

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕКОНОМІКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ

Р.З. Подолець
О.А. Дячук

СТРАТЕГІЧНЕ ПЛАНУВАННЯ
У ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОМУ КОМПЛЕКСІ
НА БАЗІ МОДЕЛІ
"TIMES-УКРАЇНА"

Київ – 2011

УДК [338.27:620.9](477)

ББК 65.9(4Укр)23

П 44

Автори:

Р.З.Подолець (вступ, розд. 1, 2, 3, 4, 7, висновки, додаток 1, 2);

О.А.Дячук (вступ, розд. 3, 4, 5, 6, 7, додаток 2, 3).

Рецензенти:

чл.-кор. НАНУ А.І.Даниленко (ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України" – Київ);

д-р екон. наук І.В.Крючкова (ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України" – Київ);

д-р екон. наук М.І.Скрипниченко (ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України" – Київ);

д-р екон. наук О.І.Черняк (ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України" – Київ);

канд. екон. наук В.О.Макуха (Міністерство енергетики та вугільної промисловості України – Київ).

Затверджено до друку Постановою Вченої ради

Державної установи "Інститут економіки та прогнозування НАН України"

від 27 грудня 2010 р. № 140

Відповідальний редактор

д-р екон. наук, проф. В.О.Точилін (ДУ "Інститут економіки та прогнозування
НАН України" – Київ)

Подолець Р.З.

П 44 Стратегічне планування у паливно-енергетичному комплексі на базі моделі "TIMES-Україна" : наук. доп. / Р.З.Подолець, О.А.Дячук ; НАН України ; Ін-т екон. та прогноз. – К., 2011. – 150 с.

ISBN 978–966–02–5987–4

На базі вивчення та узагальнення світового досвіду з формування і функціонування систем стратегічного планування в ПЕК у науковій доповіді запропоновано комплекс методичних підходів та організаційних рішень для створення в Україні цілісної системи аналізу, моделювання та прогнозування розвитку енергетики. Визначено вимоги до інформаційного, організаційного та кадрового забезпечення такої системи. З використанням економіко-математичної моделі "TIMES-Україна" проведено комплексні науково обґрунтовані розрахунки прогнозного енергетичного балансу України за базовим сценарієм енергозабезпечення.

Доповідь є результатом наукових досліджень, виконаних співробітниками сектору прогнозування розвитку паливно-енергетичного комплексу відділу секторальних прогнозів та кон'юнктури ринків ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України".

УДК [338.27:620.9](477)

ББК 65.9(4Укр)23

ISBN 978–966–02–5987–4

© Р.З.Подолець, О.А.Дячук, 2011

© Національна академія наук України, 2011

© ДУ "Інститут економіки та прогнозування
НАН України", 2011

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ОКРЕМІ ПОЛОЖЕННЯ СИСТЕМНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МОДЕЛЮВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ	8
Системні дослідження енергетичних систем	8
Основні методологічні підходи	12
Взаємозв'язок енерго-економічних моделей та моделей енергетичних систем	15
Прикладна реалізація моделей енергетичних систем	19
2. ВХІДНА ІНФОРМАЦІЯ	24
3. СТРУКТУРА МОДЕЛІ	32
Сектор постачання	32
Сектор виробництва і постачання електроенергії та тепла	39
Промисловість	42
Транспортний сектор	55
Населення, комерційний та бюджетний сектори	58
Сільське господарство	60
Викиди шкідливих речовин	61
Інші параметри моделі	62
4. СЦЕНАРНІ УМОВИ ТА ОБМЕЖЕННЯ	67
5. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ІТ-ЛАНДШАФТ МОДЕЛІ "TIMES-УКРАЇНА"	74
6. БАЗОВИЙ СЦЕНАРІЙ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ	90
Умови базового сценарію	90
Розрахунки за базовим сценарієм енергозабезпечення	99
Прогнозний енергетичний баланс України до 2030 року	108
7. НАЦІОНАЛЬНА СИСТЕМА СТРАТЕГІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ	113
ВИСНОВКИ	120
Додаток 1. Двоїсті (граничні) оцінки технологій і ресурсів	124
Додаток 2. Основні рівняння моделі "TIMES-Україна"	127
Додаток 3. Умовні позначення енергоресурсів та технологій у моделі "TIMES-Україна"	134
ЛІТЕРАТУРА	140
СПИСОК РИСУНКІВ	143
СПИСОК ТАБЛИЦЬ	146
СПИСОК СКОРОЧЕНЬ	147

ВСТУП

Тривалий час доступність відносно дешевої енергетичної сировини давала можливість вітчизняним підприємствам обробної промисловості підтримувати високий рівень експортної виручки, забезпечуючи позитивне сальдо торгового балансу і прийнятні темпи економічного зростання. Цьому сприяла свідомо державна політика з підтримки експортно-орієнтованих галузей шляхом надання їм податкових пільг, інших не-прямих субсидій, зниженням ставок екологічних платежів тощо. Загальносвітовий спад економічної активності, що розпочався в другій половині 2008 р., найперше позначився на галузях України, продукція яких була традиційно зорієнтована на зовнішні ринки. І хоча скорочення експорту товарів вдалося компенсувати за рахунок коригування структури імпорту шляхом адміністративного стримування "не критичної" продукції, накопичений за попередні роки валовий зовнішній борг став переважати надходження валюти від зовнішньої торгівлі у 2,5 раза, а у відношенні до ВВП він становив майже 70%.

Вразливість економіки України до зовнішніх шоків, наслідком яких стали девальвація національної валюти, зменшення реальних доходів і товарного виробництва змушує повернутися до питання обґрунтованості факторів зростання попередніх років. Період екстенсивного розвитку минулих років не був повною мірою використаний для структурної перебудови економіки, незбалансованість та надмірна енергомісткість якої посилювали інерційний характер ПЕК та унеможлилювали проведення необхідних у ньому реформ. У свою чергу в самому ПЕК існуючі диспропорції стримували трансформацію структури споживання. Незважаючи на деяке зниження енергомісткості протягом останніх років, досягнутий рівень навряд чи можна вважати результатом осмисленої державної політики. Натомість конкурентоспроможність вітчизняної продукції все ще забезпечувалася за рахунок обмеження обігових коштів та інвестицій у модернізацію виробництва, а про рівень реалізації державних стратегій і програм енергетичної сфери свідчить той факт, що за останні 10 років структура поставок первинного палива практично не змінилася.

Державні ініціативи зазвичай обмежувалися розробленням 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 залишався незначним.

Динаміка розгортання фінансово-економічної кризи 2008–2009 рр. не стільки показала недосконалість існуючих державних програмних документів, як довела безперспективність організації роботи з їх створення за умов неузгодженого відомчого або галузевого підходу та несистемного "ручного" розрахунку.

Неузгодженість при формулюванні пріоритетних заходів енергетичної політики, особливо за умов обмежених можливостей державного 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 місткістю ринку.

Найбільш раціональним способом обґрунтування прогнозних показників енергетичного балансу є започаткування практики використання інформаційно-аналітичних систем (ІАС), створених на базі економіко-математичної моделі всієї енергетичної системи. За допомогою таких ІАС можна адекватно відображати всю енергетичну систему країни, представляючи енергетичні процеси за детальною технологічною структурою з визначеними економічними та екологічними параметрами, а також проводити багатоваріантні розрахунки її розвитку за альтернативними економічними сценаріями.

При оцінці варіантів енергетичних стратегій питання ефективності структури енергетичного балансу закономірно розглядається як одне з ключових. Для досягнення оптимальної структури енергобалансу України необхідним є прийняття комплексних загальнодержавних рішень, оскільки згадані проблеми виходять за виключно галузеві рамки. При моделюванні енергетичної системи її необхідно розглядати як єдину виробничо-господарську систему, що складається з автономних інтегрованих підсистем, взаємне функціонування яких узгоджується з динамікою розвитку економіки із урахуванням зміни ринкового середовища, обмежень екологічного та соціального характеру. Ефективність такої узгодженості не може бути досліджена на рівні лише технічної або економічної підсистем, оскільки досліджуватись повинен весь комплекс виробничих та економічних зв'язків на галузевому, міжгалузевому та макроекономічному рівнях.

Наукове обґрунтування прогнозних показників енергетичного балансу вимагає застосування відповідних інструментів аналізу. Точність зроблених оцінок у першу чергу залежить від коректності вибору методологічного підходу. Адекватність побудованої моделі енергетичної системи може бути досягнута лише з використанням сценарного підходу та представленням усіх енергетичних процесів за їх детальною технологічною структурою з визначенням економічних та екологічних параметрів. Структура моделі і прийнятий методологічний підхід визначатимуть програмне забезпечення для її прикладної реалізації. Крім того, програмне забезпечення має передбачати можливість моніторингу і аналітичного опрацювання основних показників, а також забезпечувати необхідний рівень візуалізації.

Створення математичної моделі ПЕК України для формування національної системи стратегічного планування розвитку енергетики (ССП) було передбачене затвердженням Урядом "Планом заходів на 2006–2010 роки щодо реалізації Енергетичної стратегії України на період до 2030 року". Хоча організаційне та інституційне забезпечення ССП залежить від структури регулювання енергетичної галузі в кожній окремій країні, робота із розроблення моделі енергетичної системи та її подальше супроводження традиційно виділяється і передається до окремої незалежної наукової установи.

В ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України" протягом 2006–2008 рр. у рамках науково-технічних проектів НАН України (номер державної реєстрації: 0106U005424, 0107U003475, 0108U004533) була розроблена економіко-математична модель "TIMES-Україна" [1] для стратегічного планування розвитку ПЕК та прогнозування енергетичного балансу України¹. За результатами виконання цих науково-дослідних робіт були отримані авторські свідоцтва ДДІВ.

¹ Твір наукового характеру "Звіт з науково-технічного проекту "Розробка інтегрованої енергетично-економічної моделі базових секторів паливно-енергетичного комплексу України" / Точилін В. О. та інші. — № 25503; дата реєстрації 27.08.2008 р. та ДДІВ. База даних "Економіко-математична оптимізаційна модель ПЕК України "TIMES-Україна" / Точилін В. О. та інші. — № 35116; дата реєстрації 23.09.2010 року.

Модель "TIMES-Україна" зорієнтована на дослідження таких задач:

- формування прогнозного і дослідження звітного енергетичного балансу України [1];
- якісний аналіз структури енергетичних, матеріальних та фінансових потоків із урахуванням факторів взаємозаміщення ресурсів залежно від параметрів конкретної технології;
- прогнозування динаміки обсягів викидів парникових газів;
- оцінка оптимальної технологічної структури енергосистеми за критерієм мінімізації зведених витрат, тобто оцінка структури і рівня використання технологій виробництва і споживання енергії, що забезпечуватимуть найдешевший спосіб задоволення потреб споживачів. Отримані за допомогою моделі двоїсті (граничні) оцінки вартості технологій, енергетичних і матеріальних ресурсів, а також супутніх продуктів використання енергоресурсів можуть бути інтерпретовані як тіньові або реальні ринкові ціни при регульованому тарифоутворенні, рівень можливої надбавки або субсидії для споживачів, винагороди або ренти для виробників (наприклад, плата за покриття пікового навантаження або рента Хотеллінга), додатковий або недоотриманий прибуток, максимально допустима частка постійних витрат у собівартості продукції, максимальна ціна нового ресурсу або технології для виходу на ринок тощо;
- розрахунок альтернативних сценаріїв розвитку енергетичної системи [2], за допомогою яких можна оцінити вплив фіскальної політики, інфляції, ставки дисконтування та інших фінансових та макроекономічних показників;
- виявлення можливих загроз в енергозабезпеченні країни та визначення заходів для їхнього попередження [3];
- оцінка потенціалу заходів з енергозбереження та визначення пріоритетності їхнього впровадження в умовах обмежених можливостей державного фінансування;
- оцінка ринкового потенціалу нових видів енергії та палива (відновлюваних джерел енергії [4, 5]), обґрунтованості тарифів на їх використання, оптимальної стратегії для досягнення запланованого рівня їхнього виробництва і споживання;
- дослідження наслідків макроекономічного впливу на рівень попиту і структуру виробництва енергії і палива, структуру паливозабезпечення електростанцій, можливість забезпечення енергетичним сектором після кризового зростання економіки;
- дослідження впливу заходів енергетичної політики на поведінку споживачів;
- аналіз наслідків усунення цінового паритету між споживачами;
- оцінка реальних енергетичних потреб споживачів та межі заміщення різних видів палива для задоволення цих потреб;
- дослідження переваг та ризиків інтеграційних процесів та міжнародних зобов'язань в енергетичній сфері.

У 2009 р. з використанням моделі "TIMES-Україна" було складено прогноз споживання основних видів енергоресурсів для П'ятого Національного повідомлення України з питань зміни клімату (лист до Президії НАН України №135-13/636

від 27.07.2009 р.) та оцінка обсягів споживання світлих нафтопродуктів у 2009 р. (лист до Міністерства фінансів України № 135-13/580 від 09.07.2009 р.).

Крім того, з 2009 р. модель "TIMES-Україна" використовують у наукових дослідженнях, що проводяться у рамках міжнародних проектів SYNENERGY Strategic Planning (USAID/Hellenic AID) та Coal Sector Policy Support Program (EU).

У 2010 р. відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 14.06.10 № 472 у Державній установі "Інститут економіки та прогнозування НАН України" із залученням фахівців Міністерства енергетики та вугільної промисловості, Міністерства економічного розвитку і торгівлі, Державної служби статистики та інших органів виконавчої влади була виконана науково-дослідна робота з формування експериментального прогнозного енергетичного балансу з використанням інформаційно-аналітичної системи, створеної на базі моделі TIMES-Україна. За результатами цих досліджень й була підготовлена дана наукова доповідь.

У процесі створення та використання моделі "TIMES-Україна" в ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України" було сформовано сталий колектив науковців, який фактично виконав роботу, передбачену функціями робочої групи на перших етапах діяльності ССП. Використання цього досвіду дозволило б значно скоротити період упровадження ССП в Україні, який зазвичай триває від 3 до 5 років. Взята за основу, модель "TIMES-Україна" потребувала б лише систематичного оновлення бази даних, верифікації її структури і сценаріїв.

Автори висловлюють щирю вдячність за методичну та організаційну підтримку при написанні наукової доповіді завідувачу відділом секторальних прогнозів та кон'юнктури ринків ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України", д.е.н., професору, заслуженому економісту України В.О. Точиліну.

1. ОКРЕМІ ПОЛОЖЕННЯ СИСТЕМНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МОДЕЛЮВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ

▣ Системні дослідження енергетичних систем

Сьогодні енергетична галузь стає дедалі складнішою поліструктурною системою, різноякісні взаємопов'язані підсистеми якої формують складну ієрархічну побудову. На стан кожної із підсистем – технічної, економічної, енергетичної, екологічної – впливають як внутрішні, так і зовнішні суб'єктивні фактори. Тому комплексна оцінка розвитку енергетики не може базуватися на визначенні раціональної стратегії для окремих її підгалузей, а модель енергетичної системи повинна відображати як внутрішній стан у її базисних проекціях, так і загальні умови її функціонування.

Перший крок до ідентифікації будь-якої системи є відображення її у математичній формі (моделі), за допомогою якої можна проводити експериментальні розрахунки, аналіз стійкості та керованості системи. Приступаючи до вивчення енергетичної системи, найперше, що потрібно зробити, так це визначити цілі дослідження, її границі, елементи, внутрішні та зовнішні зв'язки, а також часовий горизонт моделювання. Ці питання є взаємопов'язаними, оскільки саме мета дослідження, як правило, визначає границі системи та структуру параметрів, необхідних для її представлення в моделі. Так, при оперативному плануванні необхідність досягнення високої точності розрахунків вимагає значної деталізації параметрів кожної підсистеми. У стратегічному плануванні, метою якого є виявлення критичних тенденцій та залежностей між великою кількістю підсистем, така дизагрегація може ускладнити аналіз поведінки системи. Навіть опускаючи завдання із забезпечення необхідного обсягу вхідної інформації та розробки необхідного математичного алгоритму, надмірне ускладнення математичних моделей може призвести до перевизначеності задачі, а надвелика кількість змінних та обмежень – до втрати її керованості. Тому моделі для оперативного планування прийнято розробляти на рівні окремих підсистем, обмеженому часовому проміжку та зі спрощеним представленням впливу інших елементів системи (наприклад, модель електроенергетики або газотранспортної системи). На відміну від цього при стратегічному плануванні моделі мають відображати всю енергетичну систему, мати довший модельний часовий горизонт, при цьому рівень деталізації окремих підсистем має бути значно меншим. Незважаючи на різні умови і завдання оперативного та стратегічного планування, інформація, отримана з одного дослідження, може бути використана для кращого опису поведінки об'єкта в іншому дослідженні, а моделі для оперативного і стратегічного моделювання, що є моделями різного ієрархічного рівня, мусять взаємодоповнювати одна одну. Практичний досвід багатьох країн показав [6], що у подібних дослідженнях доцільно використовувати не одну, а набір моделей різного класу (або різного рівня ієрархії), враховуючи, таким чином, найбільш суттєві властивості енергетичної системи.

Хоча з технічної точки зору функціонування енергетичних систем й відбувається за фізичними, детермінованими законами, більшість процесів, що становлять інтерес для цієї роботи, відбуваються в економічній площині під дією соціальних законів. Тому поняття "енергетична система країни", яке ми будемо використовувати, у цьому контексті є більш економічним, ніж технічним, і за аналогією із англійською термінологією є ширшим від загальноживаних "енергетична галузь" або "паливно-енергетичний комплекс", оскільки охоплює весь комплекс економіко-господарських відносин, пов'язаних з оборотом енергоносіїв.

Галузі ПЕК забезпечують видобуток енергоресурсів, їх переробку, транспортування та постачання енергії у зручних для споживання формах. В інших секторах економіки різні форми енергії у вигляді енергетичних послуг використовуються для задоволення енергетичних потреб. Структура цих потреб є різною і залежить від характеру потреб кожної категорії споживачів: перевезення, зберігання, виробництво продукції, освітлення, охолодження, житлові умови, приготування їжі тощо. Метою функціонування енергетичної системи, таким чином, є задоволення попиту на енергетичні послуги, або енергетичного попиту.

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

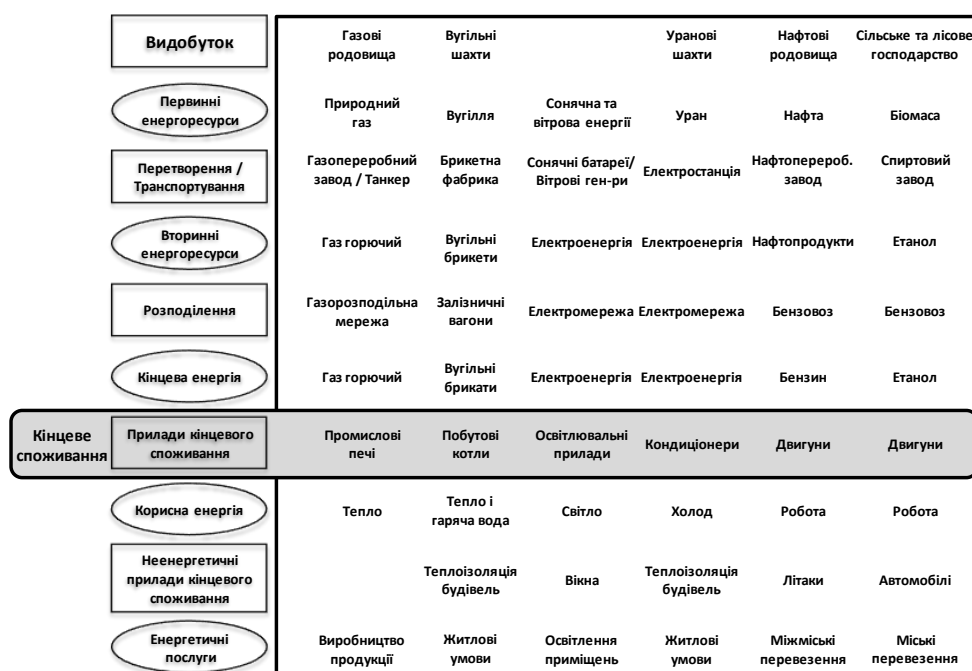


Рис. 1. Блок-схема енергетичної системи

Джерело: авторська розробка.

Первинною є така форма енергії, в якій вона існує в природі або 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 тощо. Як правило, первинна енергія непридатна для прямого споживання і потребує трансформації у вторинні форми – електроенергію, моторне паливо тощо. Доставлену до споживача енергію у готовому 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, наприклад в котлах або двигунах. Як і попередні форми, корисну енергію можна вимірювати у звичних фізичних одиницях (джоулі, калорії, умовне паливо тощо), проте коректніше вимірювати її, наприклад, у таких одиницях як обороти колінчатого валу двигуна, кількість відданого тепла (терм або калорій) радіатора, одиниця світла (люмен). Робота приладів кінцевого споживання, окремо або частіше разом із іншим обладнанням, спрямована на виробництво енергетичних послуг, таких як рух автомобіля, освітленість приміщень, опалення приміщень або технологічне тепло для термічної обробки. Залежно від комбінації категорії потреб та приладів кінцевого споживання, попит на енергетичні послуги може вимірюватися, наприклад, в пасажиро-кілометрах, квадратних метрах опалених житлових приміщень, тоннах промислової продукції, або навіть глобально – гривень доданої вартості.

Обсяги виробництва енергетичних послуг залежать від комбінації та вартості використання логістичної інфраструктури і технологій (капітал), 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, перероблення 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, якщо при дослідженнях енергетичної галузі необхідно виявити поточні тенденції та розробити прогнозні оцінки, то тісна взаємодія факторів, що визначають вартість енергії та енергетичних послуг, вимагає аналізувати весь процес формування енергетичних потоків.

На відміну від моделей керованих (технічних) систем, результати моделювання енергетичної системи не можуть бути перевірені за допомогою справжніх експериментів, а її розвиток на довгострокову перспективу однозначно спрогнозувати практично неможливо. Стохастичні (випадкові) фактори розвитку енергетичних систем у значній мірі спотворюють результати, отримані за допомогою детермінованих моделей. Навіть калібрування моделі за базовим роком не гарантує достовірність результатів моделювання на великому проміжку часу. Отримані таким чином результати по суті є проєкціями множини варіантів "що буде, якщо ...", а не безпосередньо *прогнозами розвитку*. Слід враховувати, що за будь-якої складності і повноти відображених у моделях взаємозв'язків, моделі залишатимуться лише абстрактним, спрощеним і формалізованим описом реальних об'єктів. Тому експериментальні дослідження, характерні для технічних систем, для енергетичних систем країн проводяться у вигляді *сценарного аналізу*, де кожен зі сценаріїв містить набір припущень щодо екзогенних параметрів моделі.

Оскільки розвиток енергетичної системи здебільшого визначається станом зовнішнього середовища (економічної системи), тому частина параметрів моделі залишатиметься екзогенною, тобто безпосередньо задаватиметься дослідником. Залежно від границь системи одні й ті ж змінні можуть бути як екзогенними, так і ендогенними, оскільки при розширенні границь системи параметри, що задавалися дослідником, можуть бути включені до розрахункового алгоритму як шукані змінні. Наприклад, за чітко визначених обсягів попиту на енергетичні послуги розв'язком задачі буде оптимальна за встановленим критерієм структура енергоресурсів для покриття цього попиту. При формулюванні в моделі макроекономічних залежностей та визначенні правил форму-

вання енергетичного попиту, його обсяги стануть ендегенними змінними і будуть розраховані моделлю з огляду на оптимальний стан всієї системи.

Для визначення рівня керуваності енергетичної системи та можливостей впливу на неї, і відповідно – розуміння причинно-наслідкових зв'язків під час аналізу модельних розрахунків варто розрізняти керовані та некеровані екзогенні змінні. Так, облікова ставка, тарифи на енергетичні ресурси та послуги, енергоефективність нового обладнання або норми викидів регулюють відповідні державні органи, а їхні сценарні значення можуть бути чітко обґрунтовані. На відміну від них, обсяги підтверджених запасів викопних видів палива або потенціал альтернативних джерел енергії, термічний ККД електростанцій або вплив парникових газів на навколишнє середовище не можуть бути "нормативно" встановлені. Динаміку зміни цих параметрів можна лише експертно аналітично оцінити. Таким чином, рівень керуваності енергетичної системи обумовлений кількістю і силою зв'язків між ендегенними та керованими екзогенними змінними.

Одним із найбільш складних завдань при моделюванні енергетичної системи є оцінка екзогенних параметрів, що визначатимуть технологічну структуру енергетичного сектора. У макроекономічних моделях всі групи технологій представлені виробничими функціями, проте у моделях виробничого типу, якою є модель енергетичної системи, кожна група технологій характеризується конкретними технічними та вартісними параметрами, зокрема, терміном експлуатації, ККД, потужністю, постійними і змінними витратами тощо. Зроблені припущення щодо зміни цих показників можуть суттєво вплинути на набір задіяних в оптимальному розв'язку технологій та інтенсивність їх використання. Між тим, лише удосконалення параметрів технологій не може забезпечити їхнє реальне впровадження, для цього модельні сценарії повинні також включати відповідні припущення щодо наявності інвестиційних ресурсів, податкової і тарифної політики, державних дотацій тощо.

Ще одним складним завданням процесу такого роду моделювання є оцінка майбутнього попиту на енергію за категоріями споживачів. Такий прогноз може бути складений на основі регресійного аналізу ретроспективних даних та визначення залежностей між попитом і його "керуючим параметром" (КП). Керуючим параметром, зокрема, обирають ВВП, додану вартість, обсяги виробництва промислової продукції, кількість і доходи населення, обсяги житлового фонду та інші макропоказники. Значення попиту розраховується за формулою:

$$\text{Попит} = \text{КП}^{\text{еластичність_до_КП}} \times \text{Ціна}^{\text{еластичність_до_ціни}}$$

У наведеній формулі керуючий параметр (КП) є некерованою екзогенною змінною, між тим ціна енергії є керованою, тому попит на енергію через цінову еластичність є "частково керованою" змінною. Особливість такого способу обрахунку попиту полягає в тому, що коректною є лише оцінка попиту на корисну енергію або енергетичну послугу (рис. 1), а введення в модель енергетичної системи попиту на первинну або кінцеву енергію є некоректним саме по собі, оскільки в такому разі первинна економічна задача втратить свій сенс і перетвориться на звичайну транспортну задачу.

Сценарії моделі, в яких досліджується стан системи при зміні керованих екзогенних змінних, називають базовими сценаріями або сценаріями політики; до кожного базового сценарію можуть бути розроблені альтернативні сценарії, що міститимуть різні при-

пущення щодо некерованих змінних. Загалом, послідовність кроків модельного експерименту є такою:

- формулювання базового (найбільш імовірного або бажаного) варіанта розвитку енергетичної системи без принципової зміни умов її функціонування;
- аналіз траєкторій альтернативних варіантів розвитку енергосистеми за різних припущень щодо неконтрольованих екзогенних змінних; метою опрацювання альтернативних сценаріїв є проведення аналізу чутливості моделі до зроблених припущень для оцінки ефекту від невідомості екзогенних змінних та встановлення найбільш вагомих факторів впливу на майбутній стан енергетичного сектора;
- внесення змін до альтернативних сценаріїв для спрямування траєкторії розвитку системи у бажаному напрямі та розроблення на їхній основі переліку відповідних регуляторних заходів (стратегій);
- вибір стратегій, що найчастіше дозволяли досягти бажаної мети (стійкі стратегії), а також розроблення стратегій попередження відхилення розвитку системи від бажаної траєкторії (стратегії хеджування).

