

М. МИХАЛЕВИЧ, І. СЕРГІЄНКО, Б. СТОГНІЙ

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГООЩАДЖЕННЯ

Енергетичні проблеми — ріст дефіциту енергоресурсів, посилення впливу не-економічних чинників на світових енергоринках, необхідність мінімізації негативного впливу енергетики на довкілля, потреба в нарощуванні ефективності наявних та залученні нових енергоресурсів — актуальні сьогодні як ніколи для всього цивілізованого світу. Їх розв'язання — необхідна передумова і запорука оперативного подолання наслідків світової фінансової кризи, переходу до сталого економічного зростання. Особливу увагу при цьому в країнах з різним рівнем економічного і соціального розвитку приділяють енергоощадженню.

На думку фахівців, інтенсифікувати енергоощадження можна шляхом послідовної реалізації системи економічних, технологічних, суспільно-політичних та інших заходів, оформлених у державні цільові програми. На жаль, Україна має певні проблеми з практичним втіленням і виконанням розумних намірів, що пов'язано передусім із незавершеністю структурних реформ у державі. Складність і багатоаспектність цих проблем потребують застосування сучасних підходів, зокрема економіко-математичного моделювання

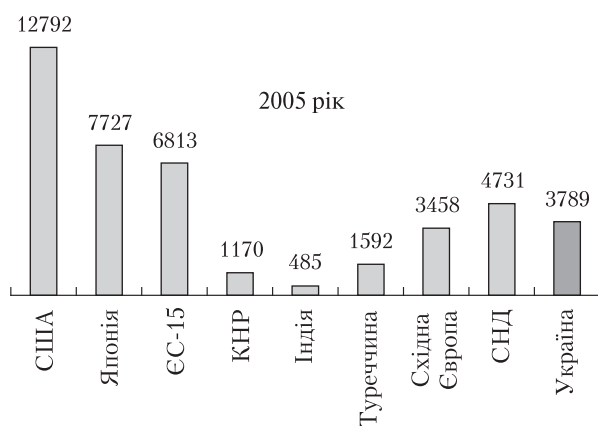
Необхідною передумовою подолання наслідків системної кризи, відновлення економічного зростання, підвищення ефективності й конкурентоздатності вітчизняного виробництва, зростання добробуту населення та реалізації життєво важливих соціальних програм (освіта, охорона здоров'я, пенсійне забезпечення тощо) є реформування паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) України. Проблеми тут нагромаджувалися впродовж десятиліть,

їх розв'язання вже перейшло в площину національної безпеки України.

Одна з хронічних вад вітчизняної економіки — неефективне використання енергетичних ресурсів. За даними Національної енергетичної стратегії, енергоємність ВВП України у 2,6 рази перевищує середньосвітовий рівень і становить 0,89 кг умовного палива на \$1 ВВП. Аналогічний показник для Австрії та Данії становить 0,20, Японії — 0,24, Фінляндії —

© МИХАЛЕВИЧ Михайло Володимирович. Член-кореспондент НАН України. Завідувач кафедри Українського державного університету фінансів та міжнародної торгівлі.

СЕРГІЄНКО Іван Васильович. Академік НАН України. Директор Інституту кібернетики НАН України.
СТОГНІЙ Борис Сергійович. Академік НАН України. Завідувач відділу Інституту електродинаміки НАН України (Київ). 2009



Питоме річне споживання електричної енергії в країнах світу та в Україні, кВт год./люд. (за даними МЕА)

0,40, Чехії — 0,43, Білорусі — 0,50. Водночас за питомим споживанням електроенергії Україна суттєво відстає від провідних країн світу (див. рис.)¹.

Відновити економічне зростання за цих умов можливо лише, інтенсифікувавши енергоощадження, подолавши технологічне відставання в більшості галузей економіки і житлово-комунальній сфері, мінімізувавши вплив «тіньового сектору», поліпшивши галузеву структуру національної економіки в цілому і експортно-імпорتنних операцій зокрема.

Згідно з оцінками, наведеними в Національній енергетичній стратегії України, вже у 2010 р. завдяки заходам із енергоощадження енергоємність ВВП має скоротитися на 25,8 %, у 2015 — на 37,3%, у 2020 — на 44,1% порівняно з нинішнім часом. Досягти цього неможливо без науково обґрунтованої цілісної програми докорінних структурно-технологічних змін енергоощадження.

Енергоощадження в широкому розумінні цього терміна — це зменшення питомих витрат енергії та енергоресурсів усіх видів.

¹ Енергетична стратегія України на період до 2030 р.: www.mpenenergy.gov.ua.

