежувалися лише вивченням сектора виробництва та трансформації енергії, минаючи сектор кінцевого споживання, а прикладна реалізація таких розробок часто проводилася засобами стандартних офісних програм.

ЗАГАЛЬНИЙ МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ МОДЕЛІ

Об'єктом дослідження в моделі оптимізації енергетичних потоків та енергетичного балансу є вся енергетична система країни, причому це поняття охоплює весь комплекс економіко-господарських відносин, пов'язаних з оборотом енергоносіїв, і тому є ширшим від загальноживаних термінів «енергетична галузь» або «паливно-енергетичний комплекс». Галузі ПЕК забезпечують видобуток енергоресурсів, їх переробку, транспортування та постачання у зручних для споживання формах. В решті секторів економіки різні форми енергії використовуються у вигляді енергетичних послуг для задоволення енергетичних потреб (попитів). Структура цих попитів є різною і залежить від характеру потреб кожної категорії споживачів: перевезення, зберігання, виробництво продукції, освітлення, охолодження, житлові умови, приготування їжі тощо. Таким чином, метою функціонування енергетичної системи є задоволення попиту на енергетичні послуги або енергетичних попитів.

На рис. 1 наведено приклад енергетичної системи, де потоки енергоресурсів за декілька послідовних етапів проходять трансформацію від первинної форми до втілення у кінцевій продукції або послугі.

Первинною є така форма енергії, в якій вона існує в природі або міститься в природних ресурсах: хімічна енергія у вуглеводнях (вугілля, нафта, газ) і біомасі, потенційна енергія вітру та водного басейну, електромагнітна енергія сонячної радіації, енергія розщеплення ядра. Як правило, первинна енергія непридатна для прямого споживання і потребує трансформації у вторинні форми — електроенергію, моторне паливо. Доставлену до споживача енергію у придатному для використання вигляді називають кінцевою: електроенергія в розетці, бензин на автозаправці, вугільні брикети в котельні тощо. Перетворення кінцевої енергії на корисну у вигляді тепла або роботи відбувається у приладах кінцевого споживання енергії (напр., в котлах або дви-





ЕНЕРГЕТИЧНА СИСТЕМА

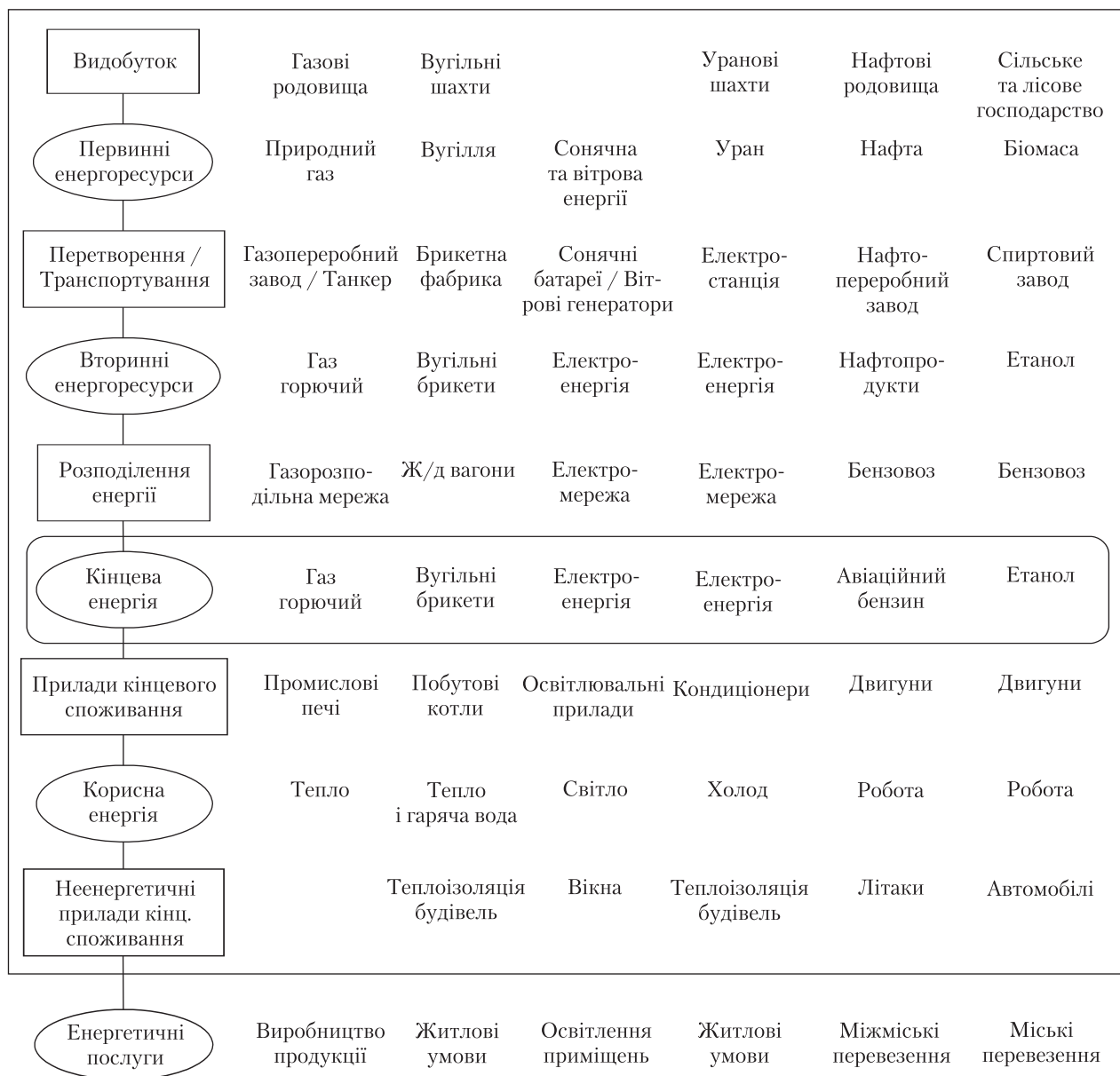


Рис. 1. Блок-схема енергетичної системи

гунах). Як і попередні форми, корисну енергію можна вимірювати у звичних фізичних одиницях (джоулі, калорії, умовне паливо), проте коректніше та зручніше для сприйняття вимірювати її у відповідних одиницях роботи — оборотах колінчатого валу двигуна, віддачі тепла (терм або калорій) радіатора, випромінювання світла

(люмен). Робота приладів кінцевого споживання (окремо або частіше разом із іншим обладнанням) спрямована на виробництво енергетичних послуг, таких, як рух автомобіля, освітленість приміщення, опалене приміщення або технологічне тепло. Залежно від комбінації потреб та приладів кінцевого споживання попит





на енергетичні послуги може вимірюватися в пасажиро-кілометрах, квадратних метрах опалених житлових приміщеннях, тонах виробленої промислової продукції або навіть глобально – гривень доданої вартості.

Обсяги енергетичних послуг залежать від комбінації та вартості використання логістичної інфраструктури, технологій, трудових ресурсів, а також матеріальних та енергетичних ресурсів. У більшості випадків фактори виробництва є взаємозамінними у своїх категоріях. Зокрема, вартість енергетичної сировини залежить від доступності джерел первинної енергії та технологій її видобування, переробки і транспортування. Ціна ж на енергетичну послугу формується з огляду на існуючий попит на неї та власні споживчі властивості, незалежно від форми та обсягів енергії, витрачених на її виробництво. Тобто вона лише опосередковано залежить від вартості конкретного енергоресурсу. Тому тісна взаємодія факторів, що визначають ціну енергії та ціни енергетичних послуг, обумовлює необхідність аналізу всього процесу формування енергетичних потоків.