▣ Основні методологічні підходи

Спектр використання економіко-математичних моделей в енергетиці є досить широким, як і сам термін *енергетичне моделювання* є доволі загальним. Найсуттєвіші розбіжності між моделями полягають у рівні деталізації енергетичних потоків та технологій, тому відповідно до об'єкта моделювання розрізняють класи *енерго-економічних моделей* та *безпосередньо моделей енергетичних систем*. Інакше, з певним припущенням, така класифікація енергетичних моделей відповідає так званим методологічним підходам *top-down* ("зверху-вниз") і *bottom-up* ("знизу-вверх"). Моделі енергетичних систем детально описують зв'язки всередині енергетичного сектора, дизагреговану номенклатуру енергоресурсів, повний набір технологій оброблення та споживання енергії. Своєю чергою, типова енерго-економічна модель розглядає повністю всю економіку країни, наслідком чого є представлення енергетичного сектора у дещо спрощеному вигляді. Базуючись на експертних значеннях цінової перехресної еластичності, модель розраховує точки ринкової рівноваги факторів виробництва. Типова секторальна виробнича функція має такий вигляд²:

$$X_S = A_0 \cdot K_S^{\rho} \cdot L_S^{\rho} \cdot E_S^{\rho}$$

- де X_S – виробництво сектора S ;
 K_S – затрати капіталу на виробництво одиниці продукції сектора S ;
 L_S – затрати праці на виробництво одиниці продукції сектора S ;
 E_S – затрати енергії на виробництво одиниці продукції сектора S ;
 ρ – еластичність взаємозаміщення факторів виробництва;
 A_0 та B – скалярні коефіцієнти.

² Традиційно факторами виробництва є капітал, праця та енергія. Водночас подекуди до цього набору додають землю, воду або технічне ноу-хау. Крім того, традиційні фактори можуть бути розділені на підгрупи.

Значення еластичності взаємозаміщення факторів виробництва показує, наскільки можливо варіювати факторами при збереженні сталих обсягів виробництва. Важливо зауважити, що формально значення цього показника є однаковим для всіх пар факторів. У таких моделях часто можна зустріти модифікацію виробничої функції, проте ідея взаємозаміщення факторів є незмінною.

Необхідною умовою такого макроекономічного підходу є припущення щодо раціональної поведінки суб'єктів ринку та існування прозорих конкурентних ринків факторів виробництва. Використовують енерго-економічні моделі переважно для оцінки впливу енергетичної політики на економіку країни і навпаки [7].

В моделях енергетичних систем усі технології описуються набором параметрів, такими як ціна, експлуатаційні витрати, термін експлуатації та термін окупності, доступність, ефективність та інші. Фактично технології представлені процесом трансформації енергоресурсу в продукт. Так, на вході процес когенерації отримує вугілля, а на виході виробляє електроенергію, тепло та викиди шкідливих речовин. Визначення цього методологічного підходу як "знизу-вверх" пояснюється тим, що остаточне рішення моделі приймається після аналізу економічних процесів на мікрорівні, іншими словами – технологічних змін на рівні кінцевих споживачів енергії. Такий підхід застосовують для визначення оптимальної стратегії забезпечення енергетичними послугами на національному та міжнародному рівнях. Завдяки особливостям топології, прикладна модель енергетичної системи може бути легко скоригована, тобто непередбачені наперед зміни у попиту та пропозиції енергії, або параметри нової технології можуть бути у будь-який час внесені до моделі. Щоправда, велика кількість технологій з унікальними технічними характеристиками вимагатиме їх уніфікації, тобто додаткового спрощення моделі. Крім того, деякі параметри, необхідні для перспективних розрахунків (наприклад, світові ціни на енергоресурси) точно оцінити доволі важко.

З розвитком інформаційних технологій принципові відмінності в описаних класах енергетичних моделей стають все менш очевидними. Так, в окремих прикладних енерго-економічних моделях (наприклад MEGRE [8] або SGM [9]) основні підгалузі енергетичного сектора (електроенергетика, нафтогазовий сектор) представлені в максимально дизаггегованому вигляді як по технологічній, так і товарній структурі. З іншого боку, деякі моделі енергетичних систем (такі як EFOM [10] та TIMES [11]) можуть враховувати вплив макроекономічних ефектів та ринкового середовища на стан енергосистеми. Наприклад, кінцевий попит на продукцію виробничих секторів в моделі TIMES є еластичним до ціни на неї, тобто вплив зміни ціни на енергоресурси, на стан економіки є кількісно вимірюваним. Більше того, останні розробки міжрегіональних моделей енергетичних систем дозволяють оцінити також вплив на міжнародну торгівлю, причому якщо в енерго-економічних моделях торгівля переважно представлена невеликою кількістю умовних агрегованих товарних груп, то в моделях енергетичних систем товарні потоки (включаючи різні схеми торгівлі) можуть бути представлені на найнижчому рівні агрегації.

Моделі енергетичних систем можна поділити на *моделі часткової рівноваги* та *моделі з фіксованим попитом*. Моделі часткової рівноваги, як і енерго-економічні моделі, розраховують ціну на енергію за допомогою кривих попиту та пропозиції, тобто попит на енергію обернено залежить від ціни на неї. В моделях з фіксованим попитом рівень попиту на корисну енергію визначається дослідником і в подальшому не змінюється.

Залежно від цілей досліджень застосовують *оптимізаційні* або *імітаційні* моделі енергетичних систем. Аналіз поведінки системи при різних комбінаціях її параметрів прово-

дять з використанням імітаційних моделей. Результат повністю залежить від коректності вхідної інформації: оскільки число невідомих у моделі відповідає кількості рівнянь, тобто рівень свободи дорівнює нулю, отримане рішення не обов'язково буде найкращим, тому що фактично воно було наперед визначене дослідником. Високий рівень свободи в оптимізаційній моделі дає можливість вибрати кращий стан системи з множини допустимих з урахуванням встановлених обмежень та вигляду цільової функції. На локальному рівні це може бути задача пошуку оптимальної інвестиційної стратегії або виробничого плану окремого підприємства (наприклад, моделювання муніципальної системи теплопостачання). При моделюванні національної енергетичної системи критеріями оптимізації автоматично стають завдання енергетичної політики, наприклад: мінімізація загальних витрат, мінімізація або досягнення визначеного рівня викидів парникових газів, максимізація споживання окремого виду енергоресурсу. Незважаючи на фактично багатокритеріальний характер поставленої в такий спосіб задачі, при моделюванні енергетичних систем намагаються уникати багатокритеріальної оптимізації, оскільки при використанні стандартних математичних алгоритмів рішення багатокритеріальних задач (лінійне звертання вагових коефіцієнтів, Парето-оптимальність та інші) розв'язок моделі не завжди може бути якісно та кількісно економічно інтерпретовано.

Лінійне програмування є найбільш поширеним математичним апаратом в оптимізаційних моделях. Енергетичні моделі лінійного програмування використовують як при складанні виробничих програм окремих енергокомплексів [7], так і при довгостроковому плануванні національної енергетики [12]. Якщо взяти до уваги, що узгоджені показники видобутку, імпорту, експорту, перетворення та споживання енергоресурсів складають таблицю енергетичного балансу країни, з певним допуском можна сказати, що при оптимізації національної енергосистеми розв'язується задача оптимізації зведеного енергетичного балансу. Включення до моделей лише лінійних рівнянь гарантує існування абсолютного оптимуму. Використанням *нелінійних моделей* можна досягти відображення складніших взаємозв'язків системи, проте, на відміну від лінійної оптимізації, абсолютний оптимум існуватиме лише за умови, що цільова функція та обмеження є випуклими. Більшість задач нелінійної оптимізації розв'язуються із застосуванням методу (релаксацій) Лагранжа, алгоритму імітації випалу (рос. – отжига) [13] або генетичного алгоритму. Базуючись на підходах лінійного програмування, були розроблені нові математичні методи, що пізніше застосовувалися в енергетичному моделюванні – змішане цілочислове програмування, полілінійне програмування [14].

Для визначення необхідної потужності нового енергетичного об'єкта проводять аналіз енергопостачання під час максимальних навантажень системи, що робиться з використанням *статичної оптимізаційної моделі*. Така модель вивчає стан системи в конкретний момент, нехтуючи змінами системи в часі. Оскільки математичний алгоритм статичних моделей у порівнянні з динамічними є відносно нескладним, технічні параметри енергетичної системи можуть бути описані в них максимально детально. Водночас енергетична система країни є об'єктивно складнішою, в ній присутні сезонні коливання попиту на нафтопродукти, добові коливання споживання електроенергії тощо. Відстежувати та аналізувати зміни системи протягом певного періоду часу можна за допомогою *динамічних та квазідинамічних (квазістатичних) моделей*. В квазідинамічних моделях весь часовий горизонт моделювання розбивається на декілька послідовних періодів, не обов'язково рівних між собою; розв'язок оптимізаційної задачі для першого періоду стає початковою інформацією для другого часового проміжку, і так для всіх наступних періодів. На відміну від цього, в динамічних моделях цільова функція

охоплює весь часовий горизонт, тобто ставиться задача оптимізації відразу всього періоду. Як наслідок, початковою інформацією для квазідинамічної моделі є поточний стан системи, тоді як робота з динамічною моделлю потребує чіткого уявлення про можливі перспективні зміни стану системи. Набір підходів для обчислення *динамічних моделей* прийнято об'єднувати під терміном динамічне моделювання.

Всі описані вище моделі є *параметричними*: їх переважно використовують для середньо- та довгострокового моделювання енергетичної системи, структура та параметри якої можуть з часом змінюватися. Вхідною інформацією для таких моделей є як офіційна статистика, так і експертні оцінки самих дослідників. При складанні короткострокових прогнозів поряд з параметричними часто використовують *економетричні моделі*. Наприклад, прогноз погодинного споживання електроенергії на наступний день, тиждень або навіть рік зазвичай складають за допомогою саме економетричних моделей. Основою такого підходу є припущення, що існуючі в минулому в середині системи взаємозв'язки з часом не змінилися. Базуючись на статистичному аналізі часових рядів, встановлених статистичних залежностях та трендах, проводиться коригування історичних статистичних даних. Іншим прикладом застосування економетричних моделей є аналіз чутливості споживачів до цін на енергоресурси [15].

Коректність відображення енергетичної системи в моделі, вибір способу моделювання напряду залежать від типу системи, що вивчається, повноти та якості інформації про неї, часового горизонту моделювання та безпосередньо самих цілей досліджень. З іншого боку, не завжди кожна енергетична модель може бути строго категоризована, бо може мати характеристики різних класів моделей. Крім того, при моделюванні суміжних систем поширеною практикою стала розробка системи моделей різних класів.

▣ Взаємозв'язок енерго-економічних моделей та моделей енергетичних систем

Найбільш поширеним методологічним підходом до складання прогнозів енергетичного балансу є розробка оптимізаційної моделі енергетичної системи, а досвід аналогічних досліджень також показав доцільність використання алгоритму лінійного програмування, що дозволяє відносно доступно та точно відтворити структурні зміни в дизаггегованій моделі. Такі моделі дозволяють провести комплексний аналіз постачання, переробки та споживання енергоресурсів та виявити вплив технологічних чинників або цін на енергоресурси на структуру енергосистеми. Повні витрати на впровадження нових технологій або зворотні економічні зв'язки в моделях енергетичної системи врахувати доволі важко, наприклад, такі, як вплив зростання вартості енергоресурсів на попит або структуру економіки загалом. Відповідно, макроекономічні показники (ВВП, зайнятість) представлені в моделі екзогенними змінними. Тому при значних трансформаціях структури економіки неврахування макроекономічних взаємозв'язків може призвести до меншої реалістичності математичної моделі. Для уникнення цього такого роду модель енергетичної системи часто поєднують з використанням макроекономічних моделей з детальним представленням енергетичного сектора (енерго-економічних моделей).

Врахування енергетичної складової у макроекономічних моделях (наприклад, типу затрати-випуск) відбувається шляхом включення цінової та доходної еластичностей

споживання енергії до виробничих функцій або на рівні всієї економіки, або на рівні окремих галузей і категорій кінцевих споживачів. У таких моделях структура споживання енергії розраховується або, як уже зазначалося, на базі цінової та доходної еластичностей енергоспоживання, або на базі еластичності заміщення енергії на інші фактори виробництва – працю та капітал (у моделях загальної рівноваги). Іноді до формули розрахунку обсягів споживання енергії також включають екзогенно задану змінну автономного технічного прогресу. У моделях загальної рівноваги найчастіше використовують виробничі функції типу Кобба–Дугласа та функції з постійними еластичностями заміщення. Метою розрахунків за обома типами моделей є визначення факторів впливу на структуру споживання та зміну дії цих факторів у часі.

Типи поєднання енерго-економічних моделей та моделей енергетичної системи поділяють на слабкі та сильні. При слабкому зв'язку фактично використовується дві автономні моделі, результати розрахунків кожної з яких є входною інформацією для іншої моделі. Досвід показує, що для досягнення рівноваги вистачає 3–5 таких ітерацій. Сильний зв'язок передбачає встановлення прямої системної взаємодії між моделями економіки та енергетики. З точки зору практичної доцільності та враховуючи розмірності як макроекономічних, так і технологічних сучасних моделей, розробка комплексу моделей з сильним зв'язком вимагатиме або агрегування структури економіки, або відповідного спрощення енергетичної системи. Прикладом такого підходу є варіант моделі енергетичної системи MARKAL – модель MARKAL–MACRO [16].

Спосіб поєднання макроекономічних та технологічних енергетичних моделей залежить від об'єкта і мети досліджень, а також обраного розрахункового алгоритму. Ієрархічна структура зв'язків між моделями різних класів наведена на рис. 2 [17].

Мета досліджень зумовлює вибір конкретного методологічного підходу: оптимізаційні технологічні моделі визначають (як правило) мінімальні витрати на функціонування енергосистеми при різних сценаріях факторів впливу; імітаційний підхід використовують при пошуку критичних елементів енергосистеми. В макроекономічних моделях визначальним є горизонт моделювання. Короткострокові моделі (як правило, моделі типу затрати-випуск) допускають високу дизагрегованість галузей та можуть нехтувати умовами збалансованості економіки. В довгострокових макроекономічних моделях (моделі загальної рівноваги) економічне зростання агрегованих секторів визначається змінами факторів виробництва.

Адекватний горизонт моделювання знову ж таки залежить від мети досліджень. Аналіз ефективності застосування інструментів енергетичної політики для досягнення намічених цілей, враховуючи інерційність енергетичного сектора та життєвий цикл енергетичних технологій, доцільно проводити на період не менш як 2–20 років. Для стратегічного планування економічного розвитку, енергетичної та екологічної політики горизонт моделювання повинен бути розширений до 5–30 років. Насамкінець, для вивчення глобальних питань, таких як зміна клімату, для врахування екологічних та кліматичних процесів досліджуваний період має охоплювати до 50–100 років.

Характеристики енерго-економічних моделей та моделей енергетичних систем представлені в табл. 1. Можна зауважити, що для моделювання макроекономічних та міжгалузевих зв'язків існує великий вибір методологічних можливостей – від агрегованих моделей загальної рівноваги до дуже деталізованих нелінійних динамічних моделей типу затрати-випуск з екзогенно заданими коефіцієнтами. Проте для поєднання макроекономічних моделей з моделями енергетичної системи необхідним

є представлення економіки як сукупності дизаггегованих галузей, а енергетичного сектора – як системи відповідних підгалузей з максимальною дизаггегациєю категорій кінцевих споживачів. Система моделювання TIMES, в якій була розроблена модель енергетичного сектора України, що представлена в цій науковій доповіді, передбачає технічну можливість системної інтеграції з макроекономічною моделлю будь-якого класу. Водночас, коректний вибір класу макромоделі є доволі складним завданням, оскільки, наприклад, складні виробничі функції, що використовуються у моделях загальної рівноваги, не завжди можна коректно визначити та оцінити, тому що параметри цих функцій розраховують на базі спостережень за один базовий рік.

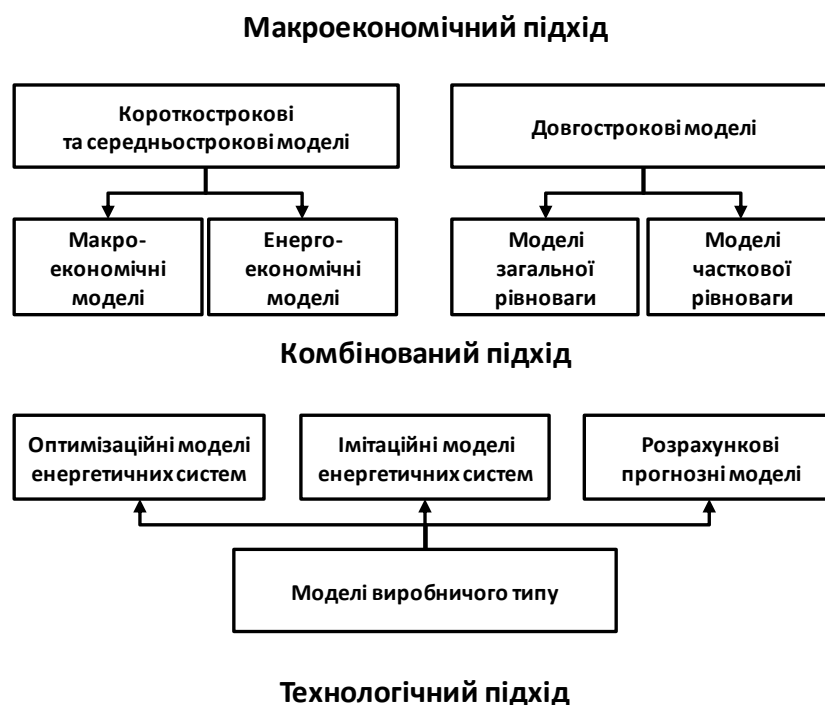


Рис. 2. Зв'язок енерго-економічних та моделей енергетичних систем

Джерело: [17].

На противагу цьому, моделі типу затрати-випуск, де потоки продукції галузей можуть бути відображені як у натуральних величинах, так і в їхньому ціновому еквіваленті, за відносно простої алгоритмічної побудови дозволяють працювати з високим рівнем деталізації. Звичайно, при постійних екзогенно заданих коефіцієнтах еластичності неможливо точно відобразити процес взаємозаміщення між капіталом, працею та енергією. Ця проблема вирішується при окремому моделюванні витрат капіталу, оскільки дані щодо річних інвестицій та вартості енергетичних технологій для двох моделей є загальними. З огляду на це, ендогенна природа розрахунку натуральних обсягів споживання, показників імпорту, експорту та вартісних параметрів є важливою перевагою моделей типу затрати-випуск, що дозволяє встановити коректний структурний зв'язок з моделями енергетичної системи.

Таблиця 1

Характеристики енергетичних моделей

Характеристика	Енерго-економічна модель		Модель енергетичних систем	
	Модель загальної рівноваги	Модель типу затрати-випуск	Оптимізаційна модель	Імітаційна модель
Горизонт моделювання	Середньо- та довгострокові	Коротко- та середньострокові	Коротко- та довгострокові	Коротко- та довгострокові
Об'єкт моделювання	Мікроекономіка, макроекономіка	Макроекономіка	Технологічна структура енергосистеми з повною структурою витрат	Структура енергосистеми
Критично важливі дані	Еластичності	Якість ретроспективних даних	Зв'язки між елементами системи (потoki)	Якість економічного та технічного аналізу
Деталізація енергосистеми	Низька	Низька	Висока	Середня
Розміри системи	Економіка	Економіка	Енергосистема	Енергосистема
Зв'язок з економікою	Врахований	Врахований	Частково при зв'язку з макроекономічною моделлю	Явно не виражений
Типове формулювання	Макроекономічний вплив енергетичної політики	Секторальний вплив енергетичної політики	Аналіз ефективності витрат	Визначення пріоритетних технологічних рішень
Технології та технологічний розвиток	Об'єднано до однієї або декількох технологій	Агреговано до рівня взаємодіючих структур	Окремі технології з чітким сценарієм розвитку	Окремі технології з чітким сценарієм розвитку
Переваги	Закрита теоретична структура	Чітка емпірична основа, можливість детальної дизагрегації галузей	Широкі прикладні можливості, дослідження детальних технологічних питань енергосистеми	Не потрібні цільові параметри, дослідження детальних технологічних питань енергосистеми
Недоліки	Мала емпірична база, низький рівень агрегації	Тривалий процес підготовки статистичної бази	Не очевидна ефективність оптимальних рішень через обмеженість системи	Експертна оцінка економічного впливу
Теоретична база	Неокласична теорія	Ретроспективний аналіз міжгалузевого балансу	Оптимізація за економічними та технологічними критеріями	Технологічне розуміння енергетичної системи
Методологічний підхід	Використання еластичності заміщення	Лінійна та економетрична оцінка	Оптимізаційний алгоритм з використанням бази даних технологій	Обробка експертної інформації та бази даних технологій
Технологічна деталізація	Низька	Низька	Висока, залежно від деталізації бази даних	Висока для обмеженої кількості технологій
Динамічність моделі	Врахована	Можлива на різних рівнях	Можлива	Можлива
Моделювання постачання та виробництва	Виробнича функція	Моделювання структури	Ендогенні показники	Відповідно до сценаріїв
Моделювання попиту та споживання	Еластичність попиту	Ендогенні показники	Відповідно до сценаріїв або до економічного розвитку	Відповідно до сценаріїв економічного розвитку

Джерело: авторська розробка.

▣ Прикладна реалізація моделей енергетичних систем

Системні дослідження, що проводилися в енергетиці до кінця 60-х років минулого століття, не могли здолати очевидної суперечності між науково обґрунтованим системним підходом та недосконалістю обчислювального апарату, що виконувався "ручним розрахунком". Така суперечність істотно звужувала можливості науково-практичних досліджень, особливо це позначалося на вивченні ієрархічних властивостей енергетичної системи, особливостей транспортування енергоресурсів, дослідженнях при неповній початковій інформації в оптимізаційних задачах. У сфері економіко-математичних досліджень у цей період були розроблені основні теоретичні положення та розроблені перші міжгалузеві баланси та окремі моделі лінійного програмування.

Широке впровадження обчислювальних машин на початку 70-х років дозволило зосередити економіко-математичні дослідження вже на розробленні оптимізаційних моделей та їхньому практичному застосуванні до задач стратегічного планування економіки та окремих галузей. Особливо це стосується енергетичного сектора, оскільки цей час збігався з першою нафтовою кризою і серед політиків почали виникати питання щодо причин виникнення кризи, можливих її наслідків і заходів для упередження таких ситуацій у майбутньому. При створенні моделей великих розмірностей, якими є моделі енергетичних систем, багато часу і уваги потребувала безпосередня підготовка даних, їх оброблення, визначення всіх необхідних елементів та зв'язків системи. Проте навіть якщо знехтувати цими питаннями, то основною перешкодою до прикладної реалізації таких моделей, як в СРСР, так і в усьому світі, все ще залишалася недостатня потужність обчислювальної техніки.

З розвитком комп'ютерної техніки був досягнутий значний прогрес у розробленні економіко-математичних моделей великої розмірності. З метою спрощення процесу моделювання та вирішення оптимізаційних задач були розроблені спеціалізовані системи моделювання. Починаючи з 1985 р. розроблено ряд систем моделювання високого класу, найбільш відомими серед яких є такі:

- MPL – мова математичного програмування (Mathematical Programming Language), розроблена Maximal Software, Inc.;
- LINGO (Lindo Systems, Inc.);
- AMPL – мова для створення задач математичного програмування (A Modeling Language for Mathematical Programming), розроблена Lucent Technologies Bell Laboratories;
- GAMS – загальна алгебраїчна система моделювання (General Algebraic Modeling System), розроблена Світовим банком для розв'язання оптимізаційних задач великої розмірності.

Наведені системи моделювання були розроблені з метою компактного представлення великих і комплексних моделей мовами програмування високого рівня. Це дозволило відносно просто і безпечно робити зміни в описах моделі, надавати в простих формах однозначні оператори алгебраїчних зв'язків, виконувати опис моделі, що не залежить від алгоритмів розв'язання.

На базі таких систем почалося створення генераторів моделей – програмних надбудов, призначених для розробки типових моделей одного класу зі стандартними параметрами, та додаткових системних (операційних) оболонок до генераторів моделей. Найбільш поширеними генераторами моделей на сьогодні є:

- MARKAL/TIMES, GTAP- ENERGY (Міжнародне енергетичне агентство, MEA);
- MESSAGE, ENPEP, MAED (Міжнародне агентство з розвитку атомної енергії, Міжнародний інститут прикладного системного аналізу, Австрія);
- ETA-MACRO (Стенфордський університет, США);
- EFOM (Енергетичне агентство Нідерландів);
- LEAP (Інститут навколишнього природного середовища, Швеція);
- МЭНЭК (Інститут енергетичних досліджень Російської академії наук).

Необхідність у системних оболонках була обумовлена складністю роботи з програмним продуктом дослідників, що не є програмістами. Вимоги до програмного забезпечення визначались структурою моделі, необхідною точністю результатів розрахунків, особливостями вхідної інформації, розмірністю математичної задачі та можливостями аналізу результатів моделювання.

Робота над створенням комп'ютерних енергетичних моделей ніколи не була цільовою, вона проводилася комплексно у рамках або разом з іншими дослідженнями. Наприклад, у Німеччині на початку 90-х років Міністерством освіти, науки, досліджень та технологій колишньої ФРН було розпочато проект IKARUS (Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien, Інструментарій для розробки стратегій зменшення викидів парникових газів). Метою проекту було створення бази даних та комплексу моделей для розроблення та кількісного обчислення енергетичних та екологічних сценаріїв. База даних, в роботі над створенням якої брало участь вісім науково-дослідних інститутів, крім макроекономічної, також містила детальну інформацію щодо кінцевого попиту на енергію, характеристики існуючих технологій оброблення та споживання енергії, ціни на всіх трансформаційних стадіях тощо.

У рамках проекту Науковим центром м. Юліх (STE, Research Centre Juelich) було розроблено три енергетичні моделі:

- класична лінійна оптимізаційна модель енергетичного сектора;
- деталізована імітаційна модель теплопостачання з виокремленням типових житлових будинків та домогосподарств (сімей);
- імітаційна модель транспортного сектора з виокремленням пасажирського транспорту та вантажівок.

Крім того, в університеті м. Ольденбурга (AGEP, Oldenburg University) була розроблена макроекономічна динамічна модель типу затрати-випуск, що складалася з 24 галузей, включаючи 9 підгалузей енергетичного сектора. Макроекономічна модель була системно інтегрована з енергетичною оптимізаційною моделлю, тому розраховані параметри енергетичних потоків одразу використовувалися у розрахунках енерго-економічної моделі.

Припускалося, що скорочення викидів парникових газів можна досягти шляхом таких заходів:

- 1) зміни структури споживаних енергоресурсів зі скороченням частки енергоресурсів зі значним вмістом вуглецю (наприклад, заміни вугілля на природний газ, альтернативні джерела енергії або атомну енергію);
- 2) введення нових ефективних енергетичних технологій;

- 3) запровадження організаційних заходів з енергоефективності;
- 4) зміни поведінки споживачів;
- 5) запровадження ринкових механізмів торгівлі дозволами на викиди ПГ.

Необхідність використання всього комплексу моделей була зумовлена тим, що всі можливі заходи зі скорочення викидів ПГ не могли бути оцінені лише в одній моделі. Перші три заходи можна було чітко описати в моделі енергетичної системи. Водночас для оцінки останніх двох заходів необхідним був розрахунок попиту на енергію з використанням енерго-економічної моделі.

Аналогічні дослідження зі створення енергетичних моделей проводилися й у Радянському Союзі для планування розвитку енергетичної галузі на різних ієрархічних рівнях. В Україні наразі розробленням економіко-математичних моделей для дослідження проблем енергетичного сектора займаються декілька груп науковців. Так, в Інституті загальної енергетики НАН України була побудована система математичних моделей для прогнозування та розвитку ПЕК України та його галузевих підсистем, а також створена економіко-математична модель для параметричної оптимізації міжгалузевого балансу ПЕК країни [18]. Ці моделі відображали генерацію, транспортування та розподіл електричної енергії, виробництво і розподіл теплової енергії. В Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України розроблено рівноважні моделі функціонування енергосистеми у короткостроковому періоді в умовах недосконалої конкуренції, довгострокову модель розвитку теплової енергетики України, програмно-інформаційну систему для підтримки прийняття рішень щодо планування розвитку потужностей ТЕС в ринкових умовах [19]. У Раді по вивченню продуктивних сил України НАН України розроблено модель для прогнозування основних показників діяльності транспортно-дорожнього комплексу України на довгострокову перспективу [20].