Не випадково більшість фахівців вважає енергоощадження та енергоефективність найважливішим додатковим енергоресурсом України, не менш важливим, ніж нафта чи газ. Це зумовлено низкою чинників.

1. Вітчизняна система промислових технологій сформована протягом десятиліть за умов, які абсолютно не відповідають ані вимогам розвитку ринкових відносин, ані реаліям сучасної бізнес-діяльності. Це, зокрема:

- низькі ціни на природно-сировинні ресурси (особливо на енергетичні);

- низькі ціни на основні споживчі товари за невисокої оплати праці, що зумовлює низьку питому вагу доданої вартості в ціні більшості видів продукції;

- розвинена система бюджетних субсидій, що спотворювала міжгалузеві цінові пропорції та штучно здешевлювала одні товари і робила дорожчими інші;

- закритий характер соціалістичної економіки, який не передбачав конкурентоспроможності вітчизняних товарів на зовнішніх ринках.

Ціни на більшість видів енергоресурсів, які імпортує Україна, наближені нині до світового рівня, або й перевищують їх, недосконалість виробничих технологій зумовлює споживання цих ресурсів у великих обсягах. Це збільшує матеріальні витрати в базових галузях економіки (чорна металургія, металоємне машинобудування, хімічна промисловість, виробництво будівельних матеріалів, агропромисловий комплекс тощо). Конкурентоспроможність їхньої продукції забезпечує здебільшого низька оплата праці та застосування «тіньових» схем для мінімізації фіскальних витрат, що загрожує стабільності суспільства і навіть національній безпеці. Свідчення цього — «Концептуальні засади державної політики щодо забезпечення ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів (енергоефективності)», введені в дію рішенням Ради національної

безпеки і оборони України від 30 травня 2008 року, де зазначено:

«... в умовах зростання глобальної конкуренції на паливно-енергетичні ресурси енергоефективність економіки і, відповідно, зниження витрат енергетичних ресурсів на виробництво продукції є практично єдиним інструментом отримання конкурентних переваг України на глобальних ринках та зростання добробуту громадян. Забезпечення конкурентоспроможності економіки України за рахунок поширених на сьогодні способів, а саме: зниження рівня заробітної плати працівників підприємств, відмова від довгострокових інвестицій на модернізацію виробничих потужностей, застосування схем уникнення оподаткування тощо неприйнятне для розвитку держави. Такі підходи не підвищують ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів національної економіки, зумовлюють збереження високого рівня енергоемності валового внутрішнього продукту України та обсягів споживання дефіцитних енергоресурсів, що є загрозою національній безпеці України в економічній, енергетичній, екологічній, соціальній сферах»².

Серед наслідків застосування цих методів — скорочення платоспроможного попиту та зменшення питомої ваги доданої вартості в ціні виготовленої продукції й розвиток макроекономічних процесів кейнсіанського типу (ціна мало залежить від попиту на виготовлену продукцію, а обсяги її виробництва — від ціни). Залежно від жорсткості ведення монетарної політики економіка розвивається за одним із двох альтернативних сценаріїв: а) зростання неплатежів і посилення спаду виробництва через скорочення кінцевого попиту; б) прискорення інфляції витрат. Вихід із зазначеної ситуації — це збільшення платоспромож-

² Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 30 травня 2008 року: <http://www.rainbow.gov.ua>.

ності споживачів (передусім населення) за одночасного скорочення витрат виробництва.

2. Не менш небезпечним за тенденцію до зростання виробничих витрат є збільшення залежності економіки України від імпорту окремих видів енергоресурсів. Це стосується перш за все природного газу, споживання якого протягом останнього десятиліття зросло більше ніж на 40%. На початку століття ціна на газ для України була меншою за світову. Гуртові ціни на нафту та нафтопродукти в цілому відповідали світовим ще із середини 90-х рр. ХХ ст., що й сприяло збільшенню споживання природного газу. Для більшості виробництв теперішні технології дозволяють замінити газ іншими видами пального, щоправда, при цьому зростають матеріальні витрати й екологічне навантаження. Виняток становлять окремі підгалузі хімічної промисловості (аміачне, карбамідне та азотнотукове виробництво, синтез деяких видів полімерів), де газ (метан) використовують як сировину для хімічних реакцій, тому він незамінний. Ураховуючи негативні наслідки збільшення виробничих витрат, зменшення споживання природного газу за умов стабілізації економіки доцільно розглядати як одне з найважливіших завдань структурно-технологічних перетворень.