СТРУКТУРА МОДЕЛІ

Виробничий тип задачі зумовлює необхідність детального представлення технологічних процесів, що розділяються в моделі на такі типи:

- ✦ технології видобутку енергетичних ресурсів (за рівнем розвіданості запасів і стадією експлуатації свердловин для природного газу та нафти);
- ✦ технології виробництва вторинних енергоресурсів (технологія виробництва вугільної продукції, коксу та нафтопродуктів);
- ✦ технології виробництва електроенергії і тепла за типами станцій, енергоблоків і котлів;
- ✦ технології кінцевого споживання енергії в промисловому секторі, секторі послуг, транспорті, сільському господарстві та населенням.

В *секторі постачання* моделі враховані резерви викопних видів енергоносіїв за категоріями та технологіями їх видобутку. Технології видобутку нафти і природного газу розділені

на чотири типи за основною профільністю компаній (нафтовидобувні, газовидобувні, видобування енергоносіїв на морському шельфі та ін.), що характеризують різні умови видобутку та собівартість сировини. Видобування вугілля та лігніту представлене загальними технологіями. Враховуючи прогностичні оцінки, закладені в Енергетичній стратегії України до 2030 р., для технологій видобування встановлені максимальні та мінімальні значення інтенсивності їх використання.

Процес видобування викопних видів енергоресурсів в моделі розділений за стадіями освоєння та вичерпання родовищ. Кожна стадія характеризується вартістю і річними обсягами доступного ресурсу за цією вартістю. Оскільки енергетичні потоки представлені досить детально, то витрати на видобування не включають енергетичної складової собівартості. Видобутий та підготовлений до споживання енергоресурс вважається первинним, тому роздільно враховуються як технології видобування та підготовки, так і самі енергоресурси – у моделі розрізняються *резерви, видобуті* (рядові) та *первинні* (товарні) *енергоресурси*. Така топологія моделі дає можливість детальніше відобразити структуру собівартості видобування первинних енергоресурсів та фактори впливу на неї. Первинні енергоресурси після їх створення проходять два умовні процеси – створення палив сектора постачання та створення інших секторальних палив. Ці процеси фактично відображають існуючу інфраструктуру постачання енергоресурсів. Визначення постійних та змінних витрат умовних технологій впливає на оцінку ціни секторального палива та вартості відповідної енергетичної послуги.

Для дослідження потенціалу альтернативних видів палива в секторі постачання задані технології підготовки та переробки біомаси з масломістких, цукромістких, крохмаломістких рослин, соломи, відходів сільського та лісового господарств, деревообробної галузі, міських та промислових відходів, чорного лугу. Оскільки статистична інформація про виробництво згаданих видів біомаси (крім дров для опалення) і сиро-





вини, а також виробленого з цієї сировини палива не фіксується або ці обсяги додаються до інших видів продукції, наразі параметри відповідних технологій було оцінено за експертною інформацією. Кожна технологія постачання різних видів біомаси має лише один рівень вартості. Крім біомаси в моделі передбачена можливість дослідження потенціалу використання й інших відновлювальних джерел енергії, зокрема гідроенергії, вітрової, геотермальної, сонячної енергії тощо. Водночас статистична інформація щодо обсягів і потенціалу використання геотермальної енергії, а також технічних характеристик сонячних колекторів відсутня.

Спрощена технологія виробництва палива для АЕС України не передбачає детального опису виробничого процесу і характеризується лише обсягами та вартістю поставок. Її деталізація видається доцільною лише після створення власного циклу виробництва ядерного палива відповідно до проекту Державної цільової економічної програми «Ядерне паливо України». Аналогічно були представлені процеси виробництва вторинних енергетичних ресурсів (нафтопродуктів, коксу, вугільних брикетів, горючих газів), а також видобування, виробництва і утворення неенергетичної сировини (залізної руди, вапняку, каоліну, гіпсу, металобрухту, склобою, макулатури тощо), включення якої було необхідне для збереження адекватності моделі.

Міжнародна торгівля за всією номенклатурою енергоресурсів та деякими видами промислової продукції представлена в моделі окремими процесами по регіонах (торгівля з країнами Європейського Союзу, Росією та іншими країнами світу). На прогностичний період для кожного виду продукції були задані верхні та нижні обмеження. Зміни складських запасів представлені в секторі постачання у вигляді технологій, що фіксують наявні залишки на початку та в кінці базового року і визначають характер поповнення та використання цих запасів протягом прогностичного періоду.

Фактично, відповідно до схеми енергетичного балансу Міжнародного енергетичного аген-

тства (МЕА), сектор постачання детально описує перший квадрант балансу (власне виробництво, імпорт, експорт, зміну фондів та втрати при транспортуванні) та другий квадрант (трансформацію) за винятком процесів виробництва електроенергії та тепла.

В секторі *виробництва і постачання електроенергії та тепла* процес виробництва розділений в моделі на 2 категорії: електростанції загального користування (електростанції Мінпаливенерго) та автовиробники (виробництво електроенергії та тепла заводськими і відомчими електростанціями і котельнями переважно для власних потреб). Процес виробництва електроенергії станціями загального користування розділений за технологіями «чистої» електрогенерації та когенерації, хоча такий поділ є умовним, оскільки відпуск тепла тепловими та атомними електростанціями теж враховується. Чиста електрогенерація детально представлена за блоками або однотипними групами блоків великих теплових електростанцій (ТЕС), що згруповані за належністю до однієї з 5-и генеруючих компаній, а також атомних електростанцій (АЕС), великих і малих гідроелектростанцій (ГЕС), гідроакмулюючих електростанцій (ГАЕС), вітрових електростанцій (ВЕС). Кожна ТЕС відповідно до кількості груп однотипних блоків описується набором технологій виробництва електроенергії, що характеризуються: роком початку експлуатації кожного блоку, встановленою потужністю, паспортними і реальними обсягами спожитого палива за видами, обсягами виробництва і відпуску електроенергії, коефіцієнтом використання виробничих потужностей (КВВП), коефіцієнтом готовності, ефективністю (питомим споживанням умовного палива) виробництва електроенергії і тепла, коефіцієнтом покриття пікового навантаження, а також постійними і змінними витратами. Загалом в моделі представлено 20 технологій за групами блоків ТЕС. Атомні електростанції представлені окремо за блоками працюючих АЕС. Параметри технологій базових (АЕС та ВЕС) і маневрених (ГЕС, ГАЕС, ТЕС і ТЕЦ) потужностей задаються





аналогічними показниками, що дає можливість оцінювати криві навантаження за кожною станцією відповідно до сезонної зміни попиту на електроенергію і тепло.