Мета і методи досліджень у згаданих розробках істотно відрізняються від запропонованих у цій роботі. Так, для прогнозування розвитку енергетичного сектора та розроблення 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, дещо зменшує наукову обґрунтованість результатів. В інших випадках, за оптимізаційного підходу 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, оминаючи сектор кінцевого споживання, а прикладна реалізація таких розробок часто проводилася засобами стандартних офісних програм.

Базовий варіант описаної у даній роботі моделі "TIMES-Україна" є оптимізаційною лінійною квазідинамічною моделлю енергетичної системи з фіксованим попитом. Окремі модельні розрахунки проводилися із введенням сценарію еластичностей енергоспоживання (варіант моделі часткової рівноваги), а також підключенням спеціальних модулів, реалізованих з елементами цілочисельного, нелінійного та стохастичного програмування.

Крім винятково методологічних аспектів вибору способу моделювання енергетичної системи, під час розроблення енергетичних або екологічних прогнозів завжди постає проблема їх адекватного і однозначного сприйняття як усередині країни, так і за кор-

доном. Саме тому при виборі програмного інструментарію колектив розробників ІЕП НАНУ дотримувався таких принципів: розрахунковий алгоритм повинен бути зрозумілим, а програмний код відкритим; створювана модель повинна бути гнучкою за структурою, тобто допускати різні рівні агрегації енергетичної системи, дозволяти оперативно формувати та змінювати як початкову інформацію, так і цільові показники (сценарні умови), враховувати особливості енергетичної галузі України (наприклад, несвоєчасну оплату за спожиту енергію). Після аналізу широкого спектра існуючих модельних розробок було підібрано комплекс програмних засобів, який складається з мови програмування GAMS [21], модельного генератора TIMES [22] та системних оболонок VEDA [23, 24]. Опис програмної реалізації моделі "TIMES-Україна" наведено в розділі 5.

TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) є генератором моделей енергетичних систем, що разом із системними оболонками VEDA був розроблений в рамках Програми системного аналізу енергетичних технологій (ETSAP) [25] на замовлення MEA.³

На сьогодні моделі енергетичних систем, розроблені на цьому програмному забезпеченні, використовуються у понад 70 країнах світу (рис. 3), зокрема:

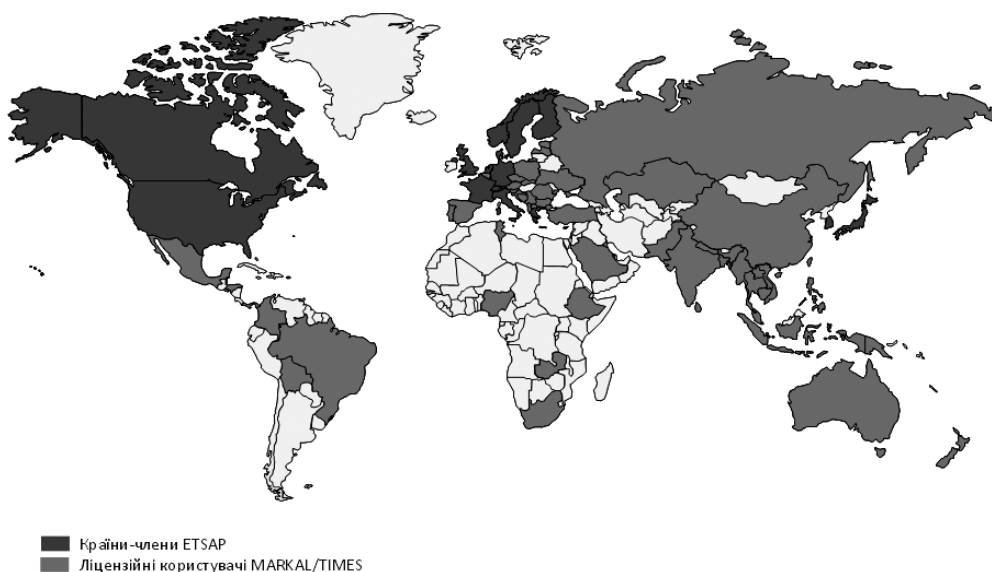


Рис. 3. Користувачі моделей TIMES

Джерело: авторська розробка.

Бельгія	Бельгійська федеральна служба з державного планування;
Греція	Центр відновлюваних джерел енергії при Міністерстві економіки;
Данія	Енергетичне агентство Данії; Лабораторія RISO ;
ЄС	Європейська комісія з енергетичних питань;
Італія	Міністерство охорони навколишнього природного середовища;
Канада	Організація при міністерстві екології Natural resources Canada;

³ Розробниками модельних генераторів MARKAL і TIMES є Брукгавенська національна лабораторія (США), науковий центр Kernforschungsanlage Jülich (Німеччина), Інститут економіки енергетики і раціонального використання енергії Університету м. Штутгарт (Німеччина) та компанією KanORS (Канада).

Нідерланди	Енергетичне агентство Нідерландів;
Німеччина	Інститут економіки енергетики і раціонального використання енергії при університеті м. Штутгарт;
США	Агентство з енергетичної інформації;
Фінляндія	Державне агентство з технологій та інновацій; Інститут VTT;
Франція	Міністерство економіки, промисловості і зайнятості; Агентство з енергетики і навколишнього середовища Франції;
Швеція	Енергетичне агентство Швеції;
Японія	Міністерство економіки.

Важливо наголосити, що використане програмне забезпечення не є саме по собі готовою моделлю, яку можна наповнити відповідною статистичною інформацією і отримати результат; воно є лише інструментом для створення таких моделей. Структура самих моделей та функціональні зв'язки між елементами повністю визначаються розробником. Крім того, програмний код моделі є відкритими, що дозволяє оперативно змінювати його у разі потреби.

2. ВХІДНА ІНФОРМАЦІЯ

Принципова відмінність моделі "TIMES-Україна" від багатьох інших моделей, що були розроблені для складання прогнозу обсягів споживання енергії в Україні, полягає у зміщенні предмета аналізу з кінцевої енергії на корисну енергію та енергетичні послуги (рис. 1, с. 13). Уведення в процес дослідження категорій енергетичного попиту та потреб дозволило коректніше відобразити сутність об'єкта моделювання. Водночас це також наклало й додаткові вимоги на структуру моделі та необхідне інформаційне наповнення.

Розглянемо процес формування енергетичного потоку і попиту на енергію на прикладі (рис. 4). Видобуте вугілля після обробки і збагачення надходить до електростанції. Там воно спалюється, а вода, нагріта в паровому котлі до стану перегрітої пари, обертає парову турбіну, що приводить у дію турбогенератор для виробництва електроенергії. По електричній мережі електроенергія постачається кінцевим споживачам. Більшість відомих нам вітчизняних модельних розробок закінчували на цьому етапі аналіз енергетичного потоку. Прогноз споживання (або попиту) електроенергії окремими секторами здійснювався вже, як правило, на базі статистичного аналізу рядів ретроспективних даних та виявлення кореляційних зв'язків з іншими, переважно макроекономічними показниками. Удосконалення технологій споживачів враховувалося через введення у виробничі функції (функції споживання) коефіцієнтів автономного технологічного прогресу, якими задавалося поступове зменшення питомого споживання енергії з часом.

Між тим мета і структура споживання енергії є різними і залежать від характеру потреб кожної категорії споживачів. Звичайно, поняття потреби є занадто загальним, і, враховуючи різноманітну природу людських потреб та їх фактично необмежений характер, багато дослідників неодноразово пропонували способи їх категоризації. Проте для завдання прогнозування енергетичного балансу потреби по кожній групі споживачів повинні бути ідентифіковані в такий спосіб, щоб із урахуванням альтернативних енергетичних технологій виробництва продукції або послуг для задоволення потреб споживачів можна було зробити оцінки попиту за *окремими енергоресурсами*. Під енергетичною технологією тут розуміється будь-яка установка або пристрій, що виробляє, перетворює, розподіляє або споживає енергію⁴.

Складність коректного визначення потреб зумовлена тим, що один технологічний процес може задовольняти різні споживчі потреби. Так, на промисловому підприємстві електроенергія може бути використана для роботи технологічного електроустаткування, роботи електродвигунів, освітлення виробничих приміщень тощо. Робота верстата, у свою чергу, може задовольняти потребу в обертанні фрези, потребу у виготовленні певної кількості заготовок, потребу у зайнятості для робітника та потребу в прибутку власника верстата. Водночас кожна зі згаданих потреб може бути задоволена за рахунок альтернативних процесів: заготовка може бути замінені іншим виробом або просто придбана в іншого виробника, а власник може отримати прибуток за рахунок іншого виду комерційної діяльності. Таким чином, ідентифікована потреба має передбачати,

⁴ Далі у тексті поняття "технологія" і "процес" є синонімічними.

що досліджуваний процес використання енергії відбуватиметься. Тобто у випадку з верстатом, потреба полягатиме не в наявності заготовки, а саме у її виготовленні, хоча в обох випадках вимірюватися ці потреби будуть у кількості заготовок. Витрати енергії для задоволення потреби з виготовлення заготовки обумовлені існуючим на даний момент технологічним способом виробництва⁵. У випадку ж, коли потреба полягала б у наявності заготовки, яку можна, наприклад, імпортувати, обсяг енергії для задоволення такої потреби визначався би питомим використанням палива для перевезення одиниці вантажу.

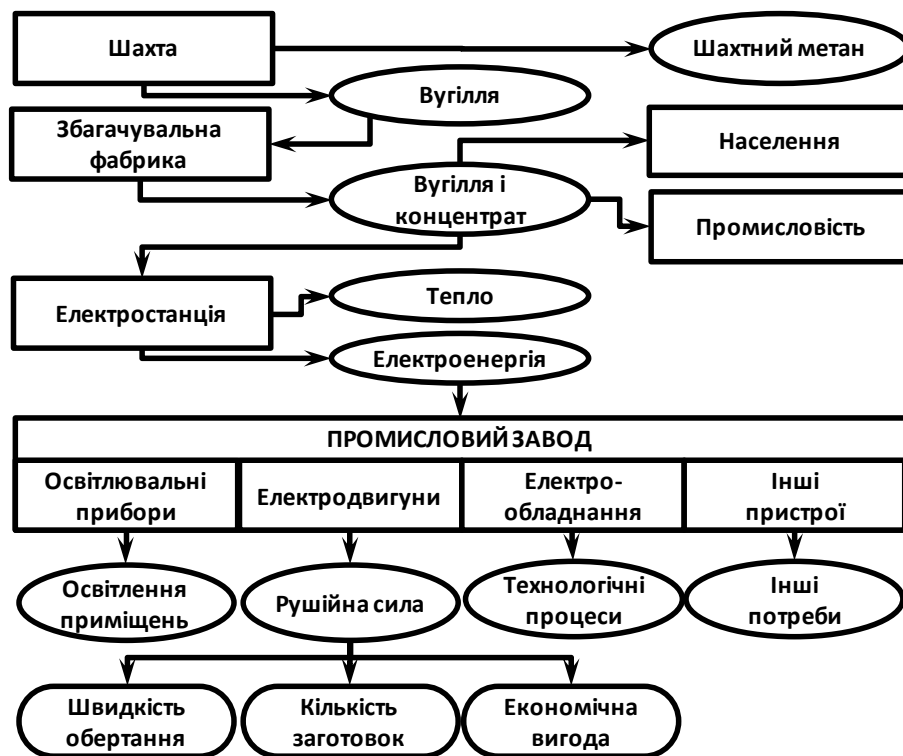


Рис. 4. Формування енергетичного потоку

Джерело: авторська розробка.

Для складання адекватного для математичного формулювання в моделі переліку потреб (енергетичних попитів) у межах всієї економіки, де споживачами енергії є всі без винятку сектори, логічно припустити, що потреби споживачів енергії безпосередньо залежать від виду їх діяльності. Це виправдано як з точки зору технологічної схожості, так і з принципів збору статистичної інформації, оскільки обов'язковою умовою при ідентифікації потреб є можливість їх адекватного обліку, і відповідно їх кількісної і вартісної оцінки. Так, споживання енергії в усіх галузях промисловості фактично завжди зводиться до задоволення названих вище потреб; транспортний сектор задовольняє потреби з перевезення пасажирів та вантажів; використання енергії в невиробничих секторах економіки і населенням спрямоване на задоволення житлово-комунальних потреб. Збір та опрацювання статистичної інформації виконується Державним комітетом статистики України за Класифікатором видів економічної

⁵ Обсяги енергії для задоволення однієї потреби в іноземній літературі з економіко-математичного моделювання енергетичних систем ще називають *енергетичним попитом*.

діяльності (КВЕД), тому агрегування споживачів енергії, а також відповідних енергетичних попитів у моделі "TIMES-Україна" саме за цим класифікатором є цілком закономірним (виправданим)⁶.

Якими ж правилами слід керуватися, щоб ідентифікувати потреби з урахуванням наведених міркувань. Якщо ототожнити *потреби із категоріями корисної енергії* (рис. 5), то в промисловості потреби можуть бути сформульовані за видами технологічних процесів, на які використовується енергія: електрохімічний процес (пряме відновлення металу), машинний привід або рушійна сила (робота верстатів, двигунів, насосів), процеси термічної обробки (робота печей опалу, гартування або сушіння; вагранки) та інші процеси прямого нетехнологічного споживання (опалення і освітлення робочих приміщень, внутрішньозаводський електротранспорт). Дані державних статистичних спостережень дозволяють зробити відповідні оцінки і припущення щодо споживання електроенергії. Проте категорії потреб, для задоволення яких використовуються інші енергоресурси, за даними Держкомстату визначити неможливо. Та й оцінити попит на електроенергію, виходячи лише з названих потреб, видається методологічно складно – в різних галузях при виробництві різної кінцевої продукції подібні технології матимуть різні питомі та вартісні характеристики.

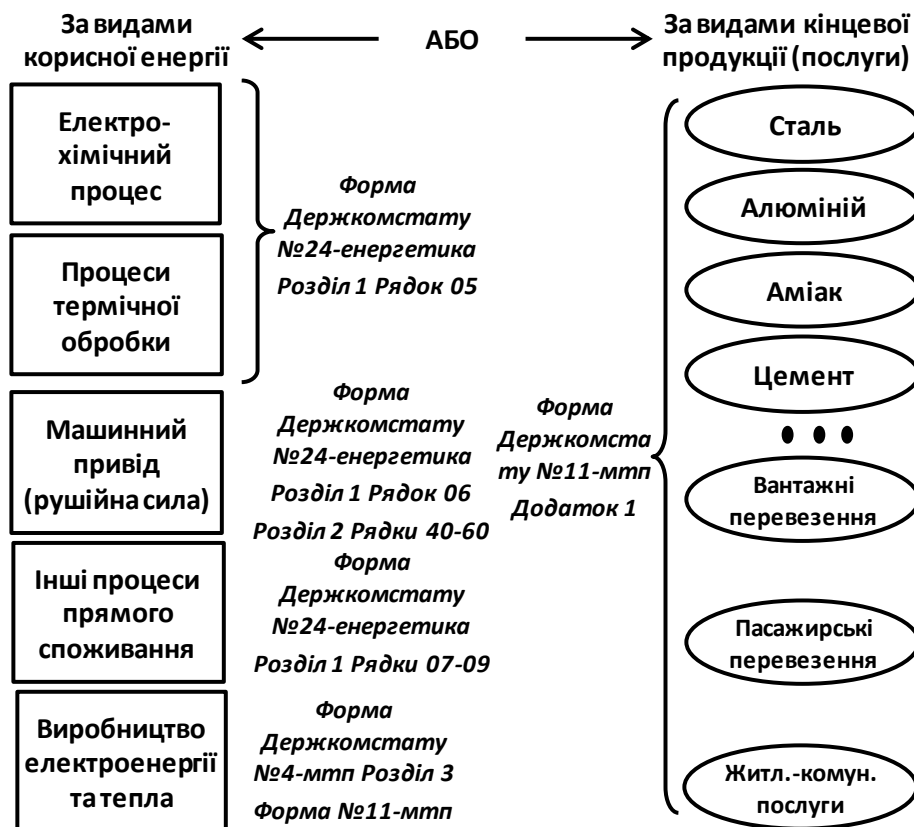


Рис. 5. Категорії потреб (енергетичних попитів)

Джерело: авторська розробка.

⁶ На сьогодні в Україні діє КВЕД ДК 009:2005, гармонізований з міжнародною класифікацією видів економічної діяльності Європейського Союзу NACE – Nomenclature of Activities European Community (Rev.1.1–2002).

Більш раціональним є формулювання *потреб за видами кінцевої продукції* (або за *видами енергетичних послуг*) – як промисловій продукції, так і транспортним та іншим послугам властиві чітка зрозуміла номенклатура, наявність технологічних карт і стандартів на їх виготовлення, вони займають певний сегмент ринку, а їхні вартісні та кількісні параметри відслідковуються органами державної статистики або іншими організаціями. Водночас при використанні такого підходу слід враховувати дві важливі обставини. По-перше, як уже зазначалося, з точки зору моделі, потребою є не кінцева продукція, а саме процес її виготовлення. І по-друге, представити в моделі технології виготовлення всієї номенклатури продукції і послуг просто неможливо. Тому потребами доцільно обирати лише найбільш енергомісткі види продукції і послуг, структура споживання енергії для виробництва яких адекватно відображала б загальне споживання енергії відповідною галуззю.

В табл. 2 представлено структуру використання первинних енергоресурсів і кінцевого споживання енергії та палива 2005 року.

Таблиця 2

**Використання первинних енергоресурсів
і кінцеве споживання енергії та палива в 2005 р., %**

СЕКТОР	Використання первинного палива	Кінцеве споживання енергії і палива
ПРОМИСЛОВІСТЬ	20,97	45,41
<i>Металургійне виробництво</i>	41,07	53,88
<i>Хімічне виробництво</i>	29,50	21,02
<i>Виробництво іншої неметалевої мінеральної продукції</i>	10,85	7,68
<i>Виробництво паперової маси, паперу, картону та виробів з них (картон)</i>	0,93	0,74
<i>Інші галузі промисловості</i>	17,66	16,68
НАСЕЛЕННЯ	17,56	28,13
ВИДОБУВАННЯ, ПЕРЕТВОРЕННЯ І ТРАНСПОРТУВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ	33,29	11,11
ТРАНСПОРТ (У ТОМУ ЧИСЛІ ПРИВАТНИЙ)	0,27	6,08
<i>Автомобільний</i>		83,00
<i>Залізничний</i>		10,00
<i>Авіаційний</i>		4,25
<i>Водневий</i>		2,75
БЮДЖЕТНИЙ СЕКТОР І СЕКТОР ПОСЛУГ	1,85	5,69
СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО	0,40	2,66
ВИРОБНИЦТВО І ПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ТЕПЛА	25,66	0,92

Джерело: розраховано за даними Державної служби статистики України.

Для моделювання складних багатоетапних процесів енергомістких галузей промисловості розробники напружували такий підхід.

1. Якщо визначений енергетичний попит однієї галузі (потреба у виробництві основної промислової продукції галузі 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 (наприклад, виробництво сталі), то агрегований (останній) процес використовує весь набір енергоресурсів для кінцевої обробки основного продукту. Енергетичний попит галузі, у такому разі, вимірюється в еквіваленті основного продукту.

2. Якщо енергетичний попит не покриває всього виробництва (наприклад, як 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: машинний привід, електрохімічний процес, технологічне тепло та інші попити, що не входять до перелічених.

Розглянемо підхід до моделювання енергомістких виробництв на прикладі металургійної галузі, що є одним із найбільших споживачів енергії в Україні. На рис. 6 представлена спрощена структура *матеріальних потоків* при виробництві первинних форм сталі, що є основним продуктом у металургійній галузі. Види сталі, як і різні види сировини для виготовлення основного продукту, взяті за класифікатором Номенклатури промислової продукції (НПП). Відповідно Держкомстат надає повну інформацію щодо виробництва цих видів продукції, обсягів їх експорту та імпорту, питомих витрат електроенергії і палива на їх виробництво, а також цін виробників. Номенклатура кінцевої продукції галузі (труби, арматура) не розглядалася, а обсяги енергії, спожитої на виробництво такої продукції, враховувалися в умовному технологічному процесі кінцевої обробки сталі і приймалися як для виробництва еквіваленту необробленої сталі, що й є, власне, потребою металургійної галузі в моделі.

Над кожним об'єктом на рис. 6, що відображає набір технологій для виробництва певного виду продукції, вказано частку кінцевого споживання галузі на вироблення цієї продукції. За представленої структури галузі враховані технології охоплюють 98,7% кінцевого галузевого енергоспоживання. Решта 1,3% кінцевого споживання (на непрофільне виробництво, тобто виробництво продукції, що за номенклатурою не належить до продукції металургії) представлена однією умовною технологією. В окремі технології також виділено використання енергоресурсів для виробництва металургійними підприємствами коксу, електроенергії і тепла ("непряме споживання" або "використання для перетворення"). Таким чином, потреба металургійної галузі (енергетичний попит) сформульована як виробництво кінцевої продукції галуззю, вираженої у формі еквіваленту необробленої сталі, а структура представлених технологій в моделі адекватно відображає загальне використання енергії і палива. Детальніше огляд структури секторів, представлених у моделі "TIMES-Україна", а також особливості формулювання енергетичних попитів по кожному із секторів подано в розділі 3.

Важливо зауважити, що наведений підхід до формування структури сектора в моделі і спосіб інформаційного наповнення є лише базовими і далеко не достатніми. Оскільки статистична інформація Держкомстату є агрегованою за видами економічної діяльності, питомі обсяги енергоресурсів по кожному виробничому процесу є "усередненими", а сформовані з їх використанням технології є умовними і, звичайно, можуть не відображати особливостей використання енергії окремими галузевими підприємствами. Тому там, де це доречно, дані Держкомстату мають бути дизагреговані за великими підприємствами або групами однотипних виробництв, а характер енергоспоживання має бути максимально деталізованим, зокрема, відтворена сезонність споживання електроенергії і тепла.

Рівень деталізації номенклатури енергоресурсів та структури споживачів визначався з огляду на необхідність адекватного представлення у кожному секторі реальних технологічних процесів та подальшого калібрування моделі відповідно до чинних форм і стандартів державних статистичних спостережень. Крім того, структура і характер енергетичних потоків повинні були забезпечувати можливість адекватного порівняння з агрегованою схемою енергетичних балансів за формами МЕА і Євростату.



Рис. 6. Структура матеріальних потоків у металургії (2005 р.), %.

Джерело: авторська розробка з використанням даних Державної служби статистики України.

Структура моделі побудована з урахуванням існуючих класифікаторів і норм статистичної звітності України: номенклатура енергоресурсів та сировини строго відповідає НПП і частково Державному класифікатору продукції та послуг (ДКПП). Структура моделі зумовила необхідність розділення загальних обсягів використання енергії на неенергетичне, на перетворення, кінцеве споживання та втрати з відповідною дизагрегацією кожної групи. Основними джерелами 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; питоме 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 з видобування нафти, газу і вугілля. У випадку дизагрегації за групами технологій або енергетичних компаній загальна інформація по галузі була відкалібрована 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 та 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 звітних даних за діючими первинними формами державних статистичних спостережень 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 у 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 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, обсяги

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

Обробка статистичних даних є надзвичайно трудомісткою роботою, але лише повна та достовірна вхідна інформація дозволяє використати потенціал математичного апарату і зрозуміти сутність енергетичних потоків в енергосистемі країни. Строга прив'язка моделі до діючих статистичних форм з пографною деталізацією фактично сформувала методичну базу для роботи з моделями енергетичних систем і складання прогнозного енергетичного балансу. При цьому, реформа вітчизняної системи статистики енергетики, *якщо вона проводиться задля забезпечення складання звітнього енергетичного балансу держави*, лише покращить якість і точність запропонованого підходу інформаційного наповнення моделі. Так, при визначенні масштабів *нових* статистичних спостережень та підготовці *додаткових* форм звітності доцільно передбачити включення до них показників, необхідних не лише для складання звітнього, але й для коректного розрахунку прогнозного енергобалансу. В іншому випадку, відміна діючих форм звітності може призвести до втрати системності статистичних спостережень, а методика розрахунку прогнозних показників балансу зазнати невиправданого спрощення.

3. СТРУКТУРА МОДЕЛІ

Модель "TIMES-Україна" побудована з урахуванням існуючих державних статистичних класифікаторів і базується на звітних формах державних статистичних спостережень з пографною деталізацією. Україна представлена єдиним регіоном. Базовим роком є 2005, проте для врахування впливу світової фінансово-економічної кризи в модель також включені дані за 2006 та 2009 роки. Завдяки прийнятій топології моделі, гнучкості використовуваного програмного забезпечення та відкритості програмного коду до моделі у будь-який момент можуть бути внесені зміни щодо її структури, вхідної інформації, алгоритму розрахунку або способу формування звіту.

Енергетична система України розділена в моделі на сім секторів: сектор постачання енергоресурсів та сировинної продукції; сектор виробництва і постачання електроенергії та тепла; промисловість; населення; комерційний і бюджетний сектори; транспорт; сільське, лісове та рибне господарства. Ці сектори забезпечують видобування, перероблення, транспортування, постачання енергоресурсів та надання енергетичних послуг для задоволення потреб (енергетичних попитів) кінцевих споживачів. Для оцінки енергетичних попитів використовується функція споживання, 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, обсяги виробництва тощо.

Виробничий тип задачі зумовлює необхідність детального представлення технологічних процесів. Тому в моделі вони розділені на такі типи:

- технології видобутку енергетичних ресурсів (за рівнем розвіданості запасів і стадією експлуатації свердловин і шахт);
- технології виробництва вторинних енергоресурсів (технології 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.

▣ Сектор постачання

Ресурсний потенціал України становлять доведені та нерозвідані запаси паливно-енергетичних копалин, а також потенціал нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії. На кінець 2008 р., за оцінками міжнародних організацій, Україна володіла 4,1% доведених світових запасів вугілля (за категоріями А+В+С1 становили понад 45 млрд т, у тому числі коксівного вугілля – понад 13 млрд т); 0,1% – нафти; 0,5% – природного газу. За оцінками українських геологів, надра нашої країни можуть містити більш як 110 млрд т вугілля всіх видів, хоча існують оцінки і до 300 млрд т.

Як видно з табл. 2, у базовому році частка сектора постачання у використанні первинного палива становила 33,29%, між тим кінцеве споживання енергії та палива в процесі видобування, перетворення і транспортування енергоресурсів було на рівні 11,11%. Найбільші поставки первинного палива здійснюють галузі з видобутку кам'яного вугілля, природного газу, уранової руди та нафти (табл. 3). Частка імпорту у структурі поставок первинного палива в 2005 р. становила 48,29%.

Таблиця 3

Виробництво первинних енергоресурсів у 2005 р.

Галузь	Споживання енергії та палива, ПДж	Виробництво первинного палива, ПДж	Частка від загальних поставок первинного палива, %
Видобування кам'яного вугілля	47,49	1288,24	26,51
Видобування природного газу	19,54	662,69	13,64
Видобування уранової руди	0,25	319,52	6,58
Видобування нафти	6,64	187,85	3,87
Гідроенергія			0,92
Видобування лігніту	1,70	9,12	0,19
Вітрова енергія			0,003
Імпорт енергоресурсів			48,29

Джерело: розраховано за даними Державної служби статистики України.

У секторі постачання враховані резерви викопних видів енергоносіїв за категоріями та технологіями їх видобутку. Станом на 01.01.05, залишкові запаси газу становили 1023,8 млрд м³, початкові видобувні запаси нафтових родовищ України становили 421,9 млн т, газового конденсату – 138,6 млн т, вугілля всього – 117,1 млрд т. Потреба України в нафті та продуктах її переробки у 2005 р. становила 18 млн т, з яких 4,3 млн т забезпечувались нафтогазодобувними підприємствами України, а решта імпортувалась з Росії та Казахстану. За 2005 р. в Україні видобуто близько 20 млрд куб. м газу, тоді як за імпортом отримано 55,9 млрд куб. м (з Російської Федерації та країн Середньої Азії).