3. Сучасний стан техобладнання більшості підприємств базових галузей промисловості, особливо не виробничої сфери (наприклад ЖКГ), потребує негайного суттєвого скорочення витрат на оновлення. Головне джерело фінансування цих витрат — національний дохід, створений усередині країни, тобто частина доданої вартості виготовленої продукції. За цих умов збільшення питомої ваги доданої вартості в ціні виготовленої продукції слід розглядати як одне з найважливіших завдань подолання економічної кризи та відновлення подальшого економічного розвитку.

Завдання, про які йшлося вище — зменшення матеріальних витрат, скорочення споживання природного газу, пошук вилучення інвестицій у виробництво, — взаємопов'язані, бо необхідною умовою їх розв'язання є енергоощадження. Проте кожен пункт має певні відмінності: різні заходи енергоощадження неоднаково впливають на досягнення мети. Наприклад, заміна рідкого палива природним газом, який купували за низькою ціною, зменшує загальні матеріальні витрати (у грошовому вимірі, у поточних цінах), але стимулює нарощування споживання газу. Закриття хімічних виробництв, що належать до найбільших (до того ж безальтернативних) споживачів газу, зменшує потребу в ньому, проте відлунює державі зменшенням валової доданої вартості, скороченням зайнятості населення та зменшенням інвестиційних ресурсів, тобто поглиблює кризові явища в економіці. Отже, приймаючи рішення про спосіб енергоощадження, необхідно враховувати всі три зазначені проблеми і прогнозувати результат їхньої дії.

Допомогти з визначенням способу енергоощадження може перелік критеріїв, за якими оцінюють рішення з визначення шляхів реформування ПЕК. При цьому зважають на непередбачуваність ситуації, за якої проводять реформування, вплив численних непрогнозованих зовнішніх (світові ціни на енергоресурси, кон'юнктура світових ринків традиційних продуктів українського експорту) і внутрішніх (політична ситуація в країні, стан фінансової системи тощо) чинників.

Як було доведено, рішення щодо енергоощадження та реформування ПЕК багатокритеріальні, враховуючи численні неформальні аспекти, зокрема різні ризики і певну невизначеність.

Характеризуючи розв'язання завдань енергоощадження, згадаймо про наявність серед них прямих і опосередкованих шля-

хів. До перших відносять зменшення питомих (тобто на одиницю виготовленої продукції) витрат енергії та енергоресурсів усіх видів у наявних виробничих технологіях, упровадження нових технологій із суттєво меншими витратами. При цьому важливе значення має скорочення витрат енергії при її передачі та ефективніше використання наявних енергоресурсів. Прямими шляхами енергоощадження вважають застосування альтернативних енергогенерувальних технологій, нових енергоресурсів (відходи сільського та лісового господарства, моторне паливо на основі етанолу, біогаз, синтетичний газ і низькооктановий бензин (газойль), виготовлені з бурого вугілля тощо). Упровадження цих заходів потребує великих інвестицій і часто призводить до збільшення матеріальних витрат (принаймні тимчасових). Отже, ці заходи виправдані передусім з огляду на критерій мінімізації витрат імпортованих енергоресурсів, зокрема природного газу.

Не менший, а часом і більший потенціал, ніж прямі, мають опосередковані заходи з енергоощадження — зменшення питомого споживання найбільш енергоємних видів продукції, заміна внутрішнього виробництва такої продукції імпортом тощо. Наприклад, заміна металевих деталей композитними при виготовленні машин і механізмів зменшує потребу машинобудування в продукції чорної металургії (енергоємне виробництво). Якщо виготовлення потрібної кількості композитних матеріалів не збільшує енергоспоживання, то загальні потреби в енергоресурсах зменшуються через скорочення виробництва металів. Аналогічний ефект матиме підвищення надійності машинобудівної продукції, що скорочує потребу запчастин для ремонту і відповідно загальні енерговитрати — завдяки скороченню виробництва таких частин.

Наявна кількість пропозицій опосередкованого енергоощадження набагато біль-

ша, ніж прямого. Кожна з них, крім позитивного, має негативний ефект. Наприклад, зростання енергоємного виробництва окремих видів кольорових металів, які потім використовують при виготовленні композитів, збільшує виробничі витрати через установлення та освоєння нового обладнання тощо. Для зіставлення позитивних і негативних наслідків зазначених пропозицій потрібно проводити глибокі різноаспектні економічні дослідження із застосуванням кількісних методів, у тому числі й економіко-математичного моделювання. Такі моделі, разом із згадуваними методами прийняття рішень, є важливим складником інформаційних технологій, над якими працюють Інститут кібернетики та Інститут загальної енергетики НАН України в межах комплексної програми наукових досліджень НАН України «Науково-технічні основи вирішення проблем енергозбереження» («Енергозбереження»).