Когенераційний сектор станцій загального користування представлений теплофікаційними і конденсаційними технологіями окремо за 12-ма найбільшими теплоелектроцентралями та теплофікаційною технологією виробництва енергії іншими ТЕЦ. Когенераційні технології описуються такими ж показниками, що й технології ТЕС, а також додатково коефіцієнтом теплофікації і відношенням витраченої електроенергії на одиницю відпущеного тепла при конденсаційному режимі роботи ТЕЦ. Технології відпуску тепла котельнями згруповані за видами спожитого палива (вугілля, лігніт, мазут, газ, дрова, електроенергія) та рівнем встановленої потужності відповідно до звітності Держкомстату [3] (до 3 МВт, 3-26 МВт, 26-116 МВт, більше 116 МВт). Параметри технологій задаються ефективністю, встановленою потужністю, КВВП, коефіцієнтом готовності, коефіцієнтом покриття пікового навантаження, фіксованими та змінними витратами.

Автовиробництво електроенергії та тепла задається відповідними групами технологій для кожного сектора і окремо для енергоємних галузей промислового сектора. Когенераційне автовиробництво електроенергії включає виробництво електростанціями підприємств, а автовиробництво тепла — окремо заводськими котельнями і котлами, електробойлерами, утилізаційними та іншими установками. Параметри когенераційних технологій задаються тими ж показниками, що й технології станцій загального користування. Витрати на транспортування електроенергії і тепла генеруючими і постачальними компаніями враховані у відповідних технологіях постачання, розділених для електроенергії за класом напруги. Представлена спрощена структура мереж постачання енергії дозволяє відобразити у моделі умовні потоки електроенергії і тепла між галузевими автовиробниками і сектором постачання.

Попит на енергію представлений в моделі у вигляді системи кінцевих енергетичних попитів у розрізі основних груп споживачів (окремі галузі промисловості, транспорт, населення, сільське господарство, бюджетний і комерційний сектори). Для оцінки енергетичних попитів використано функцію попиту, що враховує їх цінову та доходну еластичність до керуючих параметрів (драйверів). Перехресна еластичність враховується через параметри взаємозаміщення палива для кожної технології. Драйверами моделі є сценарії основних макроекономічних показників — ВВП, населення, кількість домогосподарств, додана вартість за галузями. Розрахункова матриця включає агреговану структуру споживачів енергії у розрізі основних технологій споживання (задоволення енергетичного попиту) і повну номенклатуру енергоресурсів, прийняту в Україні.

Промисловий сектор фактично представлений лише обробною галуззю, оскільки галузь видобування енергетичних матеріалів та електроенергетика в моделі є джерелами постачання енергії, хоча споживання палива ними на власні потреби та втрати при транспортуванні відповідним чином також представлені. Галузі промисловості в моделі розбиті на дві категорії за рівнем енергоємності виробництва. Енергоємні галузі представлені в розрізі технологій виробництва основних видів їх продукції, тобто кінцевою енергетичною послугою є виробництво одиниці продукції галузі (сталь, алюміній, аміак, цемент, вапно, папір, скло та ін.). Для решти галузей структура енергетичних потоків є стандартною і складається з чотирьох умовних технологій, що задовольняють потреби в технологічному теплі, машинному приводі, електрохімічному процесі та інших процесах. Технології промислового сектора описуються такою системою параметрів: питомих споживання палива на одиницю виробленої продукції, інтенсивність (використання) технології, термін використання технології (починаючи з базового року), постійні та змінні витрати.





Для моделювання складних багатостадійних процесів енергоємних галузей були використані такі принципи:

1. Якщо визначений енергетичний попит однієї галузі (промислова продукція у натуральних показниках) покриває все виробництво досліджуваної галузі, тобто для виробництва основного продукту витрачається інша продукція галузі або він сам є сировиною для інших галузевих виробництв (напр., виробництво сталі), то агрегований (останній) процес використовує весь набір енергетичних ресурсів для кінцевої обробки основного продукту. Енергетичний попит галузі у такому разі вимірюється в еквіваленті основного продукту;

2. Якщо енергетичний попит не покриває всього виробництва (напр., у хімічній галузі), то умовна технологія виробництва інших продуктів цієї галузі споживає решту енергетичних ресурсів (як кінцеве споживання). Як зазначалося, ця технологія задовольняє чотири «стандартні» для всіх галузей потреби на технологічне тепло, машинний привід, електрохімічний процес та інші процеси.

Структура моделі дозволяє проводити її верифікацію та калібрування відповідно до надходження поточної статистичної інформації із врахуванням факторів сезонності, амортизації і оновлення виробничих фондів. Зокрема, для врахування фактору сезонності, крок моделювання (один рік) розбитий в моделі на 3 проміжки часу: 4 пори року, 2 періоди доби і 2 режими навантаження (*звичайний* і *піковий*).

Транспортний сектор у моделі представлений чотирма видами транспорту: автомобільним, залізничним, авіаційним і водним. Енергетичні послуги, які надаються автомобільним та залізничним транспортом, полягають у перевезенні пасажирів і вантажів. Авіаційний та водний транспорт складніші для обліку та розрахунку, тому у моделі ці види транспорту надають умовні послуги, що вимірюються у кількості спожитої енергії. Автомобільний транспорт представлений легковими автомобілями, міжміськими та міськими автобусами, що

задовольняють потребу у пасажирських перевезеннях на короткі та далекі відстані, мототехнікою (короткі відстані) та вантажівками (вантажні перевезення). Потреба у міських пасажирських перевезеннях також частково задовольняється парком трамваїв і тролейбусів. Відповідно до офіційних даних Держкомстату і МВС України щодо технічного стану і структури зареєстрованих транспортних засобів автомобільним транспортом передбачено споживання чотирьох видів моторного палива: бензину, дизельного пального, скрапленого нафтового і стисненого природного газів. Робота мототранспорту можлива лише на бензині. Залізничний транспорт розділений на вантажний і пасажирський. Оскільки у пасажирських і вантажних перевезеннях задіяні об'єкти, що не споживають енергію безпосередньо (напр., залізничні вагони, з яких формується залізничний склад), а енергію споживають локомотиви, то в моделі окремо представлені електро- та дизельні пасажирські і вантажні локомотиви, пасажирські і вантажні вагони, і додатково для пасажирських перевезень – електро- і дизель-поїзди. До залізничного транспорту також включено й метро, яке задовольняє потребу у міських пасажирських перевезеннях, тобто цей попит не може бути задоволений дорожнім транспортом. Технології дорожнього та залізничного транспорту характеризуються ефективністю (витрати палива на 100 км; для автомобільного транспорту – залежно від циклу, для локомотивів – залежно від кількості вагонів), максимальною і середньою продуктивністю (кількість пасажиро- і тонно-кілометрів на одиницю палива), максимальною і середньою завантаженістю, максимальним і середнім річним пробігом, кількістю справних одиниць транспортних засобів, їх паспортним та фактичним терміном експлуатації, а також вартістю, постійними та змінними витратами.

Споживання енергії *населенням* визначається за найбільш енергомісткими категоріями енергетичного попиту: опалення і кондиціювання приміщень, нагрівання води, освітлення, споживання енергії для приготування їжі,





споживання енергії холодильними приладами, пральними, сушильними та посудомийними машинами та іншими приладами, що споживають електричну або іншу енергію. Статистичні спостереження за структурою кінцевого і корисного споживання енергії та палива населенням в Україні дотепер не проводилися. Водночас на базі статистичних спостережень щодо забезпеченості домогосподарств, а також даних про виробництво, імпорт, експорт і продаж промислових товарів через роздрібну торгівлю і каси неторгових підприємств можна зробити певні оцінки наявної кількості та технічних параметрів окремих категорій приладів кінцевого споживання, зокрема побутової, відео, освітлювальної, комп'ютерної техніки тощо. На основі таких оцінок, а також аналогічних статистичних спостережень у європейських країнах в моделі були зроблені оцінки структури споживання енергії і палива за категоріями кінцевого попиту та структури споживання енергії і палива за кожним енергетичним попитом. Крім того, структура споживання енергії для задоволення потреб в опаленні, кондиціонуванні приміщень і нагріванні води, а також ефективність і вартість відповідних технологій розраховується в моделі залежно від типів будинків, які розділено на багатоквартирні, приватні сільські і міські будинки. Для кожного типу будинків визначалася своя структура споживання палива для задоволення вказаних потреб. Для решти енергетичних попитів структура споживання палива приблизно однакова для всіх типів будинків, хоча загальна структура споживання енергії для сільських і міських домогосподарств може відрізнитися.