Для нафти і природного газу технології видобутку розділені на чотири типи (рис. 7) за основною профільністю компаній (нафтовидобувні, газовидобувні, видобування на морському шельфі та ін.), що характеризують різні умови видобутку та собівартість сировини.

Видобування кам'яного вугілля представлене за 3-ма категоріями шахт; видобуток лігніту описується однією загальною технологією. Аналогічно представлені процеси видобутку або виробництва неенергетичної сировини, такої як залізна руда, вапняк, металобрухт тощо. Для всіх технологій видобування встановлені максимальні та мінімальні значення інтенсивності їх використання.

Процеси видобування викопних видів енергоресурсів розділені в моделі за стадіями освоєння та вичерпання родовищ. Кожна стадія характеризується вартістю і річними обсягами доступного ресурсу. Витрати на видобування не включають енергетичної складової собівартості, оскільки енергетичні потоки в моделі представлені досить детально. Первинним вважається видобутий та підготовлений до споживання енергоресурс, тому розділені як технології видобування та підготовки, так і самі енергоресурси – у моделі розрізняються резерви, видобуті (рядові) та первинні (товарні) енергоресурси. Як приклад, на рис. 8 показано процес виробництва вугільної продукції. Така топологія моделі дозволяє детальніше

відобразити структуру собівартості видобування первинних енергоресурсів та фактори впливу на неї. Після створення первинних видів енергоресурсів вони проходять два умовних процеси – створення палива сектора постачання та створення секторального палива (паливо для промисловості, населення тощо). Сукупність цих процесів фактично відображає існуючу інфраструктуру постачання енергоресурсів. Визначення постійних та змінних витрат умовних технологій впливає на оцінку ціни секторального палива та вартості відповідної енергетичної послуги.



Рис. 7. Структура сектора видобутку нафти і природного газу (2005 р.), %

Джерело: авторська розробка з використанням даних Міністерства енергетики та вугільної промисловості України.

Аналогічно представлені процеси виробництва вторинних енергетичних ресурсів (секторального палива), таких як нафтопродукти (рис. 9), горючі гази тощо. Назви технологій та енергоресурсів, що представлені на рис. 9, відповідають позначенням, що використовуються в моделі "TIMES-Україна", в якій кожна технологія визначається своєю унікальною назвою, коротким описом, питомими частками вхідних і вихідних продуктів, а також залежно від групи технологій – набором специфічних параметрів для адекватного відображення її роботи. Повний перелік назв технологій та енергоресурсів наведено в Додатку 3. Для технологій видобування такими параметрами є обсяги запасів, річний видобуток, собівартість сировини за винятком витрат на паливно-мастильні матеріали (ПММ) тощо.

Розглянемо детальніше топологію моделі на прикладі процесу виробництва нафтопродуктів. Видобута однією з чотирьох технологій (MINOILRSVCL, MINOILRSVGL, MINOILRSVNL, MINOILRSVOL) сира нафта (OILRSV) є ресурсом резерву. Для підготовки видобутої сировини до транспортування сира нафта проходить процеси обезводнення, очищення і сепарації (SPRIOIL100), для чого використовуються енергоресурси сектора постачання – газ (SUPGAS), нафтопродукти (SUPRPP), електроенергія (SUPELC), вугілля (SUPCOA) тощо. Результатом процесу підготовки є готовий продукт для транспортування нафтопроводами (SPIPOIL100) – OILPIP. Аналогічно технології транспортування нафти використовують енергоресурси сектора постачання. Протранспортована нафта стає первинним енергоресурсом – OILCRD, який може бути експортований, наприклад, в Європейський Союз (технологія EXPOILCRDE) чи в інші країни світу (технологія EXPOILCRDW), або імпортований, наприклад, з Росії (технологія IMPOILCRDR).

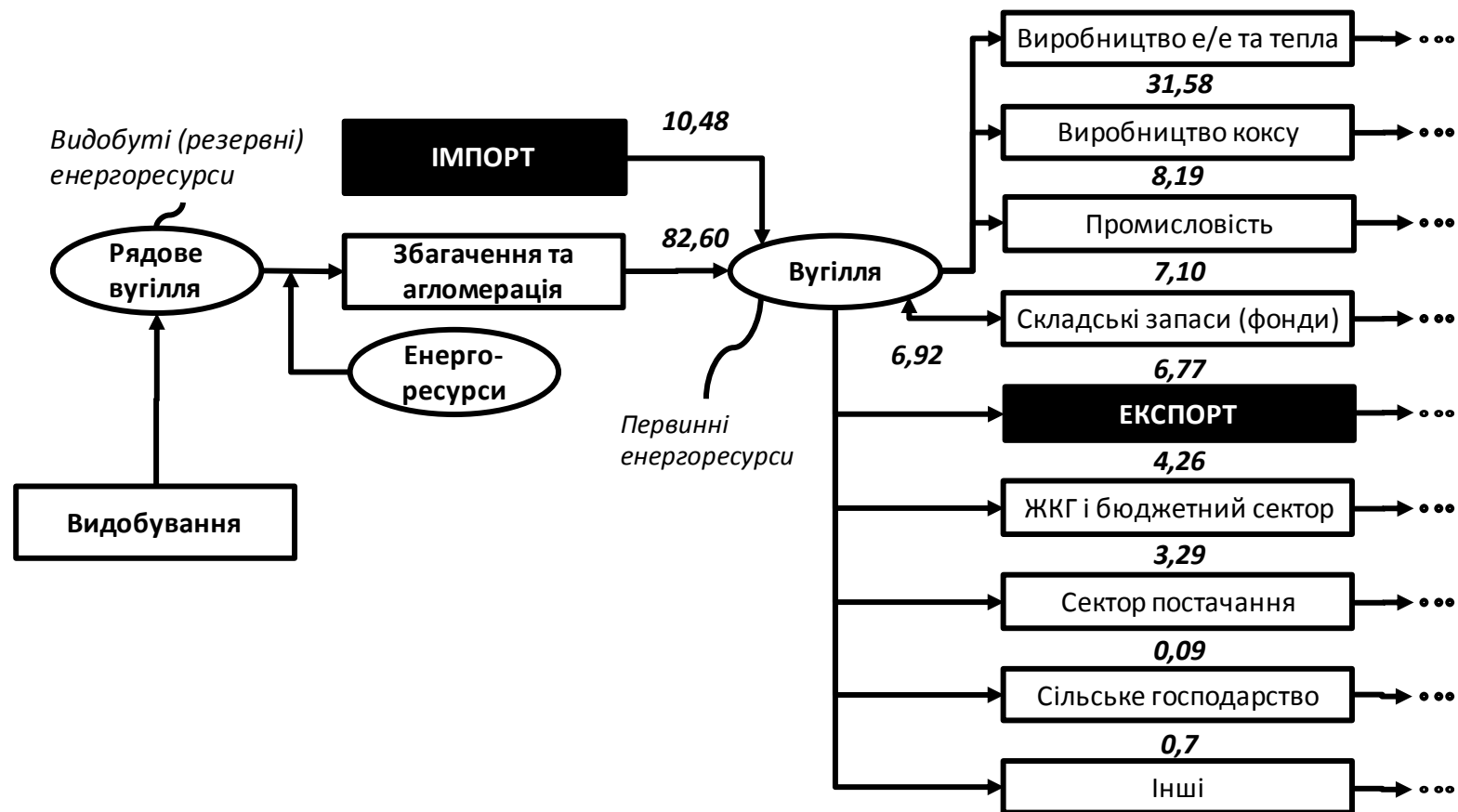


Рис. 8. Структура сектора виробництва вугільної продукції (2005 р.), %

Джерело: авторська розробка з використанням даних Державної служби статистики України і Міністерства енергетики та вугільної промисловості України.

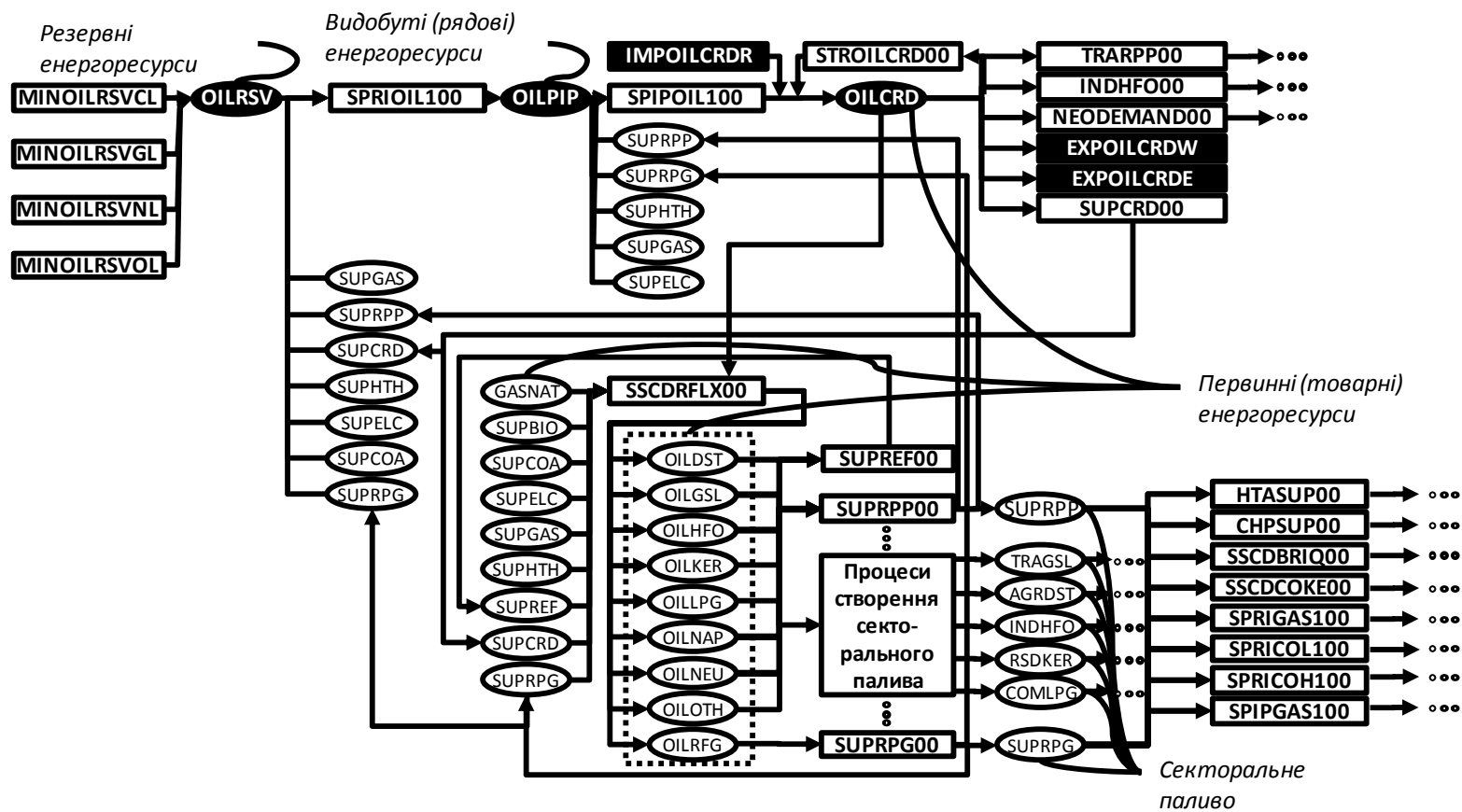


Рис. 9. Блок-схема процесу виробництва нафтопродуктів

Джерело: авторська розробка.

У моделі враховуються зміни фондів (або складських запасів), які представлені в секторі постачання у вигляді технологій, що фіксують наявні залишки на початку та кінці базового року (STROILCRD00) та визначають характер поповнення і використання цих запасів протягом прогнозного періоду.

Нафта як первинний енергоресурс у чистому вигляді надходить до різних секторів – транспорт (TRARPP00), промисловість (INDHFO00), неенергетичне споживання (NEODEMAND00) та той же сектор постачання (SUPCRD00), – де проходить трансформацію у секторальне паливо. Однак більша її частина спрямовується на нафтопереробку, яка представлена технологією SSCDRFLX00. Технологія SSCDRFLX00 також включає газопереробку, тому на вході у цього процесу, крім нафти (OILCRD) та секторальних палив (SUPCOA, SUPELC, SUPGAS тощо), є ще один первинний енергоресурс – природний газ (GASNAT).

Вихідними продуктами цієї технології є нафтопродукти: дизельне паливо (OILDST), бензин (OILGSL), гас (OILKER), мазут (OILHFO), скраплений нафтовий газ (OILLPG) тощо, які через відповідні технології перетворюються зі своєї "первинної" форми в секторальну і, зокрема, в нафтопродукти сектора постачання (SUPRPP та SUPRPG), що використовуються згаданими вище процесами очищення, підготовки, транспортування і переробки викопних видів енергоресурсів. Іншими видами секторальних нафтопродуктів, наприклад, є бензин, що використовується тільки в транспортному секторі (TRAGSL), дизпаливо, що використовується тільки сільським господарством (AGRDST), мазут, що використовується тільки промисловістю (INDHFO), гас, що використовується тільки населенням (RSDKER), скраплений нафтовий газ, що використовується тільки комерційним та бюджетним секторами (COMLPG) тощо.

Для дослідження потенціалу альтернативних видів палива в секторі постачання задані технології збору та переробки біомаси з масломістких, крохмаломістких, цукромістких рослин, соломи, деревини, відходів аграрного та деревообробного секторів, сільського та лісового господарств, міських та промислових відходів, чорного луку (рис. 10).

Однак, оскільки статистична інформація про виробництво згаданих видів біомаси (крім дров для опалення) і сировини, а також виробленого з цієї сировини палива не фіксувались органами державної статистики в 2005 р. або ці обсяги додавались до інших видів продукції, наразі параметри відповідних технологій оцінено за експертною інформацією. Кожна технологія постачання біомаси має лише один рівень вартості. Крім того, збирання соломи, відходів деревообробного сектора, сільського та лісового господарств взагалі не були оцінені і не використовуються в моделі. Неактивні технології та енергоресурси на рис. 10 позначені як незафарбовані об'єкти. У разі отримання відповідної інформації нові технології збирання чи переробки біомаси або нові види біопалива можуть бути легко додані в модель і досліджені нею.

Крім біомаси, в моделі також передбачена можливість дослідження потенціалу використання й інших відновлювальних джерел енергії, зокрема – гідроенергії, вітрової, геотермальної, сонячної енергії. Водночас офіційна статистична інформація щодо обсягів і потенціалу використання геотермальної енергії, а також технічних характеристик сонячних колекторів також відсутня. Тому в моделі зроблені експертні припущення щодо потенціалу цих джерел енергії і можливого його збільшення.

Виробництво палива для АЕС України представлено спрощеною технологією і не передбачає детального опису виробничого процесу, характеризується лише обсягами та вартістю поставок. У першу чергу це спричинено відсутністю офіційної статистики, яка необхідна для розширеного і глибокого вивчення цього питання.

Міжнародна торгівля за всією номенклатурою енергоресурсів та деякими видами промислової продукції представлена в моделі окремими процесами за регіонами – торгівля з країнами Європейського Союзу, Росією та іншими країнами світу.

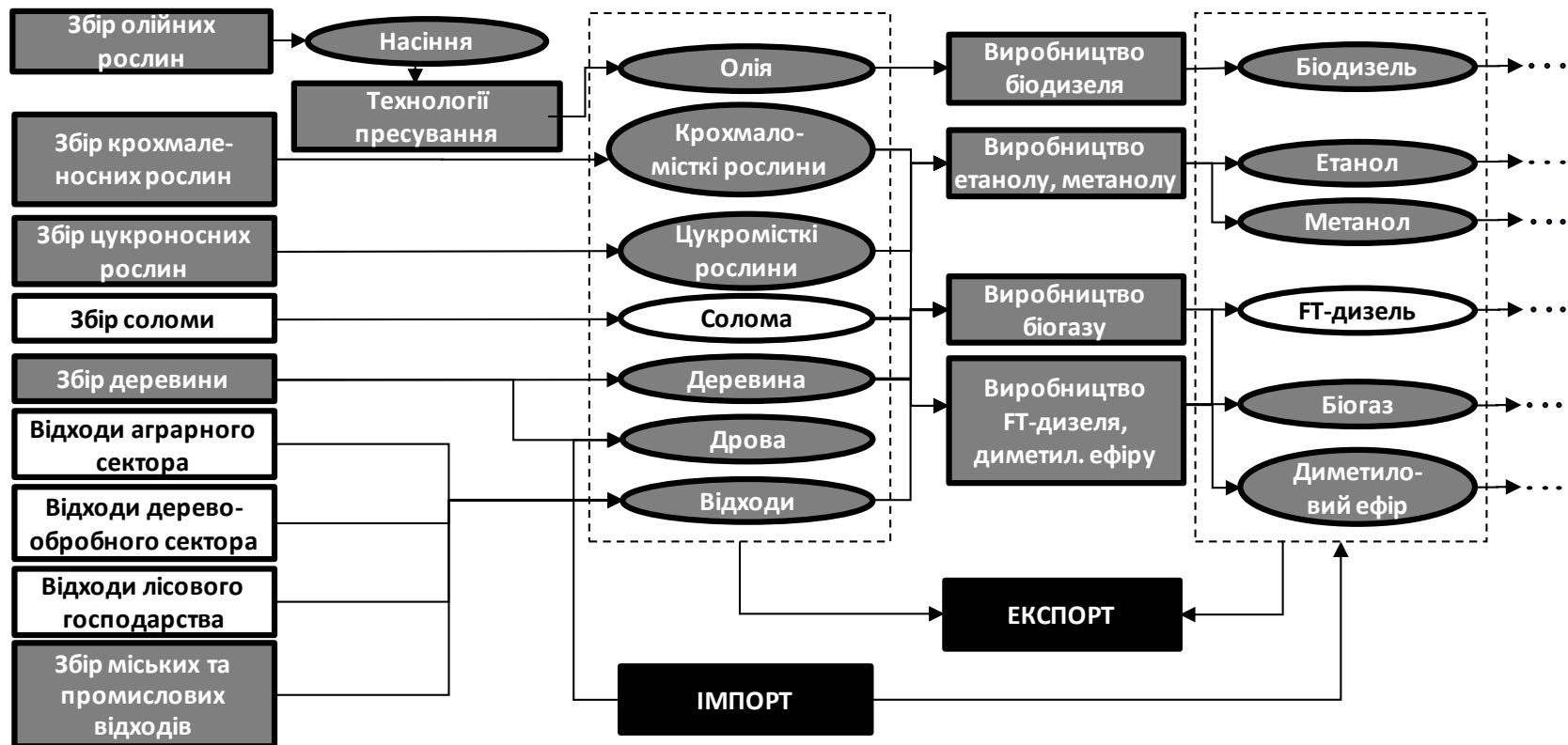


Рис. 10. Структура сектора виробництва біопалива

Джерело: авторська розробка.

Фактично, відповідно до схеми енергетичного балансу за формою МЕА, сектор постачання детально описує перший квадрант балансу (власне виробництво, імпорт, експорт, зміну запасів та втрати при транспортуванні) та другий квадрант (трансформацію) за винятком процесів виробництва електроенергії та тепла.

▣ Сектор виробництва і постачання електроенергії та тепла

В моделі сектор виробництва і постачання електроенергії та тепла розділений за категоріями станцій (рис. 11): електростанції загального користування (електростанції Мінпаливенерго) та автовиробники (виробництво електроенергії та тепла заводськими і відомчими електростанціями і котельнями переважно для власних потреб).

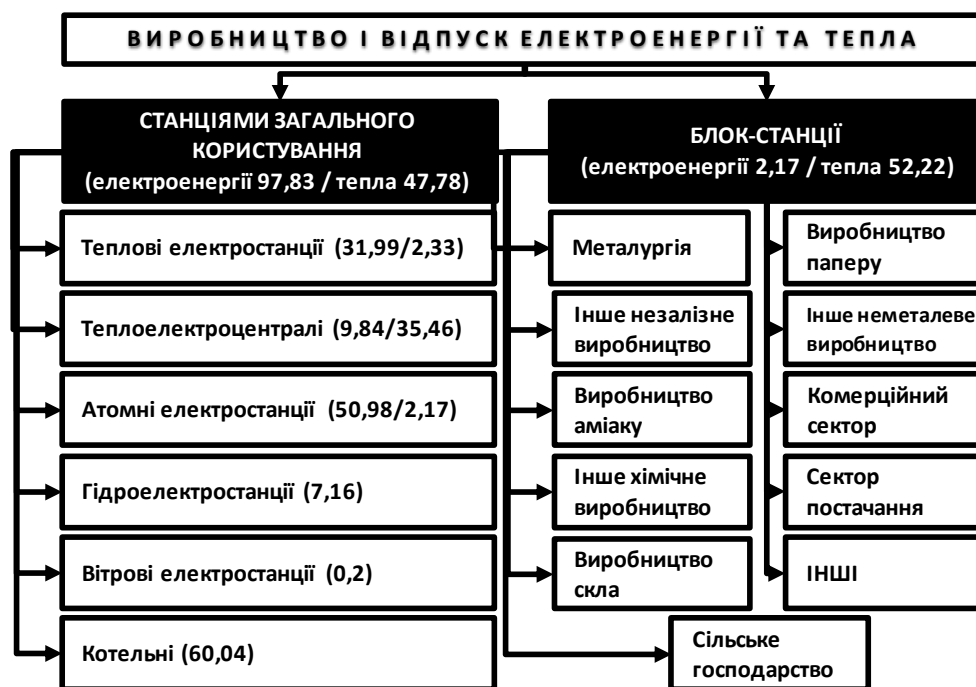


Рис. 11. Структура сектора виробництва і постачання електроенергії та тепла (2005 р.), %

Джерело: авторська розробка з використанням даних Державної служби статистики України і Міністерства енергетики та вугільної промисловості України.

Виробництво електроенергії станціями загального користування розділене 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 групами однотипних блоків великих теплових електростанцій (ТЕС), що згруповані за належністю до однієї з п'яти генеруючих компаній, а також атомних електростанцій (АЕС), великих і малих гідроелектростанцій (ГЕС), гідроакумулюючих електростанцій (ГАЕС), вітрових електростанцій (ВЕС).

В табл. 4 наведено структуру сектора виробництва і постачання електроенергії та тепла за станціями. Робота газомазутних енергоблоків потужністю 800 МВт Запорізької ТЕС та Вуглегірської ТЕС у 2005 р. була призупинена.

Кожна ТЕС, відповідно до кількості груп однотипних блоків, має опис набору технологій виробництва електроенергії, що характеризує: рік початку експлуатації кожного блоку, встановлену потужність, паспортні та реальні обсяги спожитого палива за їх видами, обсяги виробництва і відпуску електроенергії, коефіцієнт використання виробничих потужностей (КВВП), коефіцієнт готовності, ефективність (питоме споживання умовного палива) виробництва електроенергії і тепла, коефіцієнт покриття пікового навантаження, а також постійні та змінні витрати.

Загалом в моделі представлено 19 технологій за групами блоків ТЕС. Атомна генерація представлена у моделі технологіями, що відповідають шістьом працюючим енергоблокам на Запорізькій АЕС, трьом енергоблокам на Південноукраїнській АЕС, чотирьом енергоблокам на Рівненській АЕС та двом енергоблокам на Хмельницькій АЕС. Параметри технологій базових (АЕС та ВЕС) і маневрених (ГЕС, ГАЕС, ТЕС і ТЕЦ) потужностей задаються аналогічними показниками, що дозволяє оцінювати графік навантаження кожної станції відповідно до сезонної зміни попиту на електроенергію і тепло.

Таблиця 4

**Споживання палива, виробництво та відпуск
електроенергії та тепла електростанціями України у 2005 році, ПДж**

Назва енергопідприємств	Споживання							Відпуск	
	Вугілля	Газ	Мазут	Вугілля буре	Брикети торф'яні	Дрова	Електроенергія	Електроенергія	Тепло
ЕНЕРГОАТОМ								319,5	7,34
Запорізька АЕС									
Південноукраїнська АЕС									
Рівненська АЕС									
Хмельницька АЕС									
УКРГІДРОЕНЕРГО								44,88	
ВІТРОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ								0,13	
Криворізька ТЕС-282	39,1	8,8	0,2					15,6	0,40
Придніпровська ТЕС-150	20,0	5,0	0,3					7,1	1,51
Придніпровська ТЕС-285 (300)	17,1	4,2	0,2					6,1	1,23
Запорізька ТЕС-300	40,8	3,2	0,1					14,4	0,55
Запорізька ТЕС-800	-	-	-					-	-
Старобешівська ТЕС-172	61,2	9,6	0,2					15,2	0,32
Слов'янська ТЕС-800	28,2	2,3	0,1					8,3	0,49
Зуївська-2 ТЕС-300	48,3	0,5	0,0					16,7	0,12
Луганська ТЕС-175	41,4	1,3	0,0					13,8	0,36
Курахівська ТЕС-200 (210)	52,5	0,0	1,0					14,8	0,87
Ладизинська ТЕС-300	33,0	7,4	0,0					13,1	0,59

Назва енергопідприємств	Споживання							Відпуск	
	Вугілля	Газ	Мазут	Вугілля буре	Брикети торф'яні	Дрова	Електроенергія	Електроенергія	Тепло
Бурштинська ТЕС-195 (185)	63,0	35,4	0,2					28,3	0,46
Добротвірська ТЕС-150	10,0	2,0	0,0					3,8	0,11
Добротвірська ТЕС-90кгс/см ²	8,5	1,8	0,0					3,17	0,11
Вуглегірська ТЕС-300	34,1	3,1	0,0					12,2	0,62
Вуглегірська ТЕС-800	-	-	-					-	-
Трипільська ТЕС-300	27,1	11,5	0,0					11,6	0,43
Зміївська ТЕС-175	23,5	4,4	0,0					8,5	0,22
Зміївська ТЕС-275	21,7	3,9	0,0					7,8	0,21
Київська ТЕЦ-5	0,0	72,12	0,10					15,8	37,60
Київська ТЕЦ-6		50,2	0,0					10,6	26,47
Харківська ТЕЦ-5		27,6						8,6	7,78
Харківська ТЕЦ-2	1,0	2,2						0,7	0,22
Лисичанська ТЕЦ		4,0	0,0					0,04	2,97
Сєверодонецька ТЕЦ		8,4	0,0					1,4	3,06
Одеська ТЕЦ		2,9						0,2	2,33
Миколаївська ТЕЦ		2,3						0,3	1,57
Херсонська ТЕЦ		3,3	0,0					0,6	2,16
Дніпродзержинська ТЕЦ		3,9						0,5	2,32
Зуївська ТЕЦ		0,6						0,07	0,28
Полтаваобленерго ТЕЦ		15,3						3,73	7,55
Вінницькі теплові мережі		2,0						0,06	1,67
ТОВ "КримТЕЦ"		8,3						1,78	1,95
Миронівська ТЕЦ		1,7						0,14	0,32
ІНШІ ТЕЦ	20,5	21,0	0,2					17,2	21,86
КОТЕЛЬНІ	1,0	299,7	1,0	0,16	0,01	0,05	6,1		203,31
ТЕПЛОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	591,0	330,2	2,9					262,2	120,1
УСЬОГО	592,0	629,90	3,88	0,16	0,01	0,05	15,6	640,7	708,7
Супутний попит								0,0	11,4

Джерело: розраховано за даними Міністерства енергетики і вугільної промисловості України.

Когенераційний сектор станцій загального користування представлений теплофікаційними технологіями окремо за п'ятнадцятьма найбільшими теплоелектроцентралями та умовною технологією виробництва енергії, що відповідає решті ТЕЦ. Когенераційні технології описуються такими ж показниками, що й технології ТЕС, а також додатково коефіцієнтом теплофікації і відношенням витраченої електроенергії на одиницю відпущеного тепла.