У таких моделях відображені технологічні та економічні аспекти заходів з енергоощадження. Ці заходи максимально ефективні при реалізації в комплексі споріднених виробництв, на галузевому / міжгалузевому рівнях, що й зумовлює ступінь агрегованості моделей. Розглянемо детальніше одну зі створених моделей — визначення шляхів енергоощадження.

Зменшення питомого енергоспоживання може забезпечити безінфляційне збільшення частки доданої вартості в ціні продукції, що створює передумови для зростання оплати праці та інших доходів кінцевих споживачів. Отже, певний інтерес становить оптимізаційна модель, що дозволяє знаходити «вузькі місця» в економіці, усунення яких мінімізує негативні «побічні ефекти». Таку модель можна створити на основі рівнянь міжгалузевого балансу зі змінними коефіцієнтами прямих витрат, які визначають обсяги питомого споживання різних видів продукції за різними технологіями. Модерні-

зація виробничих технологій обов'язково змінює зазначені коефіцієнти, тому при визначенні способу найкращої модернізації варто оцінити бажані напрямки змін. Наявність кількох цілей, на досягненні яких зосереджені програми з енергоощадження, зумовлює багатокритеріальність моделі.

Проведення модельних розрахунків за цих умов пов'язане з необхідністю розв'язання складних задач недиференційованої оптимізації з неопуклими функціями мети та множинами допустимих розв'язків. Отже, застосування локально-пошукових оптимізаційних методів для проведення модельних розрахунків не дозволяє відповісти на питання про сумісність системи обмежень моделі. Таку проблему можна розв'язати за допомогою РЕСТАРТ-технологій, які передбачають багаторазове проведення обчислень із різних початкових точок. Зазначені технології відносно легко розпаралелити на багатопроцесорних обчислювальних комплексах, які сьогодні знаходять дедалі ширше застосування. Це, зокрема, кластери СКІТ-2 та СКІТ-3, створені в Інституті кібернетики НАН України.

Слід зауважити, що результати розрахунків, виконаних на основі запропонованої оптимізаційної моделі в умовах перехідної економіки, не можуть мати директивного характеру. Вони мають допомогти визначити бажану структуру виробничих технологій, яка б сприяла інтенсифікації соціально-економічного розвитку країни, виявити шляхи перетворення наявної структури, оцінити необхідні для цього ресурси тощо. Важливу роль відіграє аналіз зміни в часі коефіцієнтів прямих витрат за декілька останніх років, виявлення тенденцій наближення (або віддалення) їхніх реальних значень до/від бажаних, отриманих у результаті розрахунків. З цього погляду одержання серії розв'язків задачі зі значеннями критеріїв, достатньо близьких до

оптимальних, більш придатне для подальшого застосування, ніж пошук власне оптимального рішення.

Модель містить низку неоднозначних параметрів. Тому доцільно провести діалогові розрахунки для різних значень цих параметрів. При цьому важливо, щоб проміжок часу між початком і завершенням чергової серії розрахунків, тобто між формуванням варіанта задачі з певними значеннями її параметрів і отриманням серії її розв'язків, не перевищував 3-5 хвилин. Для задач реальної розмірності при застосуванні однопроцесорних комп'ютерів вкlastися в ці часові обмеження вдається не завжди. Проте, використовуючи багатопроцесорні системи, зокрема вже названі кластери, досягти цього відносно просто, адже час, потрібний для здійснення всієї сукупності обчислень за допомогою РЕСТАРТ-технологій, після розпаралелювання обчислювальної процедури дорівнюватиме часу одноразової реалізації обчислювального алгоритму для розв'язання однієї задачі. Цей підхід реалізовано в спеціалізованій комп'ютерній системі.

З використанням зазначеної системи були проведені модельні розрахунки на реальних даних. Результати моделювання дали можливість визначити ті види виробничих витрат, скорочення яких може найбільше вплинути на загальне споживання енергії за зростання внаслідок енергоощадження обсягів пропозиції товарів кінцевого споживання та попиту на них. Розрахунки здійснено за даними міжгалузевих балансів за останні роки (кількість урахованих галузей — 38), але для порівняння аналогічні обчислення виконували також для балансів середини 90-х років ХХ століття (кількість урахованих галузей — 18).