Структура енергетичних попитів *комерційного та бюджетного секторів* подібна до структури попитів населення: вона містить ті ж 9 категорій кінцевого попиту, однак диференціація будівель за двома типами проводиться за загальною площею офісних приміщень. До малих будівель було віднесено заклади харчування, торгівлі, пошти, підприємства сфери фінансових і побутових послуг тощо, до великих – заклади освіти, держав-

ного управління, лікарні тощо. Оскільки для оцінки структури споживання енергії для задоволення кінцевих попитів за основу було взято площу приміщень, то алгоритм розрахунку в комерційному секторі дещо відрізняється від способу розрахунків для сектору населення. Незважаючи на те, що через відсутність достовірних статистичних даних щодо структури палива за кінцевими попитом та приладами кінцевого споживання для комерційного сектора та населення було зроблено ряд експертних припущень, це навряд чи могло б вплинути на адекватність моделі через традиційну інерційність структури споживання.

Сільське господарство представлено в моделі у спрощеній формі однією умовною технологією, яка задовольняє потребу цього сектора в енергії і паливі. Після аналізу ресурсного потенціалу земель сільськогосподарського призначення, які розглядаються одночасно джерелом як енергетичної, так і продовольчої сировини, споживання палива цим сектором можна буде класифікувати за окремими потребами. Це дасть змогу виокремити кінцеві енергетичні попити та визначити ефективні технології для їх задоволення. Так, виокремлення енергетичних попитів на вирощування технічних і продовольчих агрокультур дасть змогу визначити «оптимальну» комбінацію сільськогосподарських технологій і посівних площ без шкоди для супутніх виробництв (тваринництва, харчової промисловості).

Представлені в моделі викиди шкідливих речовин умовно розділені за секторами кінцевого споживання, що дає можливість відслідковувати рівень викидів окремо по кожному технологічному процесу. Завдяки такому підходу можна не лише оцінити загальну кількість шкідливих речовин по кожній групі, але й детально оцінити всі категорії викидів по кожному процесу.

ВХІДНА ІНФОРМАЦІЯ МОДЕЛІ

Рівень деталізації номенклатури енергоресурсів та структури споживачів визначався з огляду на необхідність адекватного представлення реальних технологічних процесів у кожному секторі та наступного калібрування моделі відпо-





відно до чинних форми і стандартів державних статистичних спостережень. Крім того, структура і характер енергетичних потоків повинні були забезпечувати можливість адекватного співставлення з агрегованою схемою енергетичних балансів за формами МЕА і Євростату.

Структура моделі побудована з урахуванням існуючих класифікаторів та норм статистичної звітності України: номенклатура енергоресурсів та сировини строго відповідає Номенклатурі продукції промисловості (НПП) і частково Державному класифікатору продукції та послуг (ДКПП). Категорії споживачів енергії визначалися з урахуванням Класифікації видів економічної діяльності (КВЕД).

Основним джерелом інформації щодо обсягів та характеру енергетичних потоків були звітні дані державних статистичних спостережень: виробництво і відпуск електроенергії з шин (форми: № 24-енергетика, № 23-Н, № 6-тп, (гідро), № 11-мтп); залишки окремих видів палива на початок і кінець року, витрати палива та перетворення в інші види палива і енергії, використання палива на неенергетичні цілі, кінцеве споживання палива – всього, у тому числі за видами діяльності – форма № 4-мтп; споживання електроенергії – всього, у тому числі за видами діяльності – форма № 24-енергетика і № 11-мтп; питомих споживання палива, електроенергії і тепла; автовиробництво електроенергії і тепла за видами устаткування; витрати енергоресурсів при трансформації у вторинні форми за галузями; вихід і використання горючих відходів – форма № 11-мтп. Крім того, для дизагрегації структури енергетичної галузі, визначення технологічних і вартісних параметрів енергетичних процесів була використана статистична інформація Міністерства палива та енергетики України, енергогенеруючих, енерго- і газопостачальних компаній, а також компаній по видобуванню нафти, газу і вугілля. У випадку дизагрегації економічної діяльності за групами технологій або енергетичних компаній загальна інформація по галузі відкалібровувалася відповідно до даних Держкомстату.

Для інформаційного наповнення моделі також були використані: обсяги утворення і використання технологічними процесами в промисловості вторинної сировини і відходів виробництва – форма № 14-мтп; обсяги відпуску тепла, виробництва енергії, палива і іншої продукції промисловості – форма № 1п-нпп; обсяги відпуску природного газу – форма № 1-газ; обсяги відпуску тепла – форма № 1-теп; структура парку транспортних засобів та результати їх роботи – форма № 4-ТЗ, форма № 51-авто, форма № 2-тр, форма 2-етр, форма № 31-ЦА, форма № 1-зал, статистична інформація Міністерства внутрішніх справ України.

Аналіз діючих первинних форм статистичної звітності показав, що система показників, яка закладена в цих формах, не в повній мірі відповідає за своїм змістом і структурою міжнародній системі показників та не дає можливості чіткої оцінки енергетичних потоків на всіх етапах від видобутку і перетворення до кінцевого споживання. Крім того, значення однакових показників по основних статтях в різних формах статистичної звітності часто відрізняються і потребують додаткової перевірки для їх уточнення. Однією з причин такої ситуації є відсутність єдиного методичного підходу до обрахунку обсягів енергопотоків на різних етапах. Наприклад, неузгодженість звітності щодо виробництва промислової продукції, яка складається лише за НПП, та звітності зі споживання енергетичних та інших ресурсів, яка складається за КВЕД у розрізі номенклатури спожитих ресурсів за НПП, призводить до викривленої оцінки споживання енергії як на виробництво продукції, так і використання палива по галузях. Іншими словами, оскільки виробництво промислової продукції розраховується за 6-им знаком НПП, а споживання ресурсів – за основним видом діяльності підприємства, то офіційні статистичні дані щодо споживання енергії, наприклад металургією, включають споживання енергії на виробництво й іншої продукції, виробленої підприємствами металургійної галузі. І навпаки, об-





сяги енергії, витрачені на виробництва продукції металургійної галузі, не повністю включені до обсягів споживання металургією.

Структура моделі зумовила необхідність розділення загальних обсягів використання енергії на неенергетичне, на перетворення, кінцеве споживання та втрати з відповідною дизагрегацією кожної групи. Обробка статистичної інформації виявилась надзвичайно трудомісткою, але лише такий методичний підхід забезпечить достовірне складання звітного енергетичного балансу, дозволить використати потенціал математичного апарату і зрозуміти сутність енергетичних потоків в енергосистемі країни.