Технології відпуску тепла котельнями згруповані за видами спожитого палива (вугілля, лігніт, мазут, газ, дрова, електроенергія) та рівнем встановленої потужності відповідно до

звітності Держкомстату (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, постійними та змінними витратами.

Автовиробництво електроенергії та тепла задається відповідними групами технологій для кожного сектора і окремо для енергомістких галузей промисловості. Когенераційне автовиробництво електроенергії включає в себе 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 для 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 перетоки електроенергії і тепла між галузевими автовиробниками і сектором постачання. Загалом, структура енергетичних потоків сектора виробництва і постачання електроенергії та тепла представлена на рис. 12.

Електроенергія розділена в моделі за класами напруги: висока (ВН, 220-750 кВ), середня (СН, 0.38-154 кВ) та низька (НН, до 380 В). Електроенергію високої напруги виробляють станції загального користування та автовиробники в промисловості і в секторі постачання. Частину електроенергії середньої напруги виробляють автовиробники в комерційному секторі та сільському господарстві, решта отримується з високовольтної за допомогою технологій трансформаторних установок. Аналогічно відбувається процес перетворення середньовольтної напруги в низьковольтну.

Як показано на рис. 12, імпортується і експортується електроенергія тільки високої напруги; промисловість і транспорт споживають електроенергію всіх трьох класів напруги; у секторі постачання споживається електроенергія середньої та високої напруги; населення, комерційний, бюджетний сектори, сільське господарство використовують електроенергію середньої та низької напруги.

▣ Промисловість

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

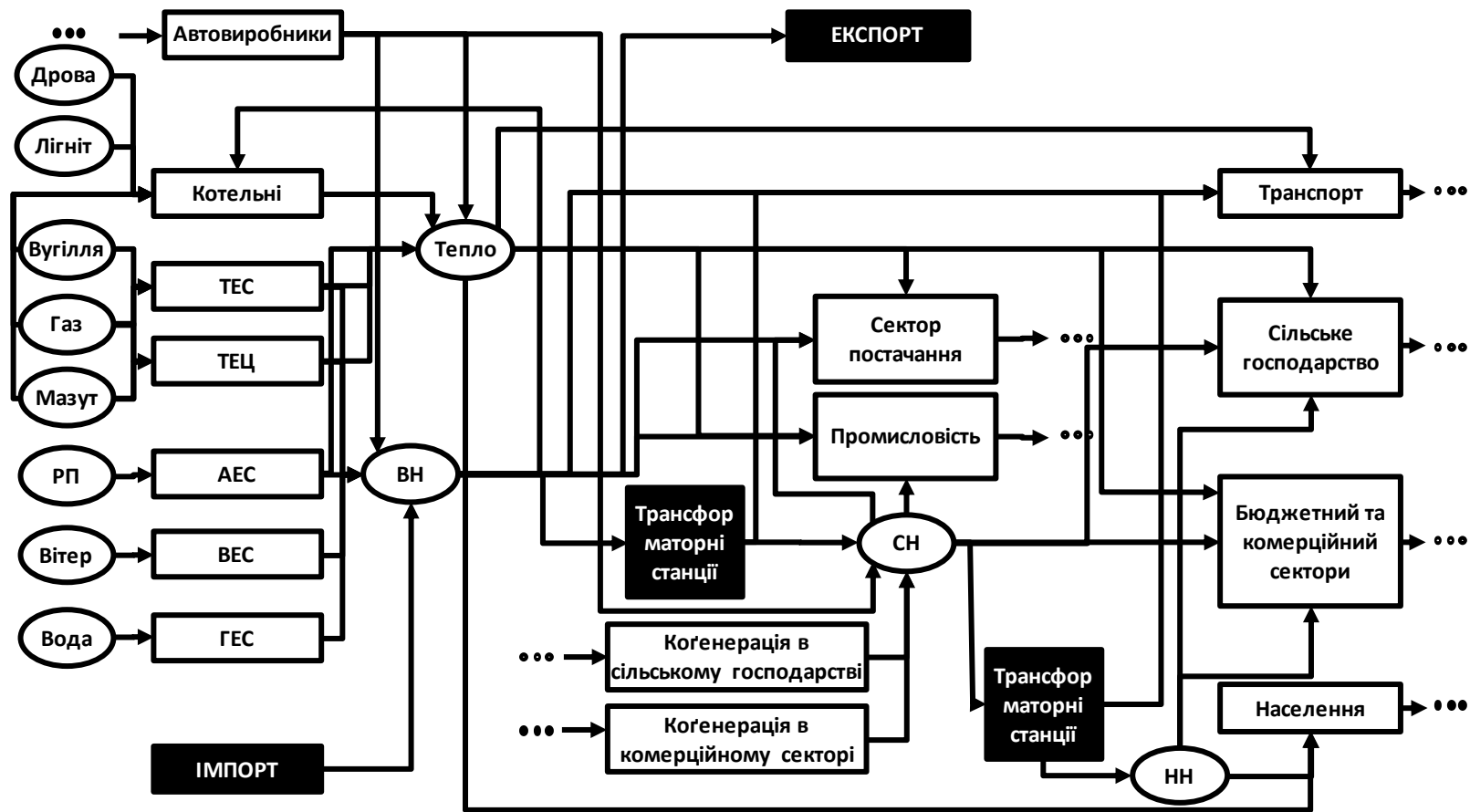


Рис. 12. Структура сектора виробництва і постачання електроенергії та тепла

У попередньому розділі вже було описано структуру *металургійної галузі* (рис. 6). Крім того, було визначено, що потребою металургії є виробництво еквіваленту необробленої сталі. Оскільки процес виробництва сталі представлено в моделі повним технологічним ланцюгом, розглянемо тепер структуру енергетичних та матеріальних потоків (рис. 13) цього процесу:

Процес видобування залізної руди (MISORE) представлений технологією MINMISORE1. Руда надходить на збагачувальні фабрики (IISCONCEN00), де з неї виробляють залізорудний концентрат (MISCNC). Використання концентрату в моделі передбачене в доменному виробництві (IISRIRBLF00) для виплавки чавуну (MISRIR), а також при виплавці сталі мартенівським способом (IISCSTMRT00). Супутніми продуктами виробництва чавуну є доменний газ (GASBFG), який після умовної трансформації у паливо промислового сектора (INDBFG) споживається на інших етапах металургійного виробництва, а також доменний шлак (MISBFS), що є сировиною для виробництва цементу.

Окрім мартенівського способу, сталь також виплавляється в киснево-конверторних (IISCSTBOF00) та електродугових (IISCSTEAF00) печах. Шихта для виплавки сталі мартенівським і киснево-конверторним способом, окрім залізорудного концентрату і коксу, також включає вапно (MISQLI), вироблене в цьому випадку як показано на рис. 13 підприємствами, що за основним видом економічної діяльності за КВЕД відносять до металургійного виробництва (код 27) (технологія IISMISQLI00). Проте в моделі передбачені й інші джерела постачання вапна, зокрема вапно, вироблене підприємствами, що за основним видом економічної діяльності за КВЕД відносять до галузі виробництва вапна (код 26.52), а також три альтернативні джерела імпорту з країн ЄС, Росії та інших країн світу.

Ще двома матеріальними ресурсами, котрі використовують всі технології виплавки сталі, є кисень (MISOXY) та брухт чорних металів (MISSCR), які виробляються спеціальними технологіями IISMISOXY00 і MINMISSCR1 відповідно. Технологія постачання металобрухту в моделі є умовною, тому що, по-перше, вона не розглядає безпосередньо процес утворення брухту та відходів чорних металів, який є достатньо тривалим, і, по-друге, не визначається кон'юнктурою ринку металобрухту.

У реальному виробництві необроблена сталь у вигляді різних первинних форм спрямовується або на виготовлення готової сталевих продукції (дріт, арматура, прокат), або на експорт. Великий асортимент виробів зі сталі робить важким, і навіть недоцільним моделювання технологічного ланцюга виготовлення кожного виду продукції. Натомість у моделі використаний дещо спрощений, проте методологічно виправданий підхід: необроблена сталь (MISCST), вироблена трьома технологіями, передається до умовної технології кінцевої обробки сталі (IISFINPRD00), яка виробляє умовний кінцевий продукт "еквівалент необробленої сталі" (IIS). Метою включення останнього умовного процесу є врахування обсягів енергії і палива, що використовуються для виробництва всієї готової продукції металургії (насамперед, це електроенергія для прокатного стану). Еквівалент необробленої сталі, що є енергетичним попитом металургії, розраховується у натуральних обсягах (тоннах) первинних форм сталі, може бути відповідно оцінений з огляду на ціну та кон'юнктуру ринку, проте питоме споживання енергії на його виготовлення включатиме загальні обсяги енергії, використані для виробництва всієї готової продукції металургії в країні.

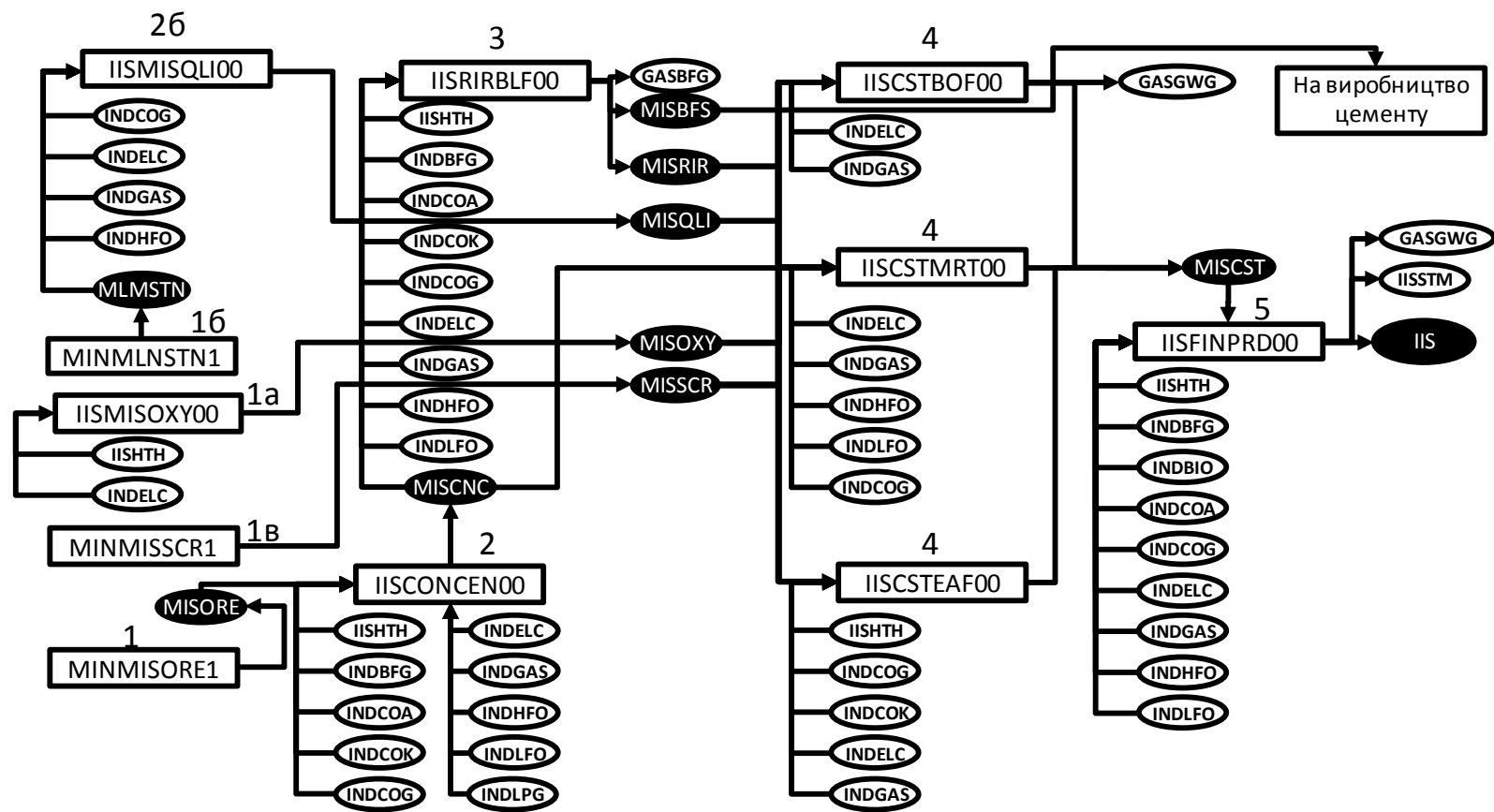


Рис. 13. Блок-схема процесу виробництва сталі

На рис. 13 наведено також набір енергоресурсів, що використовуються кожним із розглянутих виробничих процесів. Джерелами інформації щодо споживання енергії і палива були форми державних статистичних спостережень №4-мтп "Звіт про залишки і використання енергетичних матеріалів та продуктів перероблення нафти" і №11-мтп "Звіт про результати використання палива, теплоенергії та електроенергії". Так, питоме споживання енергії і палива для виробництва проміжної продукції (концентрат, чавун) були взяті з форми №11-мтп. Обсяги енергоресурсів для умовної технології кінцевої обробки сталі розраховувалися як різниця між кінцевим споживанням енергії і палива підприємствами чорної металургії (коди за КВЕД 27.1, 27.2, 27.3, 27.51 і 27.52) на виробництво промислової продукції (форма №4-мтп, розділ 4, графа 3) за винятком обсягів енергії і палива, спожитих цієї категорією споживачів для виробництва "непрофільної" промислової продукції (оцінювалися авторами за формою №11-мтп) і обсягами енергії і палива, спожитих для виробництва проміжної продукції металургії. Перелік джерел інформації для кожного виробничого процесу наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Джерела інформації щодо виробництва сталі*

Загальне споживання енергії і палива	Код за КВЕД	Джерело
Виробництво чавуну, сталі та феросплавів	27.1	Форма №4-мтп, роз. 4, гр. 3
Виробництво труб	27.2	Форма №4-мтп, роз. 4, гр. 3
Інші види первинного оброблення сталі	27.3	Форма №4-мтп, роз. 4, гр. 3
Лиття чавуну	27.51	Форма №4-мтп, роз. 4, гр. 3
Лиття сталі	27.52	Форма №4-мтп, роз. 4, гр. 3
Питоме споживання енергії і палива	Код за НПП	Джерело
Руди і концентрати залізни неагломеровані	13.10.10.300	Форма №11-мтп, № рядка 6320
Концентрати залізорудні агломеровані	13.10.10.520	Форма №11-мтп, № рядка 6350
Вапняк для виготовлення вапна та цементу	14.12.10.550	Форма №1П-НПП
Кисень	24.11.11.700	Форма №11-мтп, № рядка 6380
Вапно	26.52.10	Форма №11-мтп, № рядка 8002
Чавун переробний у чушках, болванках або у формах первинних інших	27.10.11.100	Форма №11-мтп, № рядка 6410
Чавун ливарний у чушках, болванках або у формах первинних інших	27.10.11.200	Форма №11-мтп, № рядка 6411
Шлак, дрос, окалина та відходи від виробництва чорних металів, інші	27.10.13.100	Форма №14-мтп
Відходи і брухт чорних металів, зливки шихтові	27.10.13.210	Форма №14-мтп
Сталь вуглецева мартенівська для лиття	27.10.31.051	Форма №11-мтп, № рядка 6420
Зливки із сталі мартенівської вуглецевої	27.10.31.101	Форма №11-мтп, № рядка 6421
Сталь вуглецева киснево-конвертерна для лиття	27.10.31.052	Форма №11-мтп, № рядка 6440
Зливки із сталі киснево-конвертерної вуглецевої	27.10.31.102	Форма №11-мтп, № рядка 6441
Електросталь вуглецева для лиття	27.10.31.053	Форма №11-мтп, № рядка 6450
Зливки із електросталі вуглецевої	27.10.31.103	Форма №11-мтп, № рядка 6451

* В цій та наступних таблицях жирним виділено продукцію, виробництво якої формує енергетичний попит сектора. В цьому випадку за первинними формами сталі оцінюється умовний продукт "еквівалент необробленої сталі". Курсивом виділено матеріали, на виробництво (утворення) яких споживання енергії окремо не розраховується, а додається до загального споживання галузю.

Джерело: побудовано за даними Державної служби статистики України.

В інших галузях використовувався аналогічний принцип формування структури матеріальних та енергетичних потоків, тому розглянемо їх без детального опису.

Галузь виробництва *цементу* (рис. 14) включає процеси вироблення цементних клінкерів (MCMCLK) та безпосередньо самого цементу, різні види якого (глиноземний, портлендський та ін.) об'єднані в один продукт (ICM). Через відсутність достовірної інформації в моделі не були представлені способи виробництва цементу (сухий, мокрий тощо), що, з огляду на різну енергомісткість цих технологій, було б доречним. Енергетичний попит (виробництво цементу) розраховується в тоннах цементу (табл. 6).

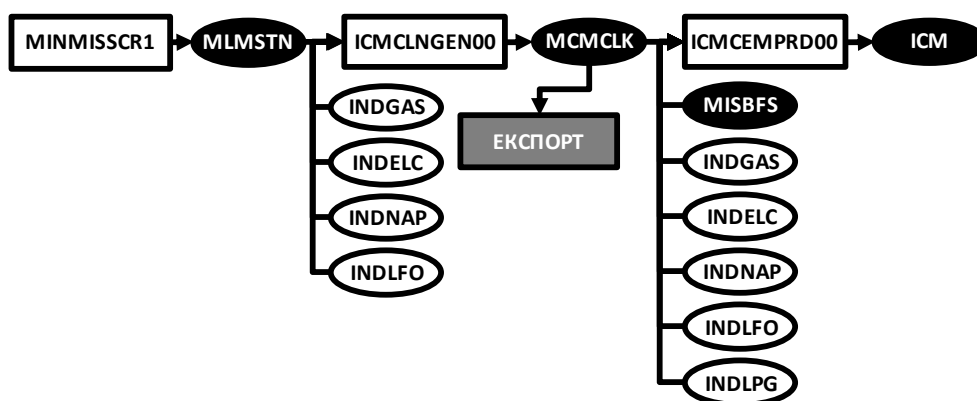


Рис. 14. Блок-схема процесу виробництва цементу

Джерело: авторська розробка.

Таблиця 6

Джерела інформації щодо виробництва цементу

Загальне споживання енергії і палива	Код за КВЕД	Джерело
Виробництво цементу	26.51	Форма №4-мтп, роз. 4, гр. 3
Питоме споживання енергії і палива	Код за НПП	Джерело
Вапняк для виготовлення вапна та цементу	14.12.10.550	Форма №1П-НПП
Портландцемент, цемент глиноземний, шлаковий безклінкерний та аналогічні гідрравлічні цементи	26.51.12	Форма №11-мтп, № рядка 8000
Клінкери цементні	26.51.11.000	Форма №11-мтп, № рядка 8001
Шлак, дрос, окалина та інші відходи виробництва чорних металів	27.10.13.100	Форма №14-мтп

Джерело: побудовано за даними Державної служби статистики України.

Виробництво скла представлено у два етапи (рис. 15). Спершу дві умовні технології виготовляють еквівалент листового скла (MGLIGF) (що включає скло виліване, прокатне, видувне, тягнуте тощо) і еквівалент виливного скла (MGLIGH) (що включає банки для консервування, ємності для напоїв та харчових продуктів, транспортування чи пакування товарів тощо). На другому етапі ще одна умовна технологія виготовляє кінцевий продукт, яким є загальний еквівалент скла (IGL), споживаючи вироблену перед цим умовну продукцію, а також енергоресурси, не використані на першому етапі виробництва.

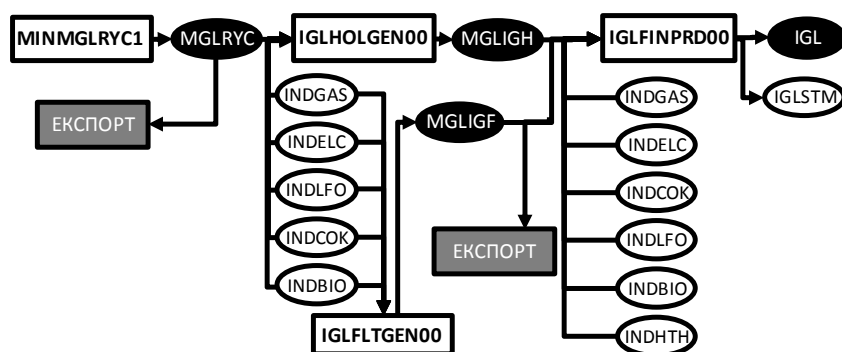


Рис. 15. Блок-схема процесу виробництва скла

Джерело: авторська розробка.

Єдиною неенергетичною сировиною для виробництва скла, що врахована в моделі, є склобій (MGLRYC). Енергетичний попит (виробництво еквіваленту скла) розраховується в тоннах скла і виробів зі скла, номенклатура яких наведена в табл. 7.

Таблиця 7

Джерела інформації щодо виробництва скла

Загальне споживання енергії і палива	Код за КВЕД	Джерело
Виробництво скла та виробів зі скла	26.1	Форма №4-мтп, роз. 4, гр. 3
Питоме споживання енергії і палива	Код за НПП	Джерело
Скло вилане, прокатне, видувне чи тягнуте, листове чи профільоване, не оброблене іншим способом	26.11.11	Форма №11-мтп, № рядка 8330
Скло-флоат і скло з шліфованою або полірованою поверхнею в листах, не оброблене іншим способом	26.11.12	Форма №11-мтп, № рядка 8331
Банки для консервування, пробки, кришки і вироби аналогічні скляні	26.13.11.100	Форма №11-мтп, № рядка 8242
Ємності для напоїв та харчових продуктів	26.13.11.500	Форма №11-мтп, № рядка 8243
Ємності із скла для транспортування чи пакування фармацевтичної продукції (крім ампул), місткістю до 0,33 л	26.13.11.700	Форма №11-мтп, № рядка 8244
Ємності для транспортування чи пакування інших товарів, із скла	26.13.11.900	Форма №11-мтп, № рядка 8245
Склобій покупний		Форма №14-мтп, № рядка 006

Джерело: побудовано за даними Державної служби статистики України.

Процес виробництва вапна (ILM) у галузі виробництва неметалевої мінеральної продукції ідентичний до технології вироблення вапна в металургії (рис. 16). У цьому випадку вапно виготовляється технологією ILMQLMPRD00 з вапняку (MLMSTN), процес виробництва якого представлений в секторі постачання. Структура матеріальних потоків не є складною, а представлення в моделі двох подібних технологій дозволяє коректніше відобразити формування галузевих енергопотоків, що впливає на оцінку ціни промислової продукції та вартість пов'язаних з нею енергетичних послуг. Енергетичний попит (виробництво вапна) розраховується в тоннах вапна, виготовленого неметалургійними підприємствами (табл. 8).

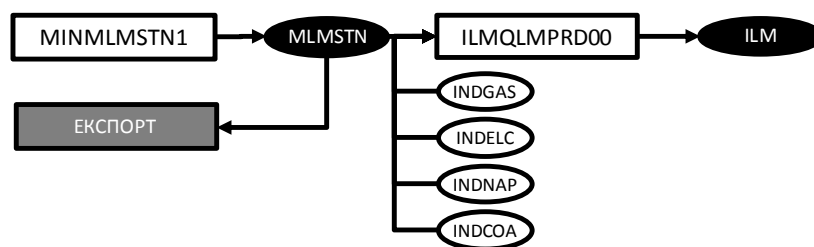


Рис. 16. Блок-схема процесу виробництва вапна

Джерело: авторська розробка.

Таблиця 8

Джерела інформації щодо виробництва вапна

Загальне споживання енергії і палива	Код за КВЕД	Джерело
Виробництво вапна	26.52	Форма №4-мтп, роз. 4, гр. 3
Питоме споживання енергії і палива	Код за НПП	Джерело
Вапно	26.52.10	Форма №11-мтп, № рядка 8002
Вапняк для виготовлення вапна та цементу	14.12.10.550	Форма №1П-НПП

Джерело: побудовано за даними Державної служби статистики України.

Сировиною для виготовлення паперу є макулатура (MPPRYC), каолін (MPPKAO), гіпс (MPPGYP), а також напівцелюлоза чи целюлоза (MPPUP), технологія виробництва якої з деревної маси (MPPWOO) включена до моделі (рис. 17). Безпосередньо сам процес виготовлення паперу (MPPAP) включає виробництво паперу газетного у рулонах чи аркушах та паперу, чи картону крейдованого для писання, друкування тощо. Готовий папір надходить до умовної технології виробництва паперової продукції (еквіваленту паперу) (IPP), що є енергетичним попитом галузі і розраховується в тоннах паперу та картону, номенклатура яких наведена в табл. 9.

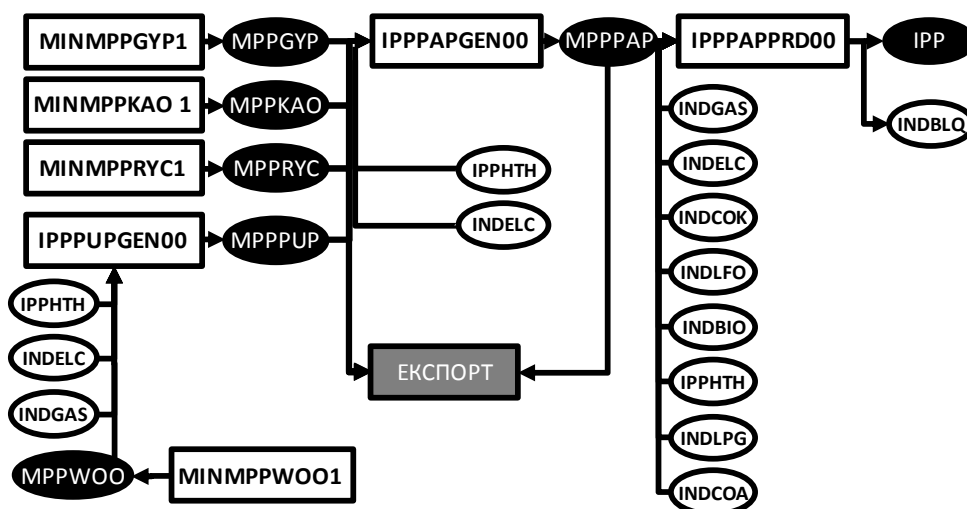


Рис. 17. Блок-схема процесу виробництва паперу

Джерело: авторська розробка.

Таблиця 9

Джерела інформації щодо виробництва паперу

Загальне споживання енергії і палива	Код за КВЕД	Джерело
Виробництво паперової маси, паперу, картону та виробів з них (картон)	21	Форма №4-мтп, роз. 4, гр. 3
Видавнича та поліграфічна діяльність, тиражування записаних носіїв інформації	22	Форма №4-мтп, роз. 4, гр. 3
Питоме споживання енергії і палива	Код за НПП	Джерело
Гіпс	14.12.10.310	Форма №1П-НПП
Каолін	14.22.11.400	Форма №1П-НПП
Маса деревна, одержана механічним способом; напівцелюлоза; целюлоза з інших волокнистих матеріалів (крім деревини)	21.11.14	Форма №11-мтп, № рядка 7960
Целюлоза з деревини або інших волокнистих матеріалів	21.11.11.000	Форма №11-мтп, № рядка 7970
Папір газетний, у рулонах чи аркушах	21.12.11.000	Форма №11-мтп, № рядка 7980
Папір та картон крейдовані для писання, друкування, графічних робіт з покриттям каоліном чи іншими неорганічними речовинами	21.12.53	Форма №11-мтп, № рядка 7990
Відходи паперу та картону	21.12.60	Форма №14-мтп, № рядка 001

Джерело: побудовано за даними Державної служби статистики України.