Коефіцієнти прямих витрат, які відповідно до результатів розрахунків за даними балансів останніх років доцільно зменши-

ти, стосуються здебільшого витрат енергетичних ресурсів та конструкційних матеріалів у базових галузях економіки України. Зокрема, доцільно скоротити на 47–50% питомі витрати вугілля, вуглеводнів (передусім природного газу), продукції коксохімії та електроенергетики в металургії (цього можна досягти, наприклад, збільшивши питому вагу металу, виплавленого з металобрухту, та застосувавши сучасні електрометалургійні технології). Питомі витрати вуглеводнів та електроенергії в машинобудуванні можуть бути зменшені на 45–48%, а в хімічному виробництві — на 43–46%. На 49% слід зменшити питомі витрати вуглеводневої сировини в нафтопереробній промисловості та на 50% — питомі витрати вугілля при виробництві коксу. Питомі витрати вугілля, вуглеводнів (здебільшого природного газу) та продукції коксохімічної промисловості при виробництві електроенергії доцільно зменшити на 46–48%. На 49–50% необхідно зменшити питомі витрати продукції нафтопереробної промисловості в сільському господарстві, будівництві та на транспорті.

Важливе значення для енергоощадження має також скорочення витрат конструкційних матеріалів, виробництво яких є енергоємним. Зокрема, на 48–50% слід скоротити витрати металургійної продукції для машинобудування (це можна зробити, скажімо, зменшивши питому вагу застарілих технологій оброблення металів методом різання), видобування вугілля, будівництва. Рекомендовано скоротити питомі витрати продукції видобувної промисловості (неенергетичні матеріали: залізна та марганцева руди, флюси, вогнетривкі глини, будівельне каміння, пісок) в чорній металургії та в будівництві, що також становить 48–49%. Розрахунки показали завищеність витрат на власні потреби продукції базових галузей. Такі витрати слід скоротити на 45–47% у металургії, машинобудуванні, на-

фтопереробній та хімічній промисловості, на 36–38% — у коксохімічній та в харчовій промисловості. Для низки галузей доцільно зменшити питомі витрати машинобудівної продукції. Це — сільське господарство (рекомендоване скорочення на 49%), видобування вугілля (скорочення на 48%), електроенергетика (скорочення на 46%). Порівняно з результатами розрахунків за 18-галузевим балансом істотно зменшилася кількість рекомендованих для скорочення позицій, пов'язаних із супутніми витратами. Транспортні витрати залишаються надмірними в будівництві (рекомендоване зменшення на 48%), на 46–49% доцільно зменшити питомі (на одиницю виготовленої продукції) послуги фінансових посередників та інших юридичних осіб у машинобудуванні, на 18% — послуги з газопостачання в житлово-комунальному господарстві. Свідченням певних позитивних зрушень за останнє десятиліття стало істотне зменшення деяких коефіцієнтів прямих витрат, значення яких були «критичними» з огляду на результати розрахунків за 18-галузевою моделлю. Це, зокрема, витрати власної продукції у вуглевидобувній промисловості, які за цей період скоротилися більше ніж на 30%. Щоправда, зменшення цього коефіцієнта й надалі залишається бажаним (рекомендоване скорочення становить 24%). Водночас рекомендації щодо зменшення питомих витрат енергоресурсів та конструкційних матеріалів залишилися майже незмінними як для 18-галузевої, так і для 38-галузевої моделі. Це свідчить про те, що реальних зрушень у питаннях енергоощадження шляхом технологічного оновлення виробництва в Україні за цей час, на жаль, не відбулося.

Скорочення матеріальних витрат дасть змогу збільшити частку заробітної плати в ціні продукції більшості галузей із 3–7% до 15–25%. При цьому рекомендоване збільшення буде неоднаковим для різних галу-

зей: від 10–17% у сільському господарстві, легкій та харчовій промисловості, машинобудуванні; до 3–4% у хімічній, нафтохімічній, лісовій та деревообробній промисловості.

Варіанти рішень, одержані за допомогою РЕСТАРТ-технологій, неістотно різняться за своєю структурою. Компоненти ж рішень, які значно відрізняються між собою, стосуються відносно малозначущих галузей. Рекомендації щодо скорочення коефіцієнтів прямих витрат у таких галузях, як металургія, машинобудування, хімічне та коксохімічне виробництво, нафтоперероблення, електроенергетика, харчова промисловість і транспорт, збігаються для всіх варіантів.