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

Програмне забезпечення для комп'ютерної реалізації визначалося структурою моделі, точністю результатів обчислень, особливостями вхідної інформації і розмірністю математичної задачі. На нижньому рівні організації вхідної інформації використано систему управління базами даних Microsoft Access та табличний процесор Microsoft Excel. Програмний код моделі генерується системою моделювання TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) в середовищі GAMS (The General Algebraic Modeling System), що є спеціалізованою мовою високого рівня для математичного програмування задач великої розмірності. Як посередник між базою даних та концептуальною і логічною моделями використовувалися оболонки системи TIMES: VEDA Front End, що призначена для формування, підготовки та передачі вхідних даних до моделі, а також VEDA Back End — для обробки та візуалізації отриманих розв'язків і формування звітів.

Загальний процес розв'язання поставленої задачі має такий алгоритм. Електронні таблиці Excel наповнюються вхідною інформацією, яка автоматично передається до Access, де за допомогою VEDA-FE формується база даних моделі. За допомогою системи TIMES із створеної бази даних Access визначаються коефіцієнти і параметри математичних рівнянь та обмежень моде-

лі, які передаються до середовища GAMS. В результаті отримується повна математична модель досліджуваного об'єкта, записана на мові GAMS, де за допомогою спеціальних модулів-оптимізаторів (CPLEX або XPRESS) виконуються її оптимізаційні розрахунки. Результати чисельного розв'язку задачі передаються до системи TIMES і використовуються оболонкою VEDA-BE для формування звіту у вигляді змістовних фізичних і вартісних величин.

Ручне введення вхідної інформації в модель є досить тривалим трудомістким процесом. Однак якщо буде створена відповідна єдина електронна база статистичних даних, то за допомогою засобів VEDA-TIMES можна значно скоротити цей час, автоматично імпортувавши потрібну вхідну інформацію через мережу інтернет до таблиць Microsoft Excel. Єдина база даних може бути створена і наповнюватися, наприклад, Держкомстатом, та бути розміщеною на їхньому сайті.

РОЗРАХУНКИ ЗА БАЗОВИМ СЦЕНАРІЄМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Умови базового сценарію не передбачали кардинальної зміни технологічного устрою економіки і були зорієнтовані на подовження терміну експлуатації існуючих потужностей з певним допуском зміни (покращення) їх технічних характеристик, що видається на сьогодні найбільш імовірною перспективою. В міру амортизації та втрати частини старих потужностей допускалася певна диверсифікація енергетичних потоків за рахунок введення нових, аналогічних існуючим технологій. Таким чином, визначальним для базового сценарію був вплив параметрів зовнішнього середовища енергетичної системи (макропоказників), що дало можливість оцінити потенціал енергосистеми України без залучення альтернативних видів палива та новітніх енерготехнологій. Прогнозована структура споживання різних видів палива за базовим сценарієм енергозабезпечення відкалібрована відповідно до стану 2005 р.





На рис. 2 наведено динаміку видобування первинного палива відповідно до модельних розрахунків. За прогнозом зростання видобутку вугілля і нафти складатиме близько 20 %, видобуток природного газу за цей період збільшиться на 12 %.

Оскільки окремі сценарії експорту та імпорту енергетичних ресурсів і промислової продукції не розроблялися, то для збереження поточних тенденцій та запобігання викривлення структури і обсягів зовнішньої торгівлі базового року на неї були накладені двохвідсоткові обмеження можливої щорічної зміни. З врахуванням прогнозованого зростання попиту на енергію та необхідності повного задоволення цього попиту, що є головною умовою моделі, збільшення обсягів видобування та імпорту, а також зменшення експорту енергоресурсів з урахуванням диспаритету цін імпортерів і експортерів є очевидними (рис. 3, 4). Так, якщо у базовому 2005 р. загальний обсяг експорту вугілля, коксу, сирої нафти, моторного палива, мазуту та природного газу складав близько 524 ПДж (без врахування реекспорту), то за прогнозними розрахунками в 2015 р. цей показник буде на рівні 211 ПДж. Наразі такі сценарні умови хоча і є експериментальними, проте дають можливість оцінки забезпеченості первинною енергією за умов збереження технологічного устрою та рівня ефективності енергоспоживання. Об'єктивна взаємозалежність обсягів постачання енергії та перспективного економічного зростання буде оцінена після доопрацювання цінових сценаріїв зовнішньої торгівлі, уточнення параметрів нових технологій та значень еластичності споживання.

Прогноз динаміки кінцевого споживання енергії і палива показано на рис. 5. Загальний обсяг енергії до 2015 р. із середніми річними темпами приросту на рівні 3–3,5 % зросте в абсолютних показниках з 3926 до 5335 ПДж. Найбільшу частку в структурі кінцевого споживання (без урахування витрат палива на виробництво електроенергії і тепла) матиме природний газ, частка якого (з урахуванням подо-

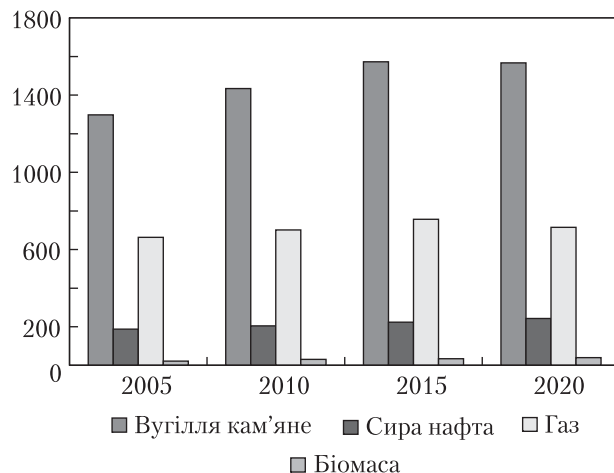


Рис. 2. Прогнозована структура видобування енергетичних ресурсів до 2020 р., ПДж

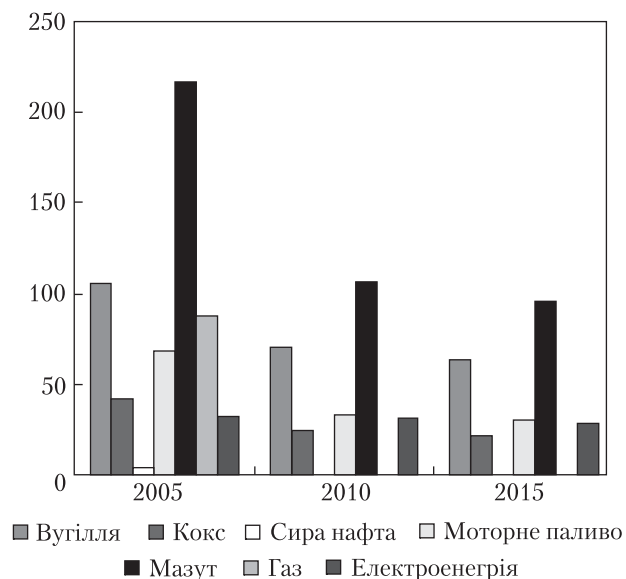


Рис. 3. Прогнозована структура імпорту енергетичних ресурсів до 2020 р., ПДж

рожчання імпорتنних поставок у 2009 р.) зменшиться з 47 % у базовому році до 42–45 % у 2015 р. Відставання темпів зростання споживання електроенергії від темпів промислового виробництва обумовлене зменшенням частки енергетичних витрат в структурі собівартості продукції. Залежно від обсягів та темпів технологічного оновлення виробництва продукції металургійної галузі, споживання коксу може