Виробництво синтетичного аміаку (NH_3) виділено в моделі в окремий процес, оскільки на його виробництво витрачаються значні обсяги природного газу та електроенергії (рис. 18). У свою чергу, аміак є сировиною для хімічної промисловості, переважно для виробництва мінеральних добрив. Тому остання в ланцюгу умовна технологія використовує аміак для виробництва аміачної продукції, за обсягами якої оцінюється загальне споживання енергії у цьому виробництві. Проте сам енергетичний попит (еквівалент синтетичного аміаку) розраховується в натуральних обсягах не кінцевої продукції (азотна кислота, селітра тощо), а саме в тоннах аміаку. Номенклатура аміачної продукції наведена в табл. 10.

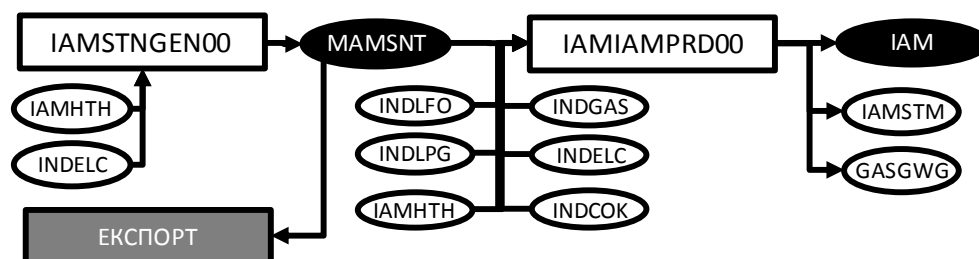


Рис. 18. Блок-схема процесу виробництва аміаку

Джерело: авторська розробка.

На рис. 19 представлено процес виробництва алюмінію (IAL), сировиною для якого є оксид алюмінію (глинозем) (MALCRD) і алюмінієвий брухт (MALSCR). Оксид алюмінію, у свою чергу, виробляють з алюмінієвої руди (бокситів) (MALBAU). Як і при виробництві сталі, алюмінієвий брухт розглядається в моделі як окремий вид сировини і не залежить,

Таблиця 10

Джерела інформації щодо виробництва аміаку

Загальне споживання енергії і палива	Код за КВЕД	Джерело
Виробництво добрив та азотних сполук	24.15	Форма №4-мтп, роз. 4, гр. 3
Питоме споживання енергії і палива	Код за НПП	Джерело
Аміак синтетичний	24.15.10.751	Форма №11-мтп, № рядка 7180
Кислота азотна, кислоти сульфазотні (суміші кислот азотної та сірчаної)	24.15.10.500	Форма №11-мтп, № рядка 7631
Нітрати калію (селітра)	24.15.20.500	Форма №11-мтп, рядка 7390
Добрива азотні мінеральні чи хімічні	24.15.30	Форма №11-мтп, № рядка 7350
Сечовина	24.15.30.100	Форма №11-мтп, № рядка 7380

Джерело: побудовано за даними Державної служби статистики України.

наприклад, від попередніх обсягів виробництва самого алюмінію. Енергетичний попит (еквівалент "необробленого" алюмінію) розраховується в тоннах алюмінію (табл. 11).

Для решти галузей структура енергетичних попитів є однаковою: електромеханічний привод, електрохімічний процес, термічний процес та інші процеси, що не входять до перелічених (рис. 20). З огляду на природу цих потреб, їх розрахунок проводиться не за виробленою кінцевою продукцією, а за кількістю отриманої корисної енергії (наприклад, у джоулях). У моделі "TIMES-Україна" на вказані чотири групи процесів припадає 30,26% усього споживання енергоресурсів у промисловості.

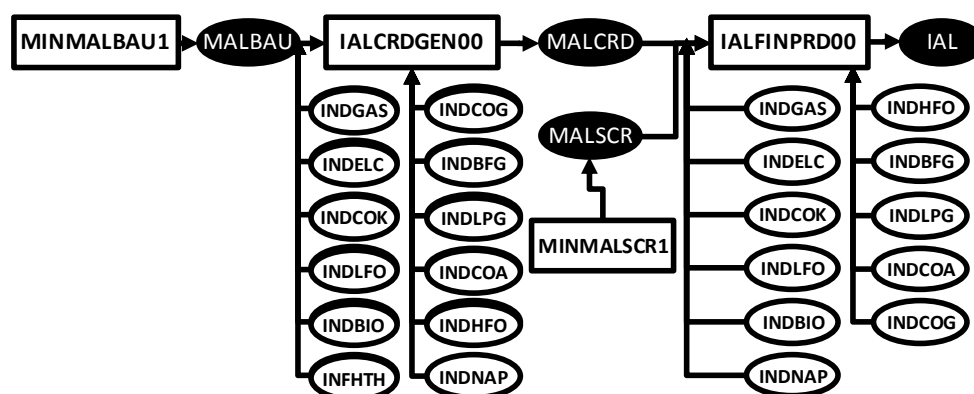


Рис. 19. Блок-схема процесу виробництва алюмінію

Джерело: авторська розробка.

Таблиця 11

Джерела інформації щодо виробництва алюмінію

Загальне споживання енергії і палива	Код за КВЕД	Джерело
Виробництво алюмінію	27.42	Форма №4-мтп, роз. 4, гр. 3
Лиття легких кольорових металів	27.53	Форма №4-мтп, роз. 4, гр. 3
Питоме споживання енергії і палива	Код за НПП	Джерело
Оксид алюмінію (глинозем), крім корунду штучного	27.42.12.000	Форма №11-мтп, № рядка 6780
Алюміній необроблений	27.42.11	Форма №11-мтп, № рядка 6850
Руди алюмінієві	13.20.13.100	Форма №1П-НПП
Відходи і брухт алюмінію; зола і залишки, які містять, головним чином, алюміній	27.42.30	Форма №14-мтп, № рядка 071

Джерело: побудовано за даними Державної служби статистики України.

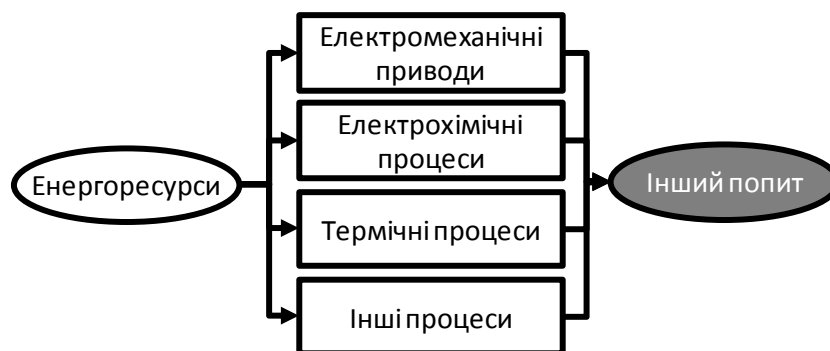


Рис. 20. Структура інших енергетичних попитів

Джерело: авторська розробка.

Як уже згадувалося, для оцінки енерговитрат у розглянутих технологічних процесах бралось до уваги лише кінцеве споживання енергії і палива на виробництво промислової продукції (форма №4-мтп, розділ 4, графа 3) за винятком енергії і палива, спожитих для виробництва "непрофільної" або супутньої промислової продукції. "Профільність" промислової продукції оцінювалася з огляду на технологічну карту виробництва продукції окремої галузі. Так, враховуючи, що вапно (НПП 26.52.10, продукція галузі виробництва неметалевої мінеральної продукції) є складовою шихти для виплавки сталі, можна припустити, що на окремих металургійних заводах є спеціальні виробництва для виготовлення вапна. Енергія і паливо, витрачені на виготовлення вапна на цих заводах, цілком виправдано можуть розглядатися як такі, що спожиті для потреб металургії (табл. 12).

Таблиця 12

Виробництво "непрофільної" продукції підприємствами металургії

Продукція	Код за НПП	Вид діяльності	Код за КВЕД	Виробництво	Частка, %
Кокс з вугілля кам'яного, отриманий шляхом карбонізації при високій температурі вугілля коксівного, тис. т	23.10.10.310	Виробництво коксу, продуктів нафтоперероблення та ядерних матеріалів	23	16 128,4	85,45
		Металургійне виробництво	27	2 661,7	14,10
		Інші галузі		85,3	0,45
Кисень, тис. куб. м	24.11.11.700	Хімічне виробництво	24	2 713,7	53,40
		Металургійне виробництво	27	2 276,9	44,80
		Інші галузі		91,5	1,80
Вапно, тис. т	26.52.10	Виробництво іншої неметалевої мінеральної продукції	26	425,4	9,75
		Металургійне виробництво	27	2 630,3	60,27
		Інші галузі		1 308,8	29,99

Джерело: побудовано за даними Державної служби статистики України.

Між тим асортимент продукції підприємств, що за основним видом економічної діяльності за КВЕД відносяться до металургії, може включати продукцію, ніяк не пов'язану зі сталепрокатним виробництвом (наприклад, меблі або продукти харчування). За наявності інформації, обсяги енергії для виготовлення такої продукції включалися не до розрахунку основного енергетичного попиту, а до так званого "супутнього" енерге-

тичного попиту галузі. Крім того, до супутнього попиту також були включені енерговитрати на інші статті кінцевого споживання – сільськогосподарські роботи, будівництво, торговельну діяльність тощо (форма №4-мтп, розділ 4, графи 4–8).

За нашими оцінками, частка супутнього енергетичного попиту у структурі кінцевого енергоспоживання промисловості становила близько 15%. У натуральних значеннях ці обсяги зіставні із загальним споживанням енергії Литви, Латвії та Естонії разом узятих. На рис. 21 показано частку супутнього енергетичного попиту за галузями.

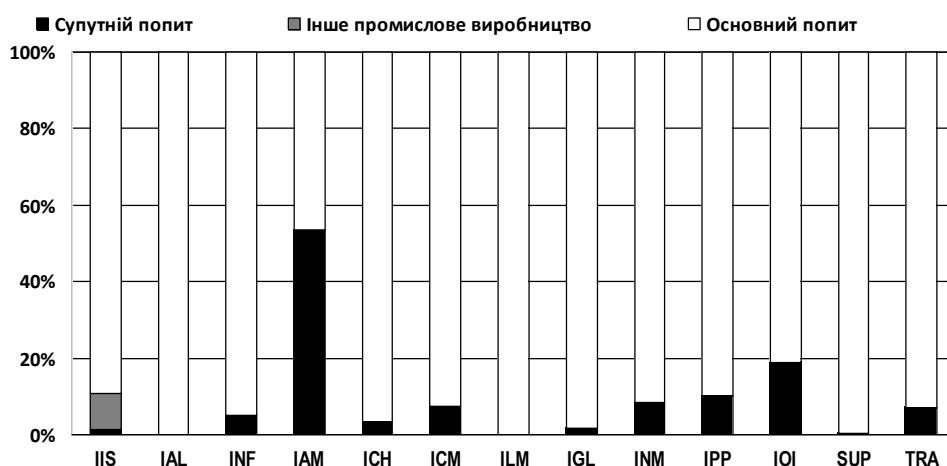


Рис. 21. Основний та супутній (умовний) енергетичний попит у промисловості⁷

Джерело: побудовано за даними Державної служби статистики України.

Сам по собі факт виробництва галузевими підприємствами непрофільної промислової продукції не є критичним, оскільки він ніяк не позначається на точності звітної статистичної інформації щодо використання енергії. В табл. 13 для порівняння наведено обсяги кінцевого споживання енергоресурсів в промисловості в 2005 р. за даними МЕА та даними, опрацьованими авторами в моделі "TIMES-Україна".

Невелика різниця між значеннями у перших двох рядках табл. 13 свідчить, що авторам у цілому вдалося дотриматися рекомендацій МЕА щодо опрацювання статистики енергетики для складання звітного енергетичного балансу України. Для складання ж прогностичного енергетичного балансу необхідність виділення супутнього енергетичного попиту є очевидною, оскільки інакше сформульовані математичні залежності для оцінки попиту на енергоресурси були б некоректними для 24% обсягів споживання вугілля, 72% обсягів споживання нафтопродуктів тощо.

⁷ Де: IIS — металургійне виробництво; IAL — виробництво кольорових металів; INF — виробництво незалізної продукції; ICH — Хімічне виробництво; ICM — виробництво цементу; ILM — виробництво вапна; IGL — виробництво скляної продукції; INM — виробництво неметалевої мінеральної продукції; IPP — виробництво паперової продукції; IOI — інше промислове виробництво; SUP — сектор постачання; TRA — транспортний сектор.

Таблиця 13

Кінцеве споживання енергії в промисловості в 2005 р., тис. т н.е.

Джерело	Вугілля	Нафто-продукти	Природ-ний газ	Електро-енергія	Тепло	УСЬОГО
Енергетичний баланс України, МЕА	8 132,0	1 409,0	11 055,0	5 651,0	6 759,0	33 006,0
Модель "TIMES-Україна"	8 339,5	1 859,1	11 176,9	5 516,8	6 422,4	33 374,6
у тому числі:						
основний енергетичний попит	6 392,8	519,4	10 170,4	4 841,6	5 724,5	27 648,6
супутній енергетичний попит	2 006,7	1 339,7	1 006,5	675,2	697,9	5 726,0

Джерело: побудовано за даними Міжнародного енергетичного агентства і власними розрахунками.

Повний перелік енергетичних попитів у промисловості наведено в табл. 14.

Таблиця 14

Види енергетичного попиту в галузях промисловості

Вид процесу	Одиниця виміру попиту	Чим задається попит
Виробництво еквіваленту необробленої сталі	тонн сталі	процес
Супутній попит при виробництві сталі	джоулі	кінцеве споживання енергії і палива
Виробництво алюмінію	тонн алюмінію	процес
Виробництво інших металів	джоулі	споживанням корисної енергії
Супутній попит при виробництві інших металів	джоулі	кінцеве споживання енергії і палива
Виробництво еквіваленту синтетичного аміаку	тонн аміаку	процес
Супутній попит при виробництві аміаку	джоулі	кінцеве споживання енергії і палива
Виробництво інших хімічних речовин	джоулі	споживання корисної енергії
Супутній попит при виробництві інших хімічних речовин	джоулі	кінцеве споживання енергії і палива
Виробництво цементу	тонн цементу	процес
Супутній попит при виробництві цементу	джоулі	кінцеве споживання енергії і палива
Виробництво еквіваленту скла	тонн скла	процес
Супутній попит при виробництві скла	джоулі	кінцеве споживання енергії і палива
Виробництво інших неметалевих мінеральних виробів	джоулі	споживання корисної енергії
Супутній попит при виробництві інших неметалевих мінеральних виробів	джоулі	кінцеве споживання енергії і палива
Виробництво вапна неметалургійними підприємствами	тонн вапна	процес
Виробництво еквіваленту паперової продукції	тонн паперу	процес
Супутній попит при виробництві паперової продукції	джоулі	кінцеве споживання енергії і палива
Виробництво іншої промислової продукції	джоулі	споживання корисної енергії
Супутній попит при виробництві іншої промислової продукції	джоулі	кінцеве споживання енергії і палива
Неенергетичне споживання хімічною галуззю	джоулі	кінцеве споживання енергії і палива
Неенергетичне споживання іншими галузями	джоулі	кінцеве споживання енергії і палива

Джерело: авторська розробка.

▣ Транспортний сектор

Транспортний сектор представлений чотирма його видами: автомобільним, залізничним, авіаційним і водним (рис. 22). Енергетичні послуги, які надають технології автомобільного та залізничного транспорту, полягають у перевезенні пасажирів і вантажів. Авіаційний та водний транспорт складніші для обліку та розрахунку, тому у моделі технології цих видів 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 на далекі відстані). Потреба у міських пасажирських перевезеннях також частково задовольняється парком трамваїв і тролейбусів.

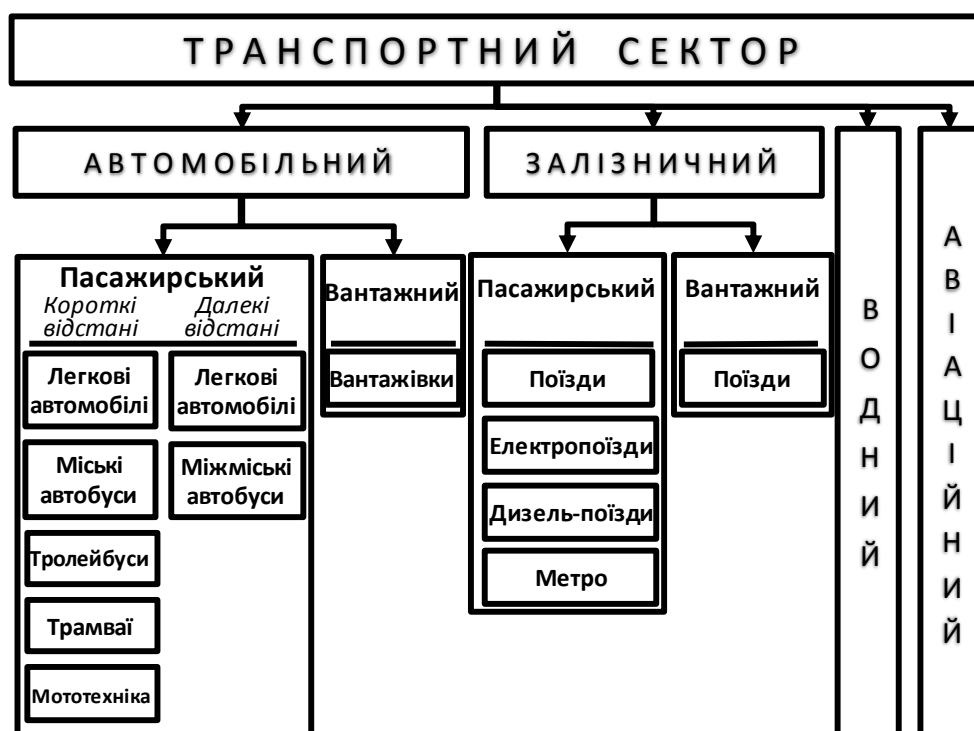


Рис. 22. Структура транспортного сектора

Джерело: авторська розробка з використанням даних Державної служби статистики України, Міністерства інфраструктури України і Міністерства внутрішніх справ України.

Відповідно до офіційних даних Держкомстату і МВС України щодо технічного стану і структури зареєстрованих транспортних засобів, автомобільний транспорт у базовому році споживав в основному чотири види моторного палива: бензин, дизельне паливо, скраплений нафтовий і стиснений природний газ. Робота мототехніки забезпечувалась за рахунок бензину (табл. 15).

Таблиця 15

Статистична інформація дорожнього транспорту у 2005 р.

Паливо	Автомобілі	Мототехніка	Автобуси	Вантажівки	Тролейбуси	Трамваї
Парк справних транспортних засобів, тис. шт.						
дизельне паливо	393,8	х	43,3	190,0	х	х
автомобільний бензин	2407,7	377,7	77,4	250,1	х	х
скраплений газ	34,8	х	2,1	2,5	х	х
стиснений газ	46,1	х	9,0	11,3	х	х
електроенергія	х	х	х	х	3,6	2,3
Пасажиروобіг (вантажобіг), млн пас (т) км						
	90797,0	2548,0	52469,5	35244,0	11231,1	6472,4
Річний пробіг транспортних засобів, км						
дизельне паливо	18576,4	х	19595,9	15805,9	х	х
автомобільний бензин	11855,1	4769,5	19595,9	15805,9	х	х
скраплений газ	18576,4	х	19595,9	15805,9	х	х
стиснений газ	18576,4	х	19595,9	15805,9	х	х
електроенергія	х	х	х	х	38613,4	33700,9
Середня завантаженість транспортних засобів, пас. (т)						
	2,4	1,4	20,3	4,9	81,9	84,8
Розхід палива, міжміський цикл, л/100 км						
дизельне паливо	6,4	х	28,0	22,6	х	х
автомобільний бензин	7,5	х	32,6	25,0	х	х
скраплений газ	10,5	х	46,0	35,2	х	х
стиснений газ	8,1	х	35,6	27,3	х	х
Розхід палива, міський цикл, л/100 км						
дизельне паливо	8,6	х	25,2	х	х	х
автомобільний бензин	9,5	1,8	28,8	х	х	х
скраплений газ	13,4	х	40,6	х	х	х
стиснений газ	10,4	х	31,4	х	х	х

Джерело: побудовано за даними Державної служби статистики України, Міністерства інфраструктури України і Міністерства внутрішніх справ України.

Залізничний транспорт розділений на вантажний і пасажирський. Оскільки енергетичні потреби у пасажирських і вантажних перевезеннях можуть задовольнятися технологіями, що не споживають енергію безпосередньо (залізничними вагонами, з яких формується залізничний склад), а енергія у цих випадках споживається локомотивами, 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, що задовольняє потребу у міських пасажирських перевезеннях цим видом транспорту, за припущенням, попит у якому не може бути задоволений дорожнім транспортом. Перелік енергетичних попитів у транспортному секторі наведено в табл. 16.

Таблиця 16

Види енергетичного попиту в транспортному секторі

Вид процесу	Одиниця виміру попиту	Чим задається попит
Пасажи́рські перевезення легковими автомобілями на короткі відстані	пасажи́ро-кілометри	процес
Пасажи́рські перевезення легковими автомобілями на далекі відстані	пасажи́ро-кілометри	процес
Міські автобусні пасажи́рські перевезення	пасажи́ро-кілометри	процес
Міжміські автобусні пасажи́рські перевезення	пасажи́ро-кілометри	процес
Тролейбусні пасажи́рські перевезення	пасажи́ро-кілометри	процес
Трамвайні пасажи́рські перевезення	пасажи́ро-кілометри	процес
Пасажи́рські перевезення в метро	пасажи́ро-кілометри	процес
Пасажи́рські перевезення мототехнікою	пасажи́ро-кілометри	процес
Вантажні автомобільні перевезення	т/км	процес
Пасажи́рські залізничні перевезення	пасажи́ро-кілометри	процес
Вантажні залізничні перевезення	т/км	процес
Авіаційні перевезення	Дж	кінцеве споживання енергії і палива
Перевезення водним транспортом	Дж	кінцеве споживання енергії і палива
Супутний попит транспортного сектора	Дж	кінцеве споживання енергії і палива

Джерело: побудовано за власними розрахунками.

Технології дорожнього та залізничного транспорту характеризуються ефективністю (витрати палива на 100 км, для автомобільного транспорту залежно від циклу, для локомотивів – 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 їх вартістю, постійними та змінними витратами.

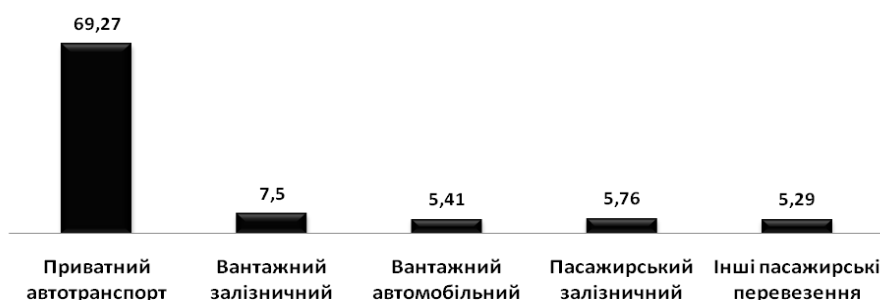


Рис. 23. Структура споживачів у транспортному секторі у 2005 р., %

Джерело: побудовано з використанням даних Державної служби статистики України, Міністерства інфраструктури України і Міністерства внутрішніх справ України.

У структурі споживання палива в транспортному секторі найбільшою є частка легкових автомобілів – приблизно 70% (рис. 23), у тому числі 55% припадає на бензин і близько 14% – на дизельне пальне⁸.

⁸ Було зроблено припущення, що 90% автомобільного бензину та 75% дизельного пального, віднесеного у звітності до споживання населенням, було використано приватними автомобілями.

▣ Населення, комерційний та бюджетний сектори

Споживання енергії населенням визначається за десятьма найбільш енергомісткими категоріями енергетичного попиту: опалення приміщень, нагрівання води, охолодження приміщень, освітлення, приготування їжі, зберігання їжі, прання білизни, сушіння та прасування одягу, миття посуду та прибирання, інші потреби, для задоволення яких необхідно використовувати електроенергію та/або інше паливо.

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 підставі таких оцінок (табл. 17), а також аналогічних статистичних спостережень у європейських країнах, у подібного роду моделях зроблено оцінку структури споживання енергії і палива за категоріями кінцевого попиту та структури споживання енергії і палива за кожним енергетичним попитом.

Таблиця 17

Структура споживання палива та енергії населенням в 2005 р., %

Категорія енергетичного попиту	Вугілля	Скrapле-ний газ	Нафто-продукти	Природ-ний газ	Біопа-ливо	Електро-енергія	Тепло
Опалення приміщень:	93	20	88	65	70	20	95
сільських будинків	83,7	16,0	39,6	29,3	66,5	3,0	
міських будинків	9,3	3,0	39,6	29,3	3,5	9,0	
багатоквартирних будинків		1,0	8,8	6,5	0,0	8,0	95,0
Охолодження приміщень:						2	
сільських будинків						0,1	
міських будинків						0,4	
багатоквартирних будинків						1,5	
Нагрівання води у:	5	10	12	20	25	15	5
сільських будинках	4,0	5,0	7,8	8,0	18,8	1,5	
міських будинках	1,0	5,0	1,8	8,0	3,8	3,0	
багатоквартирних будинках			2,4	4,0	2,5	10,5	5,0
Освітлення						15,0	
Приготування їжі	2,0	70,0		15,0	5,0	15,0	
Зберігання їжі						5,0	
Прання білизни						5,0	
Сушіння та прасування одягу						2,5	
Миття посуду та прибирання						2,5	
Інші потреби						18,0	
УСЬОГО	100	100	100	100	100	100	100

Джерело: побудовано за власними розрахунками.

Крім того, структура споживання енергії для задоволення потреб опалення, охолодження приміщень та нагрівання води, а також ефективність і вартість відповідних технологій розраховується в моделі залежно від типу будинків (рис. 24). Для населення в моделі є три типи будинків: багатоквартирні, приватні сільські і міські будинки, а для комерційного і бюджетного секторів два – великі та малі. Для кожного типу будинків визначалася своя структура споживання палива. Для

решти енергетичних попитів структура споживання палива приблизно однакова для всіх типів будинків, хоча загальна структура споживання енергії серед сільських і міських домогосподарств може відрізнятися.

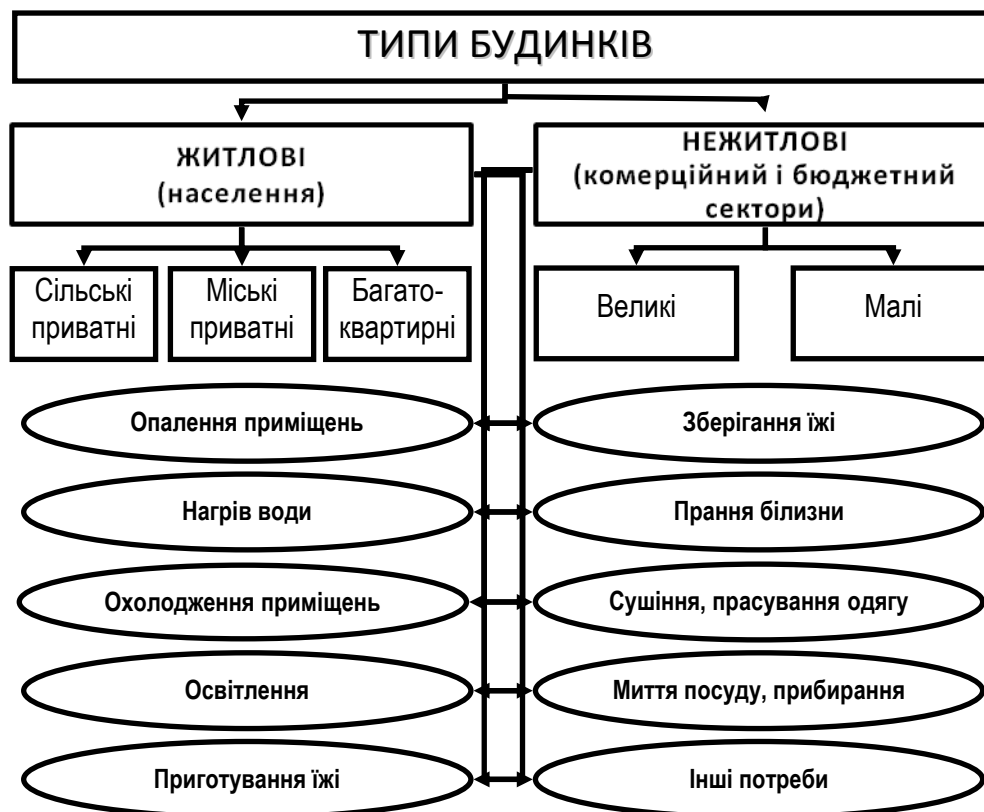


Рис. 24. Структура задоволення попиту населення, комерційного та бюджетного секторів

Джерело: авторська розробка з використанням даних Державної служби статистики України і Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України.