Реалізація запропонованих змін потребує капіталовкладень у розмірі близько 45 млрд дол. США. Враховуючи лише безпосередній ефект цих змін, який полягатиме в збільшенні кінцевих доходів споживачів на 59,1 млрд дол. США, ефективність цих капіталовкладень перевищуватиме 30%, тобто є достатньо високою. Крім того, лише через зменшення питомих витрат природного газу в промисловості та витрат енергоємної продукції можна досягти його щорічної економії в обсязі 14,3 млрд м³. Зменшення потреб в енергоємній продукції також забезпечить щорічну економію близько 7,8 млн тонн вугілля та 5,5 млн тонн продукції чорної металургії. При цьому потенційний ВВП країни зросте на 25–30%. Отже, енергоощадження та структурно-технологічні перетворення мають стати істотним чинником подолання економічної кризи. Враховуючи актуальність енергоощадження за умов, що склалися в Україні, вважаємо, що результати виконаних розрахунків доцільно враховувати владним інституціям при формуванні бюджетної (визначення пріоритетів державного інвестування), промислової та загальноекономічної політики держави. Слід зазначити, що моделювальна

система, створена фахівцями-кібернетиками, є відкритою. У ній можна враховувати появу нових цілей та зміну пріоритетів між уже окресленими, нові обмеження й інструменти досягнення цілей; до складу системи можуть бути включені нові розрахункові та аналітичні процедури. Одна з модифікацій моделі призначена для відбору інноваційних проектів.

Нині розроблено велику кількість інновацій, суто технологічних та організаційних, спрямованих на зменшення питомих витрат енергії та скорочення енергоємних виробництв у різних галузях економіки. Кожна з таких інновацій характеризується оцінками змін виробничих витрат, зокрема витрат енергоресурсів, та можливим приростом кінцевих доходів виробників унаслідок її реалізації. Обґрунтування інновації має включати оцінювання потреб в інвестиціях, фінансових, матеріальних та інших ресурсах з метою її реалізації. Обмеженість ресурсів не дає змоги втілити в життя всі запропоновані інновації, отже, постає складне та багатоаспектне завдання їх відбору, яке не може бути повністю формалізоване. Проте застосування математичних моделей та чисельних алгоритмів для розрахунків за ними є дієвим засобом підтримки прийняття рішень із зазначених питань.

Ураховуючи сказане, створену раніше модель визначення шляхів енергоощадження було модифіковано для оцінювання проектів, спрямованих на досягнення таких цілей, як збільшення рівня кінцевого споживання, зменшення витрат дефіцитних енергоресурсів, поліпшення технологічної структури виробництва, стимулювання науково-технічного прогресу. При цьому враховують обмеженість інвестиційних ресурсів, а також різноманітні технологічні, екологічні та інші обмеження. Тут також необхідно розв'язати достатньо склад-

ну оптимізаційну задачу, подібну за своєю структурою до тієї, про яку йшлося вище, але не з неперервними, а з дискретними змінними. Це зумовлює особливості розроблення обчислювальних алгоритмів, основу яких становлять методи вектора спаду, імітації відпалу і табу, а також застосування багатопроекторної обчислювальної техніки.

Подібно до задачі пошуку шляхів структурно-технологічних змін тут також важливо провести розрахунки в діалоговому режимі для врахування неструктурованих аспектів прийняття рішень, проте предмет діалогу між моделювальною системою та особами, що приймають рішення, дещо інший. Зокрема, можливе прийняття окремих проектів із неформальних міркувань та розбиття множини всіх проектів на кілька підмножин різної пріоритетності, яку також установлюють неформально. При цьому проекти вибирають спочатку з підмножини з вищою пріоритетністю, а потім, у межах ресурсів, — із підмножини нижчої пріоритетності. З цього приводу інтерес становить розроблення процедури розв'язання задачі передусім на основі методів локального пошуку. Ітеративний характер цих методів створює можливості для реалізації такого підходу. Значний обсяг обчислень, необхідний для розв'язання задачі відбору проектів за цією схемою, створює певні труднощі для реалізації діалогових процедур. Проміжки часу між послідовними зверненнями до особи, що приймає рішення, у ході реалізації діалогової процедури можна суттєво скоротити, застосувавши вже згадану багатопроекторну обчислювальну техніку. Алгоритми локального пошуку, як детерміновані (метод вектора спаду), так і стохастичні (імітація відпалу, граничний рівноважний пошук), передбачають відносно просте та ефективно за своїми наслідками розпаралелювання. На відміну від розрахунків

для планування структурно-технологічних змін, таке розпаралелювання здійснюватиметься не за вхідними даними, а безпосередньо в обчислювальній схемі алгоритму. Це стосується перш за все аналізу окремих підмножин одиничного околу поточного наближення до оптимального розв'язку на окремих процесорах. Координаційний процесор порівнює найкращі варіанти змін, знайдені на процесорах, які працюють незалежно один від одного, а потім остаточно обирає наступне наближення.

Для проведення розрахунків за моделями відбору проектів у Інституті кібернетики НАН України було створено програмну систему, сумісну із системою пошуку шляхів структурно-технологічних змін за вимогами до вхідних даних та за принципами побудови інтерфейсу користувача.