Енергетичний баланс

Постачання та споживання	Вугілля	Кокс	Брикети	Сира нафта	Моторне паливо (бензин, дизель)	Мазут
Виробництво	1297,36			187,83		
Імпорт	163,43	24,69		610,98	50,25	1,99
Експорт	105,62	41,56		3,76	67,96	216,89
Зміни фондів	3,17	-1,57	-0,01	-11,45	-6,77	-3,75
Загальне первинне постачання енергії (TPES)	1352,01	-15,31	0,01	806,50	-10,94	-211,15
Електростанції з. к.	-550,08					-2,33
Електроцентралі з. к.	-12,08					-0,42
Блок-станції	-3,85				-0,58	-0,70
Котельні	-2,04					-0,95
Заводські котельні, окремі котли, інші установки	-11,25	-0,05			-2,53	-3,88
Виробництво горючих газів						
Нафтопереробні заводи				-804,76	439,09	238,29
Коксові, брикетні заводи	-572,45	538,23	0,89		-0,01	
Власне використання	-51,63		-0,06	-0,41	-5,76	-3,27
Втрати при транспортуванні						
Загальне кінцеве споживання енергії (TFC)	148,64	522,87	0,84	1,33	419,26	15,60
Промисловий сектор	81,96	485,59	0,01	1,09	69,80	11,46
Чорна металургія	34,75	478,98			9,19	6,19
Хімічне виробництво	0,13	0,04			1,61	0,00
Кольорова металургія	0,73	0,10			0,41	1,71
Неметалеві мінеральні вироби	4,40	0,09	0,00		3,44	0,27
Добувна промисловість	35,11			1,09	4,60	1,08
Целюл.-папер. та друк.	0,02		0,00		0,56	
Інша промисловість	6,81	6,37	0,01		49,99	2,20
Транспортний сектор	2,20	0,00	0,00	0,00	206,74	1,25
Авіа					0,17	
Дорожній					186,20	
Залізничний					11,85	
Трубопровідний	0,00				1,18	0,20
Внутрішній флот					5,44	1,04
Невизначений інший	2,20				1,90	0,01
ІНШІ СЕКТОРИ	56,81	20,30	0,76	0,00	132,10	2,64
АПК	1,11		0,01		68,39	0,44
Комерційний	14,15	0,02	0,26		42,85	1,59
Населення	41,56	20,28	0,49		20,86	0,62
Неенергетичне споживання	7,68	16,99	0,07	0,24	10,62	0,26
в хімічній галузі	2,89	0,04			10,57	0,00
в інших галузях	4,78	16,94	0,07	0,24	0,05	0,25





Науково-технічні інноваційні проекти Національної академії наук України

Таблиця 1

України в 2005 р., ПДж

Інші нафто-продукти	Газ	Біомаса (дрова)	Ядерна енергія	Гідроенергія	Вітрова енергія	Електроенергія	Тепло	Всього
	662,69	21,51	972,49	44,88	0,13			3186,89
47,84	1993,55	0,08				0,00		2892,81
79,33	88,00	14,13				32,40		649,65
-0,52	-69,66	0,05						-90,50
-30,97	2637,90	7,40	972,49	44,88	0,13	-32,40	0,00	5520,56
	-105,18		-972,49	-44,88	-0,13	585,74		-1089,34
	-220,37					69,29	119,90	-43,69
-3,15	-139,42					13,69	88,08	-45,94
	-299,66	-0,05				-6,07	210,83	-97,94
-2,35	-222,41	-1,57				-3,58	292,08	44,47
	343,19							343,19
107,80	-0,81							-20,39
								-33,34
-17,18	-54,19					-19,40	-54,25	-206,14
	-78,49					-185,51	-181,00	-445,00
54,15	1860,57	5,79	0,00	0,00	0,00	421,75	475,64	3926,43
3,39	641,00	0,40	0,00	0,00	0,00	257,62	281,98	1834,29
0,08	437,97					89,58	48,87	1105,61
0,69	23,99	0,00				24,50	75,70	126,67
0,10	9,72					15,05	15,56	43,37
0,15	95,37	0,02				11,96	8,10	123,81
0,53	20,88	0,00				28,64	15,95	107,90
0,02	1,11	0,01				3,45	7,25	12,43
1,82	51,95	0,37				84,44	110,56	314,52
16,52	184,45	0,06	0,00	0,00	0,00	20,07	8,71	440,00
9,89								10,06
2,13	5,25					2,19		195,76
						11,71		23,56
1,51	177,89	0,00				2,11	3,17	186,06
								6,49
3,00	1,32	0,06				4,07	5,54	18,09
22,11	818,61	5,32	0,00	0,00	0,00	144,06	184,95	1387,66
4,49	4,26	1,00				10,42	13,19	103,31
4,33	21,50	2,15				54,88	80,63	222,36
13,29	792,85	2,17				78,76	91,13	1062,00
12,13	216,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	264,48
3,96	216,00							233,47
8,18	0,51	0,00						31,01





Прогнозний енергетичний баланс

Постачання та споживання	Вугілля	Кокс	Брикети	Сира нафта	Моторне паливо (бензин, дизель)	Мазут
Виробництво	1433,81			204,20		
Імпорт	285,90	81,30		507,08	122,65	4,10
Експорт	70,40	23,91		0,16	33,46	106,77
Зміни фондів	55,42	-2,44	0,17	17,31	-10,34	0,00
Загальне первинне постачання енергії (TPES)	1593,89	59,83	-0,17	693,81	99,53	-102,67
Електростанції з. к.	-471,14					-1,92
Електроцентралі з. к.	-11,03					-0,36
Блок-станції	-11,61				-1,40	-0,33
Котельні	-2,52					-1,28
Заводські котельні, окремі котли, інші установки	-6,05	-0,05			-1,76	-6,10
Виробництво горючих газів						
Нафтопереробні заводи				-692,11	402,14	152,77
Коксові, брикетні заводи	-549,40	519,06	0,35		0,00	
Власне використання	-61,03		-0,06	-0,19	-6,61	-2,94
Втрати при транспортуванні						
Загальне кінцеве споживання енергії (TFC)	481,12	578,84	0,12	1,52	491,91	37,17
Промисловий сектор	90,61	555,53	0,02	1,19	107,05	32,73
Чорна металургія	35,47	546,01			11,01	6,38
Хімічне виробництво	0,15	0,06			2,09	0,00
Кольорова металургія	0,56	0,07			0,54	1,27
Неметалеві мінеральні вироби	8,07	0,30	0,00		7,39	0,51
Добувна промисловість	38,14			1,19	4,95	1,16
Целюл.-папер. та друк.	0,06	0,00	0,00		1,33	
Інша промисловість	8,17	9,09	0,02		79,74	23,40
Транспортний сектор	4,40	0,00	0,00	0,00	235,20	1,63
Авіа					0,23	
Дорожній					215,52	
Залізничний					10,86	
Трубопровідний	0,00				1,26	0,21
Внутрішній флот					7,32	1,40
Невизначений інший	4,39					0,01
ІНШІ СЕКТОРИ	376,01	0,00	0,01	0,00	136,60	2,47
АПК	1,31		0,01		80,34	0,52
Комерційний	44,37				38,82	1,42
Населення	330,33				17,44	0,54
Неенергетичне споживання	10,11	23,31	0,09	0,33	13,06	0,35
в хімічній галузі	3,56	0,05			13,00	0,00
в інших галузях	6,56	23,26	0,09	0,33	0,06	0,35