Структура енергетичних попитів комерційного та бюджетного секторів подібна до структури попитів населення (табл. 18) – вона містить ті ж сім категорій кінцевого попиту: опалення приміщень, охолодження приміщень, нагрівання води, освітлення, приготування їжі, зберігання їжі, інші потреби, для задоволення яких необхідна електроенергія або інше паливо, і додатково містить категорію попиту – вуличне освітлення.

Як уже зазначалося, будівлі в комерційному та бюджетному секторах поділяються на дві категорії за загальною площею офісних приміщень. До малих будівель відносяться заклади харчування, торгівлі, пошти, підприємства сфери фінансових і побутових послуг тощо, до великих – заклади освіти, державного управління, лікарні тощо. Оскільки для оцінки структури споживання енергії для задоволення кінцевих попитів за основу взято площу приміщень, алгоритм розрахунку в комерційному секторі дещо відрізняється від способу розрахунків для сектора 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.

Таблиця 18

**Структура споживання палива та енергії
комерційним та бюджетним секторами в 2005 р., %**

Категорія енергетичного попиту	Вугілля	Скrapлений газ	Нафто-продукти	Природний газ	Біо-паливо	Електро-енергія	Тепло
Опалення приміщень	100,0	0,0	80,0	70,0	80,0	30,0	100,0
малих будівель	100,0		64,0	19,6	80,0	16,5	80,0
великих будівель			16,0	50,4		13,5	20,0
Охолодження приміщень						12,0	
малих будівель						9,6	
великих будівель						2,4	
Нагрівання води у:		5,0	20,0	20,0	10,0	10,0	
малих будівлях		4,0	16,0	5,6	2,8	8,0	
великих будівлях		1,0	4,0	14,4	7,2	2,0	
Освітлення						13,0	
Приготування їжі		95,0		10,0	10,0	5,0	
Зберігання їжі						10,0	
Вуличне освітлення						10,0	
Інші потреби						10,0	
УСЬОГО	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Джерело: побудовано за власними розрахунками.

Традиційна інерційність структури споживання цих секторів загалом не впливає на адекватність моделі.

Слід зауважити, що опалення, охолодження приміщень і нагрівання води є різними для кожної категорії будівель, тоді як усі інші види споживання мають загальне середнє значення. В структурі задоволення попиту існують подвійні технології, які можуть задовольняти одразу декілька попитів, наприклад, для опалення та охолодження приміщень, а також для опалення приміщень та нагрівання води тощо.

☐ Сільське господарство

Сільське господарство представлено в моделі у спрощеній формі однією умовною технологією, яка задовольняє потребу цього сектора в енергії і паливі (рис. 25).

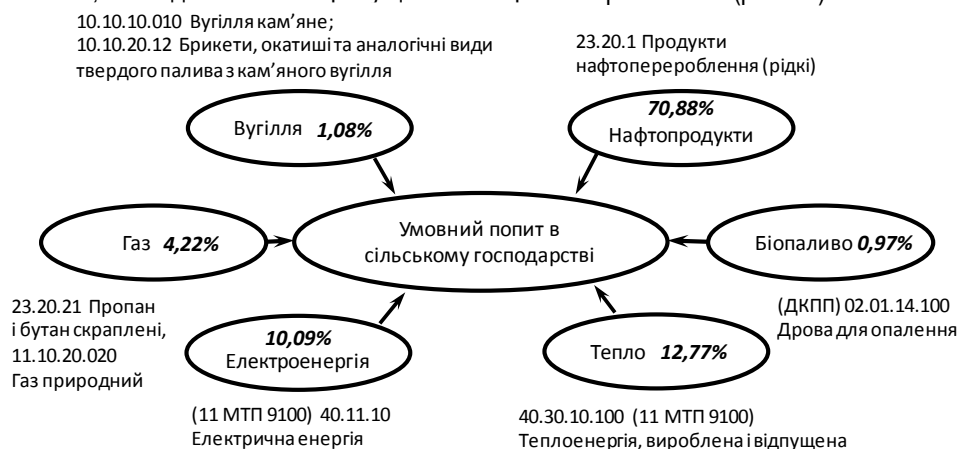


Рис. 25. Структура споживання енергії в сільському господарстві у 2005 р., %

Джерело: авторська розробка з використанням даних Державної служби статистики України.

Однак, якщо зробити якісний аналіз ресурсного потенціалу сільськогосподарських земель, що є одночасно джерелом як енергетичної, так і продовольчої сировини, то споживання палива цим сектором можна буде класифікувати за окремими потребами (рис. 26).

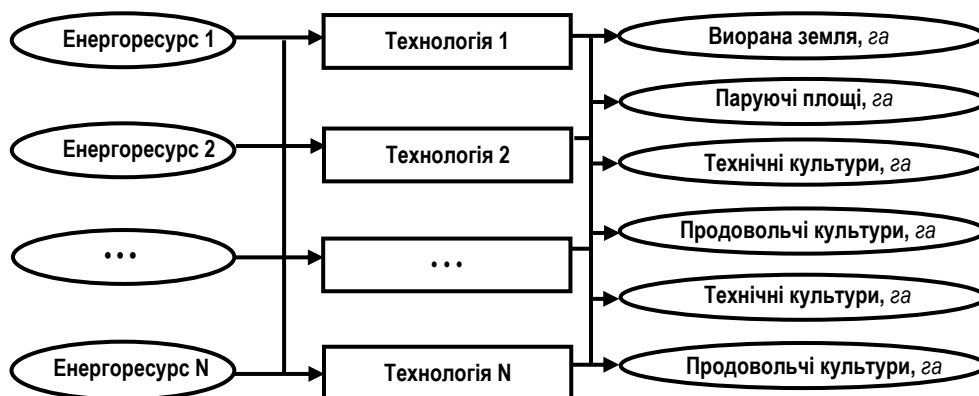


Рис. 26. Розширена структура сільського господарства

Джерело: авторська розробка.

Це дасть змогу виокремити кінцеві енергетичні попити та визначити ефективні технології для їх задоволення. Так, формулювання системи потреб сільського господарства, таких як потреба в певній площі виораної землі, в паруючій площі, потреба вирощування технічних і продовольчих агрокультур дозволить визначити "оптимальну" комбінацію сільськогосподарських технологій і посівних площ для вирощування біомаси для виробництва біопалива без шкоди для супутніх виробництв (тваринництва, харчової промисловості тощо).

📦 Викиди шкідливих речовин

У моделі розраховуються викиди таких шкідливих речовин [22]: вуглекислий газ (CO_2), угарний газ (CO), метан (CH_4), двоокис сірки (SO_2), оксиди азоту (NO_x) закис азоту або веселящий газ (NO), частки ($\text{PM}_{2.5}$ та PM_{10}), летючі органічні сполуки (VOC), шестифториста сірка (SF_6), фторвуглець (C_xF_y). Ці викиди в моделі відбуваються у двох випадках:

- 1) пов'язані з потоками енергоресурсів;
- 2) з використанням технологій.

В першому випадку для кожного сектора задаються коефіцієнти викидів, пов'язані зі згорянням первинних (товарних) енергоресурсів. У другому випадку викиди пов'язані з використанням конкретних технологій, що споживають конкретне секторальне паливо. Коефіцієнт викидів – це кількість викидів на одиницю виробленого товару.

Наприклад, до першого випадку можна віднести споживання автомобільним транспортом окремо дизельного пального і біодизеля, а до другого – їх суміш. Коефіцієнти викидів при згорянні цих трьох видів палива будуть різними.

Такий підхід дозволяє не лише оцінити загальну кількість шкідливих речовин по кожному сектору, але й детально оцінити всі категорії викидів по кожному процесу. Крім того, модель надзвичайно добре підходить для аналізу енергетичних стратегій

та стратегій з охорони довкілля, які можна досить точно відтворювати завдяки чіткості представлення технологій та палива в усіх секторах.

Викиди CO_2 є побічними продуктами в моделі і вимірюються спеціальними одиницями – мегатоннами (тисячами тонн) CO_2 .

▣ Інші параметри моделі

Часовий горизонт. Часовий горизонт, протягом якого енергетична система має бути вивчена, може змінюватися від одного року до багатьох десятиліть [26]. Часовий горизонт, як правило, розділяється на декілька періодів, яким відповідають так звані контрольні роки (рис. 27).

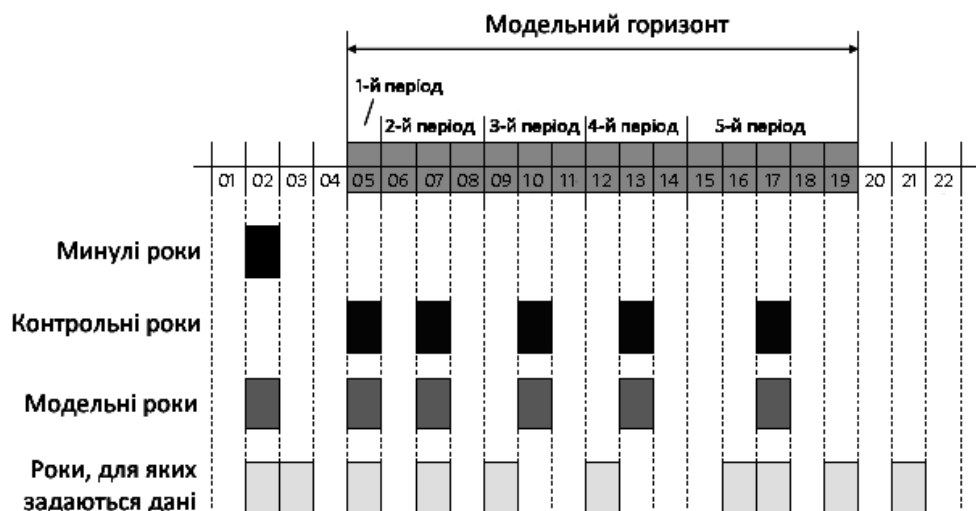


Рис. 27. Часовий горизонт і типи років у моделі

Джерело: авторська розробка з використанням матеріалів Інституту економіки енергетики та раціонального використання енергії Штутгартського університету [Електронний ресурс]. – Доступний з: < http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/pb_pdf/Remme_Overview_TIMES_2007.pdf >.

Кожен контрольний рік являє собою певний момент часу, в який модель може приймати певні рішення, наприклад, встановлення нових потужностей чи зміна структури енергетичних чи матеріальних потоків. Значення контрольних років є середнім значенням в період, якому відповідає контрольний рік. Тривалість найкоротшого періоду може становити один рік. Разом з тим, щоб не використовувати велике число змінних і рівнянь математичної моделі енергетичної системи, зменшити вимоги до комп'ютерного програмного забезпечення, зменшити час обрахунку моделі, а також для більш презентабельного вигляду, періоди в моделі зазвичай становлять 3, 5 або 10 років. Перший період (базовий) в моделі має тривалість 1 рік. Він є обов'язково прожитим роком і використовується для калібрування моделі, базуючись на історичних статистичних даних. Залежно від доступності статистичних даних і умов дослідження наступні роки після базового можуть також відповідати окремому періоду або можуть складати один період, для якого визначене середнє значення років, що розглядаються. Прогнозні періоди, як правило, мають велику тривалість. Таким чином, кількість періодів і їх тривалість повністю визначаються умовами і потребами дослідження.

Для опису потужностей, які були встановлені до початку модельного горизонту та існують в модельному горизонті, використовуються додаткові минулі роки, що визначають рік завершення будівництва і початок роботи існуючих на початку модельного року технологій. Для потужностей, встановлених в минулі роки, також задаються інвестиції, що були в них вкладені. Сукупність минулих та контрольних років утворюють множину модельних років. Роки, де вхідні дані задані користувачем, називаються роками даних, які не повинні збігатися з модельними роками, для того, щоб модель могла інтерполювати або екстраполювати дані всередині модельних років. Тривалість і кількість періодів може бути змінена для вводу даних на новий період.

Слід зазначити, що існування минулих інвестицій можливе не тільки для попередніх років моделі, але й для контрольних років. Наприклад, перший період у моделі після тривалого її використання може виявитись минулим відносно до сьогодення, і для нього вже можуть існувати реальні статистичні дані. Уведення таких даних корисно впливає на якість моделі, оскільки вони є реальними, а не прогнозованими.

Модель "TIMES-Україна" представлена часовим горизонтом у спрощеному вигляді за періодами: перший модельний період (базовий рік) – 2005 р. – тривалістю один рік, другий період містить два роки – 2005 та 2006 рр. Тривалість наступних періодів може бути вибрана: або 3-річна, або 5-річна. В моделі представлені реальні статистичні дані для другого періоду, тобто визначене середнє значення між 2006 та 2007 рр., і за таким же принципом уведені дані для третього трирічного періоду (2008–2010 рр.).

Сезонність. Контрольні роки можуть бути роздібнені на частини, так звані інтервали (проміжки) часу або часові проміжки [26], для того щоб, наприклад, описати криву навантаження протягом року.

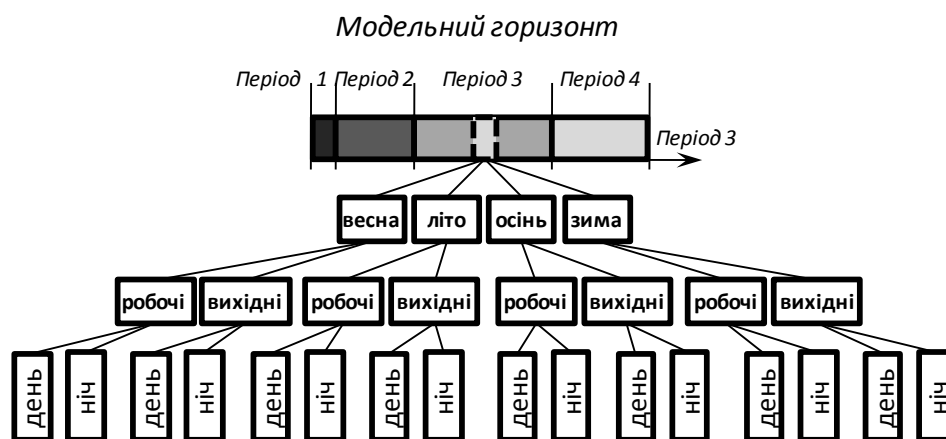


Рис. 28. Дерево часових періодів

Джерело: авторська розробка з використанням матеріалів Інституту економіки енергетики та раціонального використання енергії Штутгартського університету [Електронний ресурс]. – Доступний з: < http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/pb_pdf/Remme_Overview_TIMES_2007.pdf >.

Проміжки часу можуть мати чотири рівні ієрархії: річний, сезонний (за порами року), тижневий і денний. Річний є одноосібним, тоді як інші рівні можуть містити в собі довільну кількість частин. Рис. 28 ілюструє дерево часових проміжків із розподілом на чотири пори року, що складаються з робочих та вихідних днів, які в свою чергу додатково поділяються на день та ніч.

Назва кожного часового періоду в моделі має бути унікальною з метою подальшого використання як індексу певних множин або параметрів. Не обов'язково використовувати всі рівні часових періодів, так само як і додавати додаткові періоди. Наприклад, можна використовувати не тижневий рівень, а розбити добу на три частини: день, ніч та пікова година. Саме так подано в моделі "TIMES-Україна".

Енергоресурси та технологічні процеси можуть відслідковуватись і контролюватись на певному рівні часового проміжку. Встановлення часового проміжку як індексу для енергоресурсу означає, що протягом цього інтервалу часу має бути створений товарний баланс, у випадку коли такий індекс не задано, то за мовчазною згодою він дорівнює річному. Для процесів індекс часового проміжку визначає рівень їх активності за певний інтервал часу. Так, наприклад, конденсаційні електростанції можуть працювати на сезонних рівнях, отже їх робота протягом сезону буде однорідною, а виробництво гідроенергії в реальному вимірі явно відрізняється взимку та влітку і навіть вдень та вночі.

В моделі "TIMES-Україна" рік розбитий на 12 проміжків часу, що відповідає 4 порам року (весна, літо, осінь, зима) та 3 періодам доби (день, ніч та пік). У табл. 19 показані частки проміжків часу в році, на які він розбитий, виходячи з таких припущень:

- число днів у сезоні: зима – 120 днів (з 16 листопада по 14 березня), весна – 77 днів (з 15 березня по 31 травня), літо – 91 день (з 1 червня по 30 серпня), осінь – 77 днів (31 серпня по 15 листопада);
- тривалість дня – 11 годин, ночі – 12 годин, тривалість піку 1 година на день в усі періоди;

Таблиця 19

Величина часток проміжків часу в році, %

Інтервал часу	Частка у році	Частка у році
Весна-день	9,7	21,1
Весна-ніч	10,5	
Весна-пік	0,9	
Літо-день	11,4	24,9
Літо-ніч	12,5	
Літо-пік	1,0	
Осінь-день	9,7	21,1
Осінь-ніч	10,5	
Осінь-пік	0,9	
Зима-день	15,1	32,9
Зима-ніч	16,4	
Зима-пік	1,4	
РАЗОМ	100,0	100,0

Джерело: побудовано за власними розрахунками.

Вартісні показники задані в моделі в євро 2005 р. у відповідних порядках. Порядкова розмірність завжди записана під заголовком стовпця, в якому задається вартісне значення ресурсу, технології тощо.

Структура моделі дозволяє проводити її верифікацію та калібрування відповідно до надходження поточної статистичної інформації з урахуванням факторів сезонності, амортизації і оновлення виробничих фондів.

Динамічність моделі. Модель "TIMES-Україна" є квазідинамічною моделлю (рис. 29) [26].

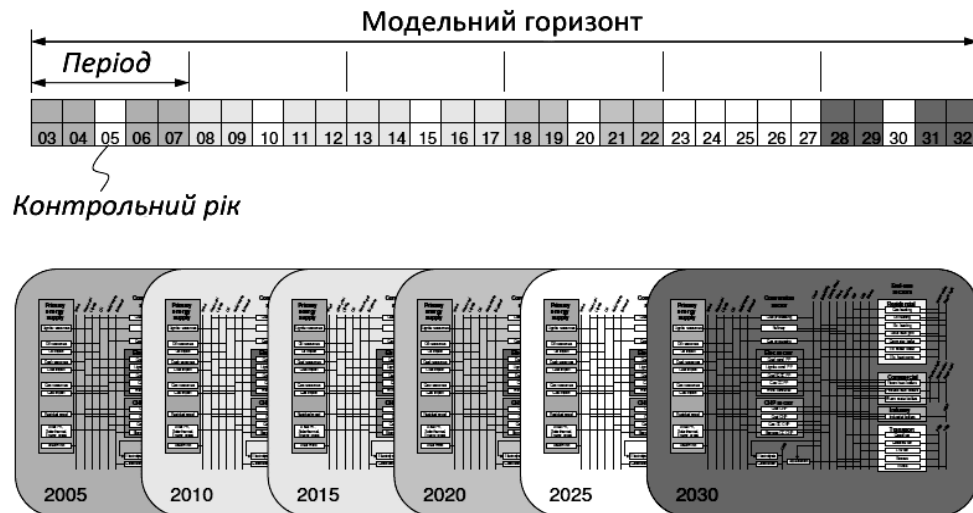


Рис. 29. Динамічність моделей TIMES

Джерело: авторська розробка з використанням матеріалів Інституту економіки енергетики та раціонального використання енергії Штутгартського університету [Електронний ресурс]. – Доступний з: http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/pb_pdf/Remme_Overview_TIMES_2007.pdf.

Базова структура. Основними елементами моделей TIMES є процеси та енергетичні продукти, які поєднані між собою різного типу потоками (енергетичні, матеріальні, вартісні тощо) і утворюють мережевий граф, що зветься в моделі Базовою структурою енергетичної системи (БСЕС). Динамічну частину моделі визначають горизонтом часу і рішеннями моделі, еволюційним розвитком постачання і технологіями, зростанням попиту на енергетичні послуги і політичні курси (наприклад, цілі пом'якшення впливу зміни клімату, набір стандартів стосовно нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії тощо), використанням різних альтернативних сценаріїв.

Старіння технологій. У традиційних моделях інженерних систем характеристики їхніх елементів, як правило, мають один часовий індекс, а дані належать до одного конкретного року. Якщо не враховується вплив процесу старіння [26], характеристики технологій моделюються незалежно від вікової структури фонду відповідної установки. Це означає, що вхідні дані не можуть бути змінені для більшості параметрів технології. В такому випадку, роблять просте дублювання технологій з покращеними параметрами в часі.

Але технічні характеристики технологічних установок часто змінюються з віком (рис. 30). Наприклад, коефіцієнт використання встановленої потужності нової сучасної електростанції спочатку може зростати, а потім спадати, у зв'язку з технічно-матеріальним зношенням деяких її частин. Також деякі зміни в часі технологічного процесу можуть відбуватись незалежно від самої технології, як наприклад, підвищення постійних операційних та експлуатаційних витрат за рахунок підвищення заробітної плати персоналу тощо.

В моделі "TIMES-Україна", якщо є необхідність, то для будь-якої технології можна задати параметр старіння. Він вказує на те, що ця технологія була встановлена до базового року, в попередні роки і, можливо, потребує інвестицій для забезпечення

в майбутньому тієї ж потужності, яка є на момент базового року. Тобто характеристика старіння технології дозволяє змінювати характер її параметрів з плином часу.

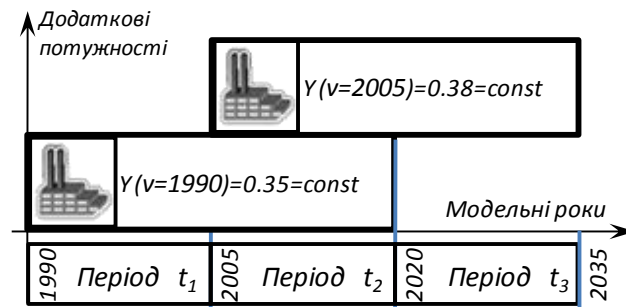


Рис. 30. Старіння технологій

Джерело: авторська розробка з використанням матеріалів Інституту економіки енергетики та раціонального використання енергії Штутгартського університету [Електронний ресурс]. – Доступний з: http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/pb_pdf/Remme_Overview_TIMES_2007.pdf.

Представлення характеристики старіння в моделях TIMES як окремого індексу допомагає уникнути плутанини, що існувала в моделях MARKAL (на базі яких побудовані моделі TIMES), а саме плутанини із старінням і віком процесу. Наприклад, якщо щорічні витрати на автомобіль користувачем визначені у 10 одиниць в 2005 р. і 8 – в 2010 р., то скорочення витрат застосовуватиметься не тільки для автомобілів, що будуть придбані у 2010 р., а й для автомобілів, придбаних у 2005 р. і раніше, але тільки починаючи з 2010 року.

4. СЦЕНАРНІ УМОВИ ТА ОБМЕЖЕННЯ

Представлені в моделі "TIMES-Україна" сектори формують Базову структуру енергетичної системи країни (БСЕС). БСЕС містить у собі такі елементи, як енергетичні ресурси, енергетичні технології і потоки енергії між ними (рис. 31).

Наповнена база даних БСЕС містить інформацію про:

- обсяги і сезонні коливання попиту на енергію, виражену через споживчі потреби за секторами і регіонами енергетичної системи;
- ціни, обсяги і сезонну доступність різних видів енергії і палива на міжнародних і національних ринках, а також вартість і можливі обсяги власного видобутку первинних видів ресурсів;
- техніко-економічні характеристики енергетичних технологій;
- графіки споживання електроенергії та потужності в Україні.

Встановлена потужність енергетичних технологій може залишатися сталою протягом усього періоду моделювання, якщо витрати на її поточний ремонт та експлуатацію включені до постійних витрат. Інакше технології базового року будуть щорічно амортизувати частину потужностей залежно від встановленого періоду експлуатації. Капітальний ремонт (модернізація) потужностей базового року сприйматиметься моделлю як введення нового технологічного процесу із відповідними капітальними (інвестиційними) витратами, зміненими технічними і вартісними параметрами.

Альтернативою модернізації потужностей базового року є введення принципово нових технологій [27]. Наприклад, у транспортному секторі новими технологіями є як автомобілі на традиційному паливі з покращеними технічними характеристиками, так і електромобілі, автомобілі, що їздять на біодизелі, метанолі, етанолі; в металургії – досконаліші технології виробництва електросталі та процес прямого відновлення заліза; в секторі постачання – сучасні первинні та вторинні процеси переробки нафти та технології виробництва нових синтетичних видів палива або водню.



Набір нових технологій утворює свого роду бібліотеку, серед якої вибираються технології, що задовольняють умовам розрахунку. Нові технології визначають специфікацію даних і регіональні перетворення за певними правилами.



Параметри нових технологій можуть бути такі ж самі, як і для технологій базового року. Наприклад, технічний період життя, постійні витрати, змінні витрати, ефективність, коефіцієнт використання потужності, кількість викидів шкідливих речовин на одиницю виробленої продукції тощо. Але нові технології не повинні мати параметр типу "встановлена потужність" або "кількість виробленої продукції". Модель повинна сама визначити рівень цих параметрів. Однак для того, щоб задати нову технологію, необхідно мати два додаткових параметри: *start* – для опису доступного року в моделі, з якого може відбутись уведення нової технології в експлуатацію, та *invcost* – для призначення інвестиційних витрат на введення нових технологій в моделі.

Зовнішнє середовище та обмеження моделі. Можливості зміни технологічного устрою (а відповідно обсягів та структури споживання палива за секторами) залежать від стану зовнішнього середовища енергетичної системи. На рис. 32 зображено дерево сценаріїв ринку електроенергії. Так, сьогоднішній ситуації на ринку характерні висока ціна електроенергії для кінцевих споживачів за відносно низької рентабельності виробництва, низькі ліміти на природний газ для ТЕЦ та мала частка ТЕЦ у загальній структурі реалізованої електроенергії на ОРЕ. Сценарні зміни ситуації на ринку електроенергії, як і будь-який інший вплив на структуру енергосистеми, формулюватимуться в моделі у вигляді математичних (кількісних) обмежень.

Хоча під час побудови моделі генератор TIMES забезпечує всі основні найбільш важливі математичні рівняння, необхідні для того, щоб гідно представляти окремі компоненти енергетичної системи (наприклад, товарний баланс, технологічні процеси, оборот капіталу тощо), однак, користувачу майже завжди необхідно вводити додаткові обмеження для адекватного уявлення певних аспектів енергосистеми конкретної держави [28]. Така необхідність часто пов'язана з кластерами технологій. Наприклад:

- для сонячної, вітрової чи гідроенергетики окремо можуть бути встановлені загальні потенційні потужності;
- може бути вибраний певний портфель нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії;
- можуть застосовуватись CAFE-стандарти⁹;
- певна група технологій відповідає певному відсотку від загальної кількості електрогенеруючих технологій;
- середня ефективність автопарку відповідає певному класу автомобілів тощо.