На основі цієї системи було проведено чисельні експерименти на даних міжгалузевих балансів останніх років. За відсутності інформації щодо значної кількості реальних проектів із енергоощадження для тестових розрахунків було створено умовні проекти, які передбачали випадкові зміни (як позитивні, так і негативні) окремих коефіцієнтів прямих витрат продукції в базових галузях та інших показників, що характеризують проект. Загалом таких умовних проектів було 200. Крім них, у ході розрахунків розглядали й деякі реальні пропозиції з енергоощадження, для яких удалося одержати точні або наближені оцінки тих параметрів, що використовують при моделюванні. Кількість реальних проектів дорівнювала 10. Серед них, зокрема, були:

— виготовлення металу шляхом перероблення металобрухту в електропечах з наступним електрошлаковим переплавленням та застосуванням технологій неперервного розливу металу; реалізація цього проекту дозволить істотно (на 30–35%)

знизити питомі витрати коксу, вугілля, природного газу та продукції видобувної промисловості (неенергетичні матеріали: металеві руди, флюси) у металургії; питомі витрати електроенергії та продукції машинобудування при цьому дещо зростуть (у межах 10%);

— виготовлення рідкого палива та синтез-газу з бурого вугілля; реалізація цього проекту приведе до зменшення приблизно на 25–30% питомих витрат вуглеводнів у паливній промисловості; питомі витрати вугілля в цій галузі збільшаться в межах 28–34%;

— збільшення питомої ваги високотехнологічної продукції в машинобудуванні через розширення виробничої кооперації з провідними виробниками в цій сфері; реалізація цього проекту зменшить на 20–25% питомі витрати металургійної продукції в машинобудуванні;

— упровадження нових технологій з ефективнішим використанням пального в тепловій енергетиці (парогазотурбінний цикл, технології спалення бурого вугілля без підсвічування газом, когенерація, використання альтернативних видів палива тощо); реалізація цього проекту дасть змогу зменшити питомі витрати вугілля (на 20–25%) та газу (на 35–40%) в енергетиці; витрати продукції машинобудування в зазначеній галузі збільшаться на 10–15%;

— упровадження в сільському господарстві біологічних технологій захисту рослин та підвищення їхньої врожайності; реалізація цього проекту дозволить скоротити на 30–35% питомі витрати енергоємної продукції хімічної промисловості в рослинництві, при цьому також скоротяться в меншому обсязі витрати паливно-мастільних матеріалів;

— заміна ламп розжарювання галогенними та люмінесцентними лампами й запровадження системи індивідуального обліку послуг із газо-, водо- та теплопостачання;

реалізація цих проектів дасть можливість зменшити питомі витрати вугілля, газу та нафтопродуктів у житлово-комунальному господарстві; витрати продукції машинобудування (приладобудування та електротехнічної промисловості) у зазначеній галузі при цьому зростуть.

Крім 10 реальних проектів із енергоощадження, до переліку розглядуваних проектів було включено 4 «неприйнятні». Оцінки можливостей збільшення доданої вартості для двох із них не відповідали реальним обсягам скорочення матеріальних витрат, за одним із цих проектів зростали загальні витрати, а другий передбачав фактичне збільшення енергоемності виробництва.

Усі проекти перед початком розрахунків мали однакову пріоритетність, для того щоб штучно знизити інтерес до реальних проектів, потребу в інвестиціях для умовних проектів було встановлено на рівні 50% від середнього значення цього показника. За результатами проведених розрахунків моделювальна система з 214 проектів «відібрала» всі 10 реальних та 20 умовних проектів із 200. Усі 4 «неприйнятні» проекти відхилено. При зменшенні інвестиційних ресурсів, виділених на реалізацію проектів, було відхилено частину з раніше прийнятих умовних проектів, а реальні проекти зберігалися. Це наочно демонструє селективну здатність запропонованої моделювальної системи, яку можна було б використовувати для підтримки прийняття управлінських рішень при формуванні державної політики з питань енергоощадження. Розглянуті приклади не вичерпують усіх розроблень, виконаних Інститутом кібернетики під час вищезгаданих досліджень. Увагу також приділено моделюванню впливу зовнішньоекономічних чинників, створенню засобів моніторингу виконання рішень із енергоощадження тощо. Варто звернути увагу ще й на такий аспект, як взаємозв'язок енергоощадження з покращенням стану довкілля.

Слід зазначити, що реалізація заходів з енергоощадження може не лише зменшити обсяги споживання енергетичних ресурсів, але й мати позитивний екологічний вплив, принаймні на короткостроковий період. Щоправда, тут можуть виникнути певні, передусім методологічні, проблеми.