Науково-технічні інноваційні проекти Національної академії наук України

Таблиця 2

України на 2010 р., ПДж

	Інші нафто-продукти	Газ	Біомаса (дрова)	Ядерна енергія	Гідроенергія	Вітрова енергія	Електроенергія	Тепло	Всього
		701,73	30,56	974,15	44,88	0,13			3389,46
	96,87	2061,80	0,08				0,08		3159,86
	115,32	0,13	19,19				31,24		400,59
	3,23	254,80	1,64						319,79
	-21,68	2508,60	9,81	974,15	44,88	0,13	-31,16	0,00	5828,95
		-93,09		-974,15	-44,88	-0,13	574,67		-1010,64
		-191,80					68,04	117,30	-17,84
	-7,69	-100,07					14,16	85,59	-21,35
		-229,58	-0,82					177,13	-57,07
	-0,76	-242,77	-1,85				-3,45	305,92	43,13
		343,19							372,95
	126,49	-6,99							-17,69
									-29,98
	-15,10	-53,27					-21,91	-53,21	-214,31
		-69,86					-158,61	-159,05	-387,53
	81,27	1894,13	7,15	0,00	0,00	0,00	441,72	473,68	4488,62
	4,75	750,78	1,62	0,00	0,00	0,00	298,38	285,33	2127,97
	0,09	466,10					91,49	44,21	1200,75
	0,85	30,00	0,00				25,80	70,75	129,71
	0,09	7,38					17,19	5,12	32,22
	0,31	149,59	1,03				19,13	11,55	197,87
	0,57	22,41	0,00				31,61	15,78	115,80
	0,04	1,72	0,02				3,63	6,94	13,73
	2,80	73,59	0,57				109,52	130,99	437,89
	17,24	196,48	0,12	0,00	0,00	0,00	22,84	10,54	488,44
	13,30								13,53
	2,28	5,48					1,63		224,91
							11,33		22,20
	1,60	188,37	0,00				2,26	3,39	197,09
									8,73
	0,06	2,63	0,12				7,61	7,15	21,98
	32,72	680,57	5,40	0,00	0,00	0,00	120,51	162,48	1516,75
	5,28	5,01	1,18				12,24	13,50	119,37
	4,53	21,73	2,17				52,86	67,85	233,76
	22,91	653,83	2,05				55,40	81,13	1163,63
	26,56	266,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	340,13
	4,87	265,61							287,09
	21,70	0,69	0,00						53,03



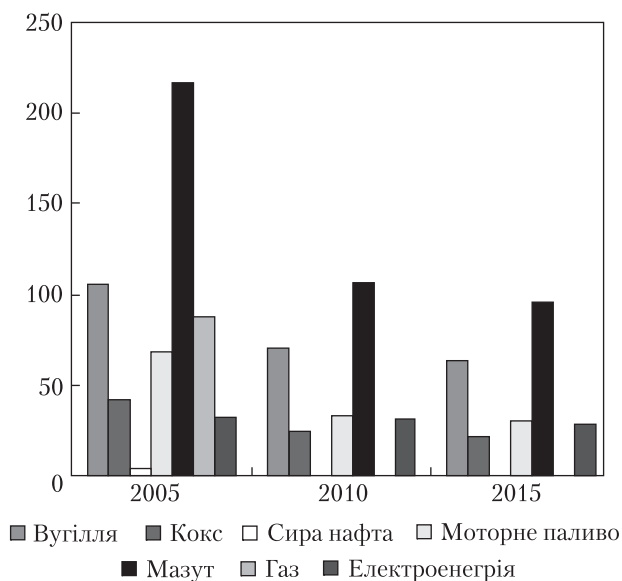


Рис. 4. Прогнозована структура експорту енергетичних ресурсів до 2015 р., ПДж

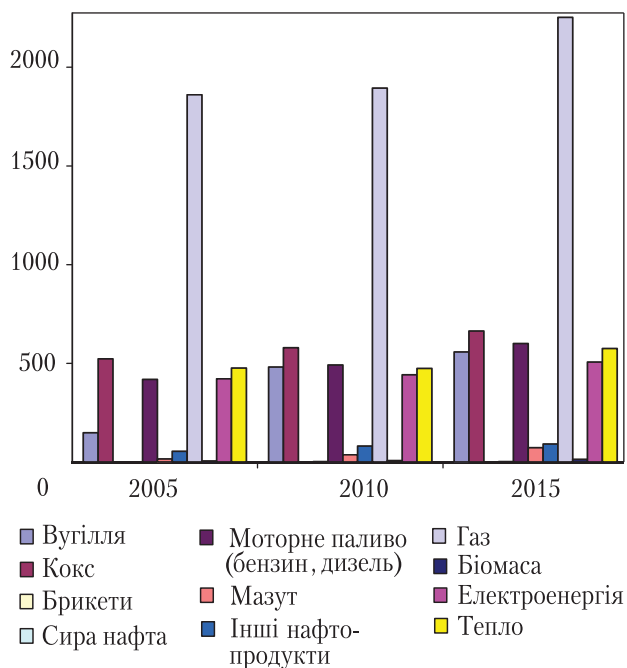


Рис. 5. Прогнозована структура кінцевого споживання енергії до 2015 р., ПДж

скласти до 13 % від загальних обсягів спожитої енергії із річними темпами приросту близько 3 %. Збільшення парку легкових автомобілів

від 2005 р. спричинило поступове зростання попиту на моторне паливо (бензин, дизельне паливо) в середньому на 4,5 % на рік. Подвоєння обсягів використання мазуту як пічного палива збереже його частку 2 % у загальній структурі кінцевого споживання. За сприятливої цінової кон'юнктури приріст обсягів виробництва і споживання біопалива може сягнути 20 % на рік, проте навіть за таких темпів воно не зможе скласти конкуренцію традиційним видам моторного палива, в структурі якого частка біопалива не перевищуватиме 1 %.

В табл. 1, 2 наведено розрахунок звітного за 2005 р. та прогнозного на 2010 р. енергетичних балансів України за типовою схемою балансів МЕА. Для більшої інформативності первинні і вторинні енергетичні ресурси були представлені окремо. Зокрема, продукти переробки вугілля (вугільні брикети і кокс) були відділені від кам'яного вугілля, а із загальних обсягів нафтопродуктів було виділено моторне паливо (бензин та дизельне паливо). Оскільки статистичні спостереження щодо виробництва і споживання геотермальної, сонячної енергії та енергії, виробленої з відходів, не проводяться або окремо не виділяються, то відповідні стовбці таблиці балансу були виключені. Замість графи *Газопереробні заводи* в таблицях балансу було введено графу *Обсяги виробництва* коксового, доменного та інших видів горючих газів, які за рекомендаціями МЕА окремо не виділяються, а додаються до обсягів природного газу. В частині споживання окремо були виділені лише найбільш енергомісткі галузі промисловості; решта галузей, а також будівництво були включені до графи *Інша промисловість*. Споживання енергоресурсів на неенергетичні потреби було представлено у форматі балансів Євростату з виділенням неенергетичного споживання лише хімічною галуззю та іншими галузями промисловості. Неенергетичне споживання у решті секторів не виділялося і розраховувалося разом із кінцевим споживанням.



ВИСНОВКИ

Основною метою використання енергетичних моделей є оцінка обсягів та структури перспективних енергетичних потреб, виявлення можливих загроз в енергозабезпеченні країни та визначення заходів для їх попередження. Такі задачі є інваріантними до типу економіки, тому такі дослідження і розробка на їхній основі національних енергетичних програм здійснюється практично в усіх країнах.

Запропонований методологічний підхід побудований із врахуванням досвіду країн Європи, США, Канади, Японії та ін., які вже ефективно реалізували його в себе і побудували національні моделі. Не зважаючи на типовість методологічних підходів, унікальність структури і умови функціонування національних енергетичних господарств виключають можливість розробки універсальної моделі або адаптації моделі однієї країни до іншої.

Отже, розроблена в ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАН України» прикладна модель «Times-Україна» за методологічним підходом є лінійною оптимізаційною квазідинамічною економіко-математичною моделлю виробничого типу часткової рівноваги. Для забезпечення необхідного рівня адекватності моделі окремі її модулі реалізовані з елементами динамічного, нелінійного та цілочисельного програмування. Обраний методологічний підхід можна вважати традиційним, оскільки саме такого класу моделі створювалися у Радянському Союзі для планування розвитку енергетичної галузі на різних ієрархічних рівнях. Подібних теоретичних підходів дотримуються й сучасні іноземні та українські науковці, що працюють над розробкою економіко-математичних моделей для дослідження проблем енергетичного господарства.

Проте ряд особливостей моделі, розробленої в Інституті економіки та прогнозування НАНУ, робить її відмінною від інших вітчизняних розробок, оскільки мета і методи досліджень суттєво відрізнялися. В одних випадках для прогнозування розвитку енергетичного сектора та розробки прогнозного енергетичного балансу застосовува-

лися оціночні розрахункові моделі або агреговані макроекономічні моделі типу затрати-випуск, що, на нашу думку, суттєво зменшує наукову обґрунтованість результатів. У інших випадках при оптимізаційному підході до моделювання об'єктом досліджень був не весь енергетичний сектор, що потрібно для розробки прогнозного енергетичного балансу, а лише його частина — електроенергетична галузь, нафтогазовий комплекс. Крім того, більшість галузевих досліджень обмежувалася вивченням лише сектора виробництва та трансформації енергії, оминаючи сектор кінцевого споживання, а прикладна реалізація таких розробок часто проводилася засобами стандартних офісних програм.

Іншою важливою відмінністю запропонованої моделі є введення категорій енергетичної послуги, енергетичного попиту та потреби, а також розділення енергії за категоріями споживання. Зміна об'єкту дослідження, де замість оцінки споживання конкретного енергоресурсу певною категорією споживачів аналізуються категорії потреб, що можуть задовольнятися енергетичними послугами приладів кінцевого споживання, істотно змінила ідею прогнозування, що стала тепер точніше відповідати природі моделей виробничого типу. *По-перше*, поняття потреби не завжди є тотожним попиту, тобто попитом моделі є не продукти, а потреби, що можуть бути задоволені цими продуктами (енергетичні попити). *По-друге*, аналіз споживання енергоресурсів за видами економічної діяльності саме в розрізі енергетичних потреб дозволяє набагато точніше визначити характер споживання енергії. Зокрема, аналіз енергоспоживання за базовим роком виявив, що в більшості галузей витрати енергоресурсів на виробництво електроенергії, тепла та інше непрофільне виробництво перевищують витрати безпосередньо на технологічні цілі.

Структура моделі дає можливість на максимально дизагерованому рівні аналізувати реальні та прогнозні енергетичні, матеріальні та фінансові потоки, розраховувати їх параметри та оптимальну структуру для дотримання ба-



лансу виробничих потужностей та попиту. Ди-загреговане представлення попиту, який вперше в подібних дослідженнях наведений в розрізі енергетичних потреб, а не попиту на енергетичні ресурси, дає можливість враховувати фактор взаємозаміщення ресурсів в залежності від параметрів конкретної технології. Розділення капітальних, операційних та інших витрат дозволяє оцінювати не лише граничні значення енергоресурсів (тіньові ціни), інвестиції для введення нових виробничих потужностей та пристроїв кінцевого споживання, але й вплив на ці показники фіскальної політики, інфляції, ставки дисконтування та інших фінансових і макроекономічних показників. Шкідливі речовини, викиди яких враховуються в моделі, в залежності від мети досліджень можуть бути включені як окремий розрахунковий блок, виступати обмеженнями моделі, а також бути включені до цільової функції у вигляді збитків навколишнього середовища (екстерналій).

Очевидно, що детальне представлення технологічної структури споживання енергії в моделі не лише потребує обробки масиву статистичної інформації за базовий рік. Фактично, для кожного параметру технології базового року необхідно обґрунтувати сценарій його зміни. Враховуючи, що модель для оптимізації енергопотоків включає більше 1,5 тис. технологій, на перший погляд така задача видається надскладною, проте розуміння математичного апарату може дозволити спростити її, обмежившись визначенням показників, що впливають лише на структуру оптимального розв'язку, а не на значення цільової функції. Для визначення сценаріїв зміни технологічних параметрів, поряд зі сценаріями зовнішнього середовища системи (макроекономічним, демографічним, сценарієм зовнішньої торгівлі тощо) необхідно визначити множину альтернативних технологічних варіантів задоволення попиту у майбутньому. Тобто сценарії середовища є базисом, який визначає можливість зміни технологічного устрою та, відповідно, обсягів споживання енергії за секторами економіки.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Енергетична* стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mpre.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>.
2. *Комплексна* державна програма енергозбереження України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cdie.gov.ua/NAER/?mod=index&id=307>.
3. *Державний* комітет статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.

*В.О. Тоцилін, Р.З. Подолець,
О.А. Дячук, Ю.А. Олександренко*

ПРИКЛАДНАЯ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ «TIMES-UKRAINE» ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА УКРАИНЫ

Предложено компьютерную экономико-математическую модель «Times-Украина» для оптимизации энергетических потоков и обсуждена возможность использования ее в комплексных научно обоснованных расчетах прогнозного энергетического баланса Украины. Разработанная модель вместе со статистической базой данных является прикладным инструментарием, который разрешает оперативно вносить изменения в условия базового и альтернативных сценариев энергообеспечения и проводить оперативные расчеты за широким спектром исследований.

Ключевые слова: энергоменеджмент, энергетический баланс, энергетическая система, энергетический спрос, модель «Times-Украина», оптимизация, прогнозирование, сценарии энергообеспечения.

V. Tochilin, R. Podolets, O. Diachuk, Yu. Oleksandrenko

APPLICATION ECONOMIC-MATHEMATICAL MODEL «TIMES-UKRAINE» FOR ENERGY FLOW OPTIMIZATION AND FORECASTING OF ENERGY BALANCES OF UKRAINE

Computerized economic-mathematical model for energy flows optimisation is proposed; the possibility of its use in complex scientifically based calculations of the prospective energy balance of Ukraine is discussed. The model developed together with the statistical data base represents the application toolkit which allows to make an operative changes into the requirements of basic and alternative energy scenarios and to carry out prompt calculations for a broad spectrum of research.

Key words: Energy management, energy balance, energy system, energy demand, model «Times-Ukraine», optimisation, forecasting, energy scenarios.

Надійшла до редакції 08.07.09