Реалізація заходів з енергоощадження зазвичай поліпшує стан довкілля, оскільки зменшення споживання енергії супроводжується зменшенням її виробництва, а отже, і скороченням шкідливих викидів, пов'язаних із таким виробництвом. З іншого боку, впровадження нових, більш економних за теперішньої системи та за наявної фіскальної політики, технологій виробництва, передачі й використання енергії, цін може супроводжуватися непередбачуваним впливом на довкілля, особливо в довгостроковій перспективі. На наш погляд, тут доцільно провести аналогію з ядерною енергетикою, адже на початку її впровадження багато фахівців убачало в розвитку цієї технології шлях не лише до економії коштів на придбання органічного пального, але й до зменшення негативного екологічного впливу. Усвідомлення проблем, які виникають при зберіганні та захороненні радіоактивних відходів, впливу можливих масштабних катастроф та наслідків опромінення населення малими дозами радіації прийшло значно пізніше. Отже, оцінюючи всі аспекти екологічного впливу реалізації проектів з енергоощадження, маємо справу з типовими задачами прийняття рішень за умов ризику та невизначеності. При цьому можливості застосування як детерміністських, так і суто імовірнісних підходів обмежені дією низки чинників — наявністю малої ймовірності, але дуже значущих за своїми наслідками подій, неповторюваністю ситуацій, неоднорідністю статистичних вибірок, впливом різних типів невизначеності тощо.

* * *

Результатом досліджень, проведених науковцями Національної академії наук у форматі програми «Енергозбереження», стали інформаційна технологія підтримки прийняття рішень з питань енергоощадження та відповідні рекомендації, вироблені за її допомогою. Ця технологія може бути впроваджена в Національному агентстві з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів або в інших органах державного управління, які формують енергетичну політику. Запропоновані заходи дадуть можливість забезпечити розв'язання першорядних завдань з енергоощадження, визначених Національною енергетичною стратегією. Проте і ця технологія, і рекомендації будуть ефективними лише в разі їх системного застосування. Технологічні перетворення мають супроводжуватися структурними перетвореннями в усіх сферах економіки та суспільства й спиратися на них. Реформу фіскальної системи необхідно провести для того, щоб більша частина додаткового доходу, одержаного внаслідок енергоощадження, залишалася у виробника, а суб'єктивні податкові преференції перестали б бути найдоступнішим засобом одержання надприбутків. Антимонопольне регулювання має запобігати спробам несумлінних виробників перекласти наслідки подорожчання енергоресурсів на споживачів їхньої продукції. Необхідно подолати «тіньову» економіку та корупцію, які можуть поглинути додаткові прибутки, одержані після реалізації технологічних змін, та звести нанівець зацікавленість суспільства в таких змінах. Фінансова система має забезпечити концентрацію ресурсів для проведення структурних перетворень. Таким чином, енергоощадження може стати каталізато-

ром конче потрібних країні структурних реформ і має спиратися на них, але для цього потрібна політична воля та розуміння безальтернативності підвищення ефективності економіки як шляху виходу з економічної кризи.

М.В. Михалевич, І.В. Сергієнко, Б.С. Стогній

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГООЩАДЖЕННЯ

Резюме

Одним із чинників, що перешкоджають швидкому подоланню в Україні наслідків глобальної економічної кризи, є надзвичайно висока енергоємність вітчизняної економіки. Для зменшення питомих витрат енергетичних ресурсів необхідно розробити та реалізувати низку заходів, радикально змінивши промислову, фіскальну, зовнішньоекономічну, кредитно-банківську та цінову політику держави. Розроблення зазначених заходів є складним та багатоаспектним завданням, що зумовлює широке застосування для цього сучасних комп'ютерних технологій. У статті наведено приклади таких технологій, створених за участю авторів, а також рекомендації із енергоощадження, вироблені із застосуванням цих технологій.

Ключові слова: енергоємність, міжгалузевий баланс, оптимізаційні моделі, багатопроекторні системи.

М. Mykhalevych, I. Sergiyenko, B. Stogniy

COMPUTER TECHNOLOGIES AND POWER SAVING PROBLEMS

Summary

One of the factors preventing rapid overcoming of global economic crisis consequences in Ukraine is extremely high power consumption of domestic economy. Reduction of power resources intensity of use requires development and implementation of a number of actions aimed at radical change of commercial, fiscal, foreign economic, credit and banking and price policy of the state. Development of such actions is difficult and multi-aspect task that requires wide application of modern computer technologies. The article presents the examples of such technologies developed with participation of the authors as well as recommendations regarding energy saving elaborated with such technologies application.

Keywords: power consumption, interbranch balance, optimization models, multiprocessor systems.