Для того щоб установити подібного роду обмеження, використовують так звані обмеження користувача (OK), які він сам має побудувати. Обмеження користувача дозволяють зв'язати будь-які змінні моделі (за регіонами, часовими періодами), а також вхідні параметри.

Більшість OK поділяються на дві загальні категорії: абсолютні та відносні. Роль абсолютних обмежень – контролювати інвестиції, встановлені потужності, операційну діяльність або функціонування групи процесів в абсолютному вираженні. Прикладами таких обмежень можуть бути:

- електрогенерація має споживати не менше 800 ПДж вугілля в кожен період;
- максимальний потенціал ГЕС – 8 ГВт у 2015 р. і залишається незмінним до 2025 року;

⁹ Корпоративна середня економія палива (CAFE) є інструкцією в США, яка призначена для поліпшення середньої економії палива автомобілями і легковими вантажівками, проданими у США, після введення арабського ембарго на ввезення нафти в 1973 році.

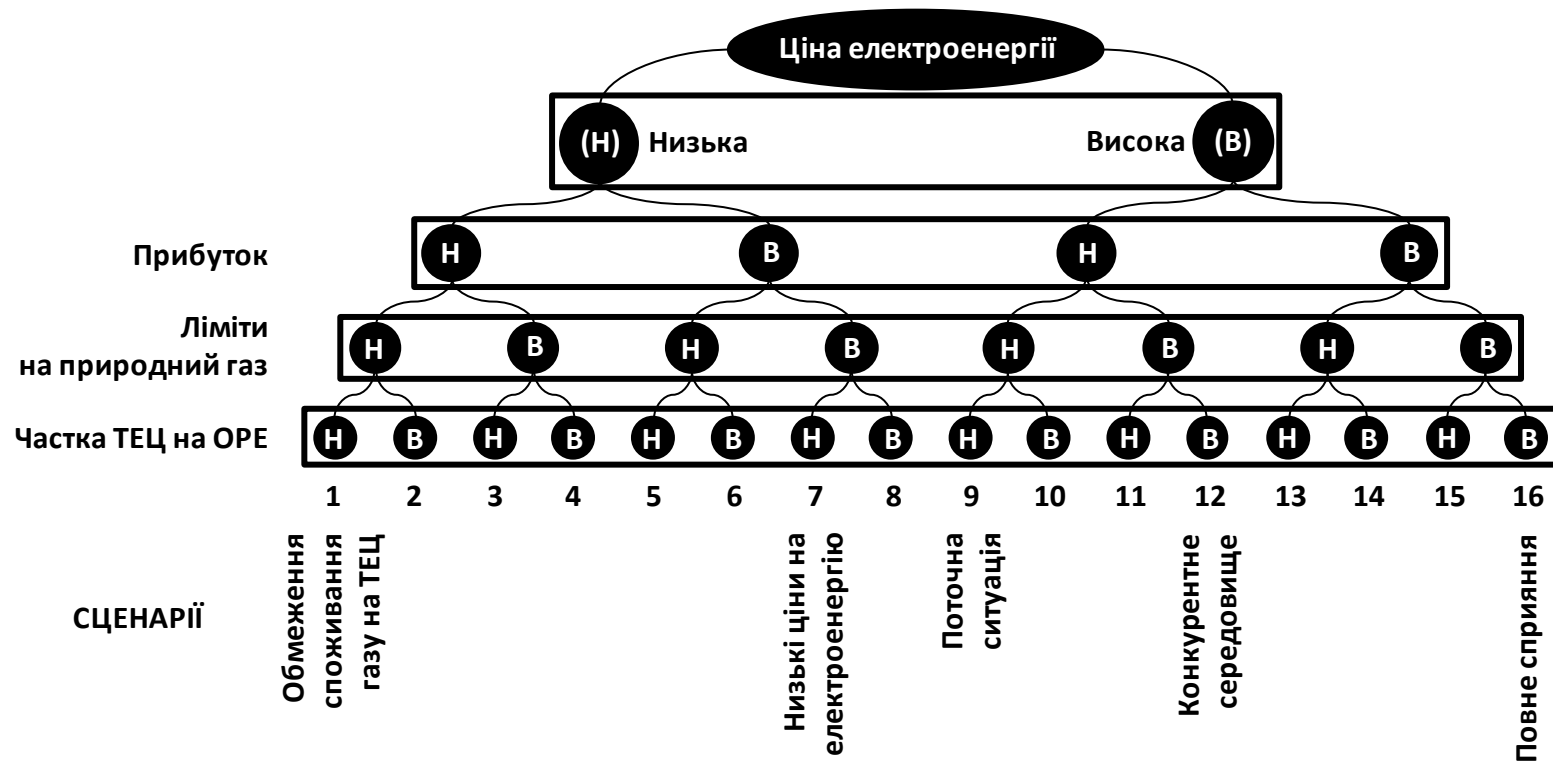


Рис. 32. Сценарії зовнішнього середовища для ТЕЦ

Джерело: авторська розробка.

- відновлювальна електроенергетика має виробляти не менше 20 млрд кВт·год на рік до 2020 р., і 40 – до 2050 року;
- загальний ядерний потенціал повинен бути не більше 20 ГВт до 2020 р. і 30 ГВт до 2030 року.

Роль відносних обмежень користувача у встановленні питомої частини інвестицій, задіяних потужностей, операційної діяльності або функціонування групи процесів, наприклад:

- максимум 0.5 ПДж і мінімум 0.05 ПДж вугілля може бути використано при виробництві тепла котельнями, в той час як максимальна частка споживання ними газу – 90%;
- принаймні 3% вироблення електроенергії має бути вироблено вітровими електростанціями до 2030 року;
- серед усіх спожитих енергоресурсів для опалення житлових будинків принаймні 10% має бути природний газ;
- електромобілі можуть зайняти не більше 3% на автомобільному ринку в 2030 році;
- принаймні 50% освітлення житлових приміщень до 2030 р. буде з використанням звичайних ламп розжарювання.

Загалом сценарні обмеження моделі можна умовно розділити на чотири категорії:

- технологічні,
- політичні,
- бюджетні
- екологічні.



Технологічні обмеження відповідають сценаріям зміни технічних параметрів або характеру використання енергетичних технологій – зменшення втрат електроенергії і газу при транспортуванні внаслідок модернізації основних фондів, зміна параметрів сезонності і годин пікових навантажень на енергосистему.

Політичні обмеження накладаються відповідно до визначених пріоритетів і заходів державної енергетичної політики – запровадження пільгових тарифів для окремих категорій споживачів, переведення газокompресорних станцій на електроенергію, децентралізація комунальної теплоенергетики.

Бюджетні обмеження визначають доступність інвестиційних коштів для модернізації і введення нових потужностей за часом і категоріями енергетичних технологій.

Екологічні обмеження можуть накладатися як на окремих споживачів, так і на всю енергосистему загалом відповідно до діючої державної системи контролю або прийнятих Україною міжнародних зобов'язань щодо викидів ПГ. Екологічні обмеження можуть також бути накладені у формі спеціальних платежів або екологічних податків.

Сценарії зміни зовнішнього середовища – макроекономічні, демографічні, сценарії зовнішньої торгівлі – формують базис для кількісної оцінки параметрів моделі та визначають загальне інституційне середовище, в якому функціонує енергосистема.

Процес формування умов задачі також передбачає визначення низки важливих вихідних припущень, зокрема щодо періоду прогнозування (рис. 33).

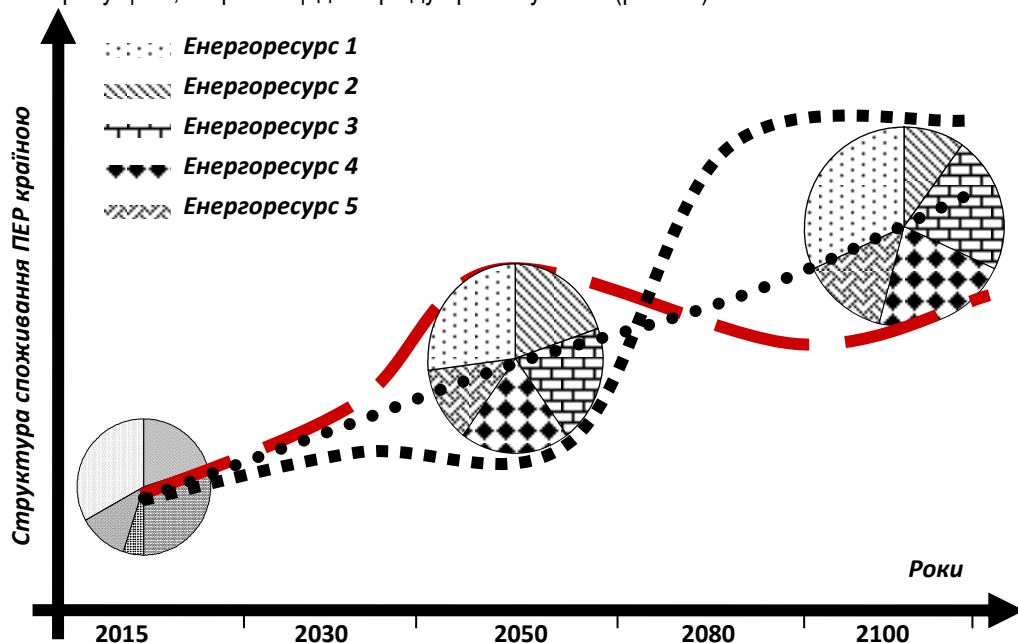


Рис. 33. Період прогнозування

Джерело: авторська розробка.

З одного боку, період окупності інвестиційних проектів в енергетичному секторі сягає 20–30 років. З іншого боку, навіть дослідження 5–10-річного періоду ускладнюється невизначеністю політичних, економічних і навіть технологічних впливів. Оскільки період прогнозування безпосередньо впливає на розв'язок задачі, часовий проміжок обирають виходячи з мети конкретного дослідження.

Сценарії розвитку енергетичної системи. Під час побудови моделі насамперед має бути проведений процес калібрування 1-го (або базового) року моделі. Це передбачає вибір конфігурації визначених енергоресурсів та технологій із знанням того, яка структура енергетичної системи є в перший рік моделі, і забезпечення того, щоб модель повторювала цю ситуацію в майбутньому. Після того, як модель буде відкалібрована, наступним важливим кроком є створення сценарію базового або звичайного розвитку (business-as-usual (BAU)), що описує ймовірну еволюцію енергетичної системи без суттєвих змін у політиці держави, економіці та технологічному розвитку, але керуючись найкращими аналітичними судженнями. Ключовими аспектами базового сценарію, що мають бути взяті до уваги, є:

- визначення цін на енергоресурси та їхня доступність;
- прогноз майбутнього попиту на енергетичні послуги, оснований на очікуваному економічному зростанні (наприклад, ВВП) та інших керуючих параметрах (наприклад, доходи населення тощо);
- опис профілю виведення з експлуатації старих електростанцій, процесів верхнього рівня енергетичної системи, пристроїв кінцевого споживання і побудови нових енергетичних об'єктів;

- репозиторій майбутніх характеристик технологій;
- засоби управління, для того щоб допускати розумні межі паливозаміщення і проникнення нових технологій на основі природної еволюції енергетичної системи, і
- будь-які відомі політичні заходи, які застосовуватимуться в системі (наприклад, плани виконання заходів стратегій локального і державного рівня, міжнародні зобов'язання із обмеження або зменшення викидів парникових газів).

Після створення базового сценарію модель може використовуватися для вивчення альтернативних варіантів розвитку (еволюції) енергетичної системи.

Як уже зазначалося, базовий сценарій, або звичайний сценарій розвитку, описує ймовірний розвиток енергетичної системи і слугує відправною точкою для проведення аналізу інших можливих шляхів розвитку енергетичної системи з використанням моделі. Інші можливі шляхи розвитку системи вивчаються за допомогою альтернативних сценаріїв, що відрізняються від базового вихідними (початковими) припущеннями. Ці припущення можуть стосуватися інтенсивності використання власної сировинної бази, рівня впровадження заходів з енергозбереження, схеми торгівлі дозволами на викиди ПГ тощо. Цільова функція альтернативних сценаріїв разом з мінімізацією сукупних витрат може бути доповнена мінімізацією залежності країни від зовнішніх джерел енергії або мінімізацією наслідків впливу енергосистеми на навколишнє природне середовище. Після побудови та проведення відповідних розрахунків такі сценарії зіставляються з базовим для оцінки альтернативних варіантів шляхів розвитку енергетичної системи і розроблення рекомендацій з покращення державної політики в цьому напрямі.

Беручи до уваги все те, що було сказано вище, можна констатувати ще одну важливу характеристику моделі "TIMES-Україна": *Модель дозволяє знайти оптимальну комбінацію технологічних рішень, які відповідають накладеним сценарним умовам і обмеженням.* Причому структура енергетичних технологій в кожному окремому секторі може виявитися не оптимальною, якщо цей сектор розглядатиметься окремо, оскільки в даному випадку об'єктом дослідження є вся енергосистема країни [29]. Для зміни умов розв'язку задачі із виокремленням локальних оптимумів моделі необхідним є формулювання відповідних сценарних обмежень за окремими секторами або внесення змін у математичний алгоритм розрахунку в цілому.

5. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ІТ-ЛАНДШАФТ МОДЕЛІ "TIMES-УКРАЇНА"

Для створення інформаційно-аналітичної системи стратегічного планування для формування прогнозного енергетичного балансу на базі моделі "TIMES-Україна" (ІАС "TIMES-Україна") використовувався цілий набір інформаційно-технологічних засобів (ІТ-ландшафт) (рис. 34), що відповідають основним вимогам, які висувуються до розробки та експлуатації сучасних ІАС. Зокрема, використовувалися системні оболонки VEDA Front End [23] та VEDA Back End [24], генератор моделей TIMES та мова програмування GAMS. Для введення та виведення інформації використовувався пакет Microsoft Office 200X.

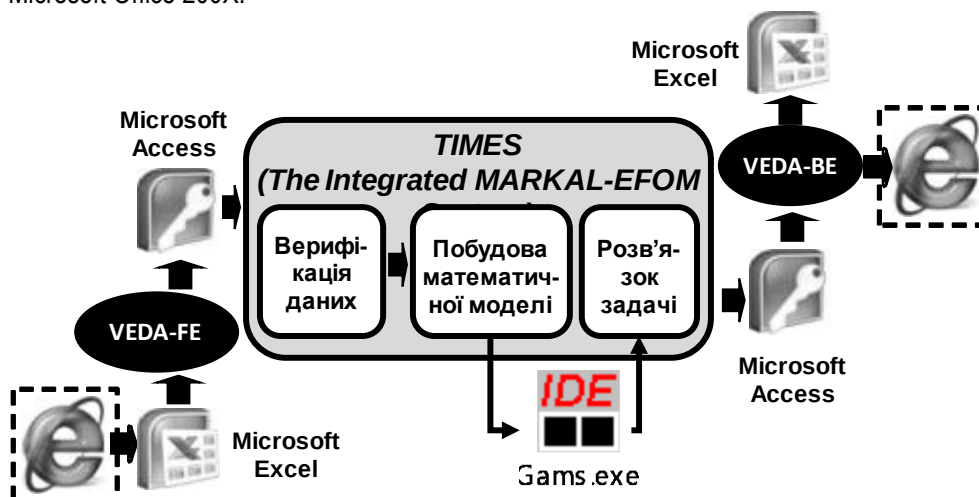


Рис. 34. ІТ-ландшафт інформаційно-аналітичної системи для формування прогнозного енергетичного балансу на базі моделі "TIMES-Україна"

Джерело: авторська розробка з використанням матеріалів Програми системного аналізу енергетичних технологій (ETSAP) Міжнародного енергетичного агентства.

Вхідна інформація задається в табличному редакторі Microsoft Excel 200X, де зчитується, обробляється і передається програмною оболонкою VEDA Front End до бази даних Microsoft Access. Далі за допомогою генератора оптимізаційних моделей енергетичних систем TIMES створюються на алгоритмічному рівні стандартні рівняння оптимізаційної задачі (створюється матриця коефіцієнтів TIMES, рис. 35) [30].

Згодом новостворена модель передається в середовище GAMS, де і відбувається розв'язання оптимізаційної задачі. Оптимальний розв'язок, отриманий за допомогою GAMS, передається знову до бази даних Microsoft Access. За допомогою програмної оболонки VEDA Back End виконується доступ до новоствореної бази даних оптимального розв'язку і виконуються операції з форматування, трансформації даних та представлення розв'язків задачі у вигляді табличних звітів.



Рис. 35. Генерування моделі TIMES

Джерело: [30].

Розглянемо програмний інструментарій більш детально. В ІАС "TIMES-Україна" для введення статистичних даних і опису технології за секторами використовуються спеціально розроблені шаблони. Шаблони – це книги Excel пакета Microsoft Office 200X, за допомогою яких задається основна структура моделі та наводяться основні дані та припущення. Ці шаблони надають інформацію за базовим роком, прогноз попиту, майбутні можливості технології та сценарні припущення, які в сукупності описують всю енергетичну систему, що підлягає вивченню. Основними шаблонами, що описують енергетичну систему, є [28]:

1. *SysSettings* – це один із трьох файлів в VEDA з фіксованою назвою, який розшифровується як "параметри системи" (рис. 36). Він використовується для декларування самих базових структурних елементів моделі, таких як регіон, часові проміжки, початковий рік моделювання і т.д. У ньому також містяться правила інтерполяції для різних атрибутів і деякі налаштування для синхронізації процесу.

2. *Шаблони базового року (B-Y Template)* – це основне електронне середовище, де задаються усі технології, енергетичні ресурси, матеріали та попити базового року. Іншими словами, саме в цих шаблонах калібрується модель базового року. Шаблони називаються *VT_<регіон>_<сектор>_<версія>*. Перші два знаки підкреслення мають важливе значення для VEDA та інтерпретуються нею як шаблони базового року. У цих файлах задаються процеси, енергоресурси, продукти, створюються зв'язки між ними (продукти входу / виходу процесів) і задаються основні параметри процесів і товарів. За мовчазною згодою, усі декларування справедливі для всіх регіонів, оскільки головною перевагою TIMES-моделей є те, що вони якісно можуть представляти мультире-

гіональну енергетичну систему, яка являє собою єдиний великий регіон, вказаний в імені файлу.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	~BookRegions_Map			~TimePeriods	48	<- Total Years		~TimeSlices		
2	BookName	Region		2005	2052	<- Ending Year		Season	Weekly	DayNite
3	UA	UA		1	2005			S		D
4				2	2006			F		N
5				5	2010			W		P
6				5	2015			R		
7				5	2020					
8				5	2025					
9				5	2030					

Рис. 36. Основні параметри системи

Джерело: авторська розробка.

3. *BY_Trans_<будь-яке ім'я>* – цей файл підтримує всі існуючі таблиці і працює як сценарний файл, з однією важливою відмінністю: фільтр процесів і продуктів (енергоресурсів) за певним правилом працює тільки з тими елементами, які надходять із базових шаблонів. Можна створити декілька версій цього файлу і вибирати необхідні під час операції синхронізації моделі.

4. *SubRes_<назва підсистеми>* (наприклад, SubRes_B-NewTechs.xls) – нові технології (підсистема моделі) визначаються специфічними даними і регіональними перетвореннями (для відповідної підсистеми) за певним правилом. Декларування у файлах підсистем такі ж самі, як і в базових шаблонах, з однією важливою відмінністю: всі вони повністю не залежать від регіону. Регіональна специфіка вводиться через таблицю доступності процесів у даному регіоні, таблиці перетворення, що задаються у відповідному *BY_Trans_<будь-яке ім'я>* файлі.

5. *Модуль попитів (DM_Drivers)* – у цьому файлі задаються керуючі параметри моделі (драйвери або макроекономічні показники) еластичності, що використовуються в регіоні або секторі тощо. Це можуть бути ВВП, доходи населення, кількість домогосподарств тощо.

6. *Scen_<коротка назва сценарію>* – це файл сценарію, який містить дані, що стосуються цього сценарію, можливі перетворення будь-якої частини енергетичної системи (за певними правилами);

7. *ScenTrade_<назва сценарію торгівлі>* – в даному файлі задаються специфічні параметри технологій, що відображають торговельні зв'язки між регіонами в моделі.

8. *ScenUC_<назва сценарію обмежень користувача>* – файл спеціальних часткових обмежень, що основані на первинних частках палива базового року, застосовується для контролю за частками входу, виходу, набору технологій тощо, які можуть або не можуть змінюватися з часом.

Назви секторів, що є складовою назви імені базових шаблонів, іменуються таким чином: сектор виробництва і постачання електроенергії та тепла – ELC (**E**lectricity), промисловість – IND (**I**ndustry), житлово-комунальний сектор (населення), комерційний та бюджетний сектори, а також сільське господарство – RCA (**R**esidential, **C**ommercial, **A**griculture), транспортний сектор – TRA (**T**ransport), сектор постачання енергоресурсів – SUP (**S**upply). Всі ці п'ять шаблонів містять у собі інформацію про базову структуру моделі, витрати палива на кінцеве споживання в базовому році, виробництво енергії за видами палива в базовому році, попит на кінцеве споживання в базовому році, повний набір технологій базового року, статичні та динамічні коефіцієнти вики-

дів за видами палива, інші параметри (обмеження користувача, еластичність попиту, дисконтна ставка, ефективність транспортування тощо).

У кожному секторі виробництво та споживання енергії калібруються на так званих балансових сторінках секторальних шаблонів, що відповідає статистиці базового року або початковому періоду часу.

На балансових сторінках містяться дані про використання палива за галузями (номенклатура палива визначена за НПП, класифікація галузей – за КВЕД), питомих споживання палива для виробництва промислової продукції, представленої в моделі, обсяги зовнішньої торгівлі тощо (рис. 37). Використовуване програмне забезпечення дозволяє автоматично оновлювати статистичні дані шаблонів через інтернет, як це реалізовано в паневропейській моделі, статистичні дані якої автоматично оновлюються з серверу Євростату.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	~Country	UA							
2	Sector	Industry							
3	~Year	2005							
4	~Unit conversion	0.041868	0.029						
5									
6									
7	Base-year energy consumption from Derzhcomstat (phisical inuts)								
8	Види економічної діяльності/паливо та енергія		Вугілля камяне, тонн						Брикети,
9	КВЕД/НПП		10.10.10.010						
10	Перерахунок в тис. т.у.п.		0.000721999						0.00059
11			Всього	перетвор	неенргет	кінцеве	промислове	енергет	Всього п
12	Добування корисних копалин, крім паливно-енергетичних	CB (13, 14)	190215	12036		178179	170243	190215	
13	Виробництво харчових продуктів, напоїв та тютюнових виробів	DA (15, 16)	140235	38552	1	101682	94819	140234	489
14	Текстильне виробництво; виробництво одягу, хутра та виробів з хутра	DB (17, 18)	4703	3481		1213	172	4703	
15	Виробництво шкіри, виробів зі шкіри та інших матеріалів	19	587	580		7	2	587	
16	Оброблення деревини та виробництво виробів з	20	2859	407		2446	1725	2859	
17	Виробництво паперової маси, паперу, картону та виробів з них (картон)	21	1699	1100		599	99	1699	
18	Виробництво паперової маси, паперу та картону (папір, картон)	21.1	1490	1100		390		1490	
19	Видавнича та поліграфічна діяльність, тиражу-								

Рис. 37. Фрагмент балансової сторінки шаблону з вхідними даними для сектора промисловості

Джерело: авторська розробка.

Використовуючи ІТ-ландшафт VEDA-TIMES-GAMS, користувач для внесення вхідної інформації про енергетичну систему має справу тільки з файлами табличного редактора. Для зручного доступу до них у VEDA-FE існує спеціальне вікно (програмна оболонка), що зветься "Навігатор" (рис. 38) і яке відображає всі доступні файли Excel, які беруть участь у формуванні моделі. Якщо є потреба, то всі доступні файли можуть бути виключені із структури моделі.

Перед запуском розрахунку моделі необхідно переконатись, що базові шаблони, які були перелічені вище і, можливо, додатково створені користувачем шаблони, є активними, для цього їхній статус визначається кольором. Білий колір шаблонів говорить про те, що вони неактивні; блакитний – активні; червоний – в шаблонах була змінена деяка інформація і він має бути обов'язково синхронізований, якщо внесені зміни необхідно врахувати; жовтий – шаблон існував до останньої синхронізації, але був знищений або переміщений; чорний – відсутній у папці, де він має зберігатись; сірий – файл відкритий і рекомендується його закрити перед початком розрахунку моделі. Для

активації шаблонів їх необхідно заново синхронізувати, для цього існує спеціальна команда "SYNC", яка має червоний фон, якщо існують несинхронізовані шаблони.

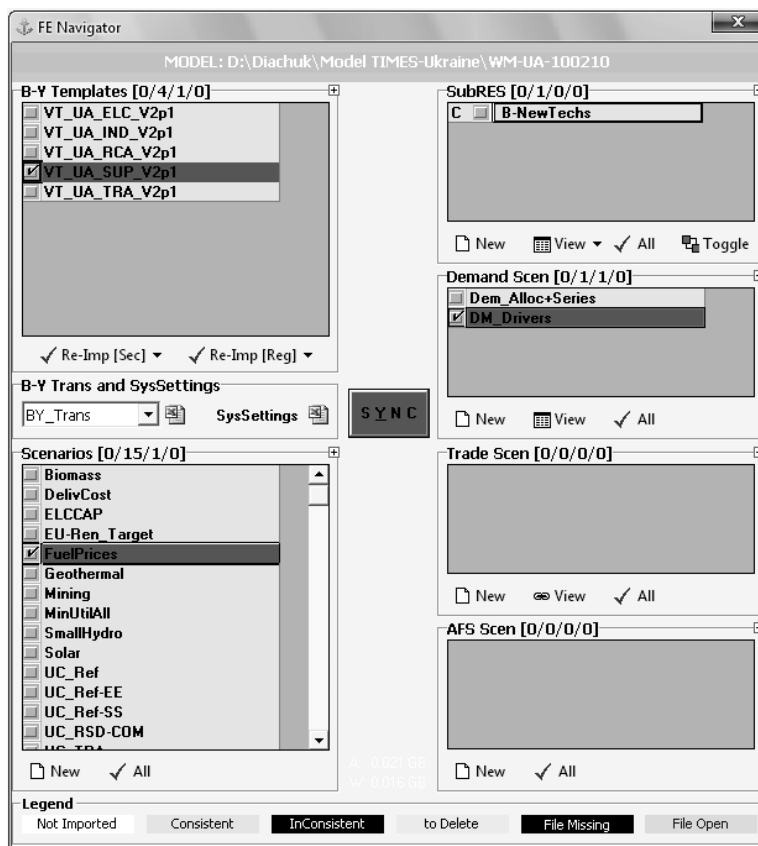


Рис. 38. Програмна оболонка (навігатор) VEDA-FE

Джерело: авторська розробка.

Для відкриття і редагування будь-яких файлів, що входять до структури моделі, достатньо двічі підряд "клікнути" на них і вони відкриються в табличному редакторі Microsoft Excel 200X, якщо такий встановлений. Вони можуть бути також легко доступні звичайним способом, відкривши папку, що містить ці файли. Для швидкого доступу до папок, що містять структурні файли моделі, можна "клікнути" на "фрейм", наприклад, на "SubRES [0/2/0/0]", і відкриється Windows Explorer з папкою, що містить ці файли.

Для синхронізації одразу всієї моделі необхідно або вибрати всі файли вручну, або в меню "Tools" вибрати пункт "Start from Scratch" і, погодившись з виділенням усіх компонентів моделі, натиснути кнопку "SYNC" в центрі навігатора, щоб синхронізувати всі елементи даних в Microsoft Excel з базами даних VEDA Front End. Синхронізація може проводитись і для окремо обраних файлів.

Для перегляду даних, що зібрані з усіх файлів даних, які були включені до моделі, використовують так званий редактор-оглядач (рис. 39). Представлення назв параметрів в ньому можливе або в кодах генератора моделей TIMES або з використанням синтаксис системи VEDA. Користувач може сам вибирати зручну для нього форму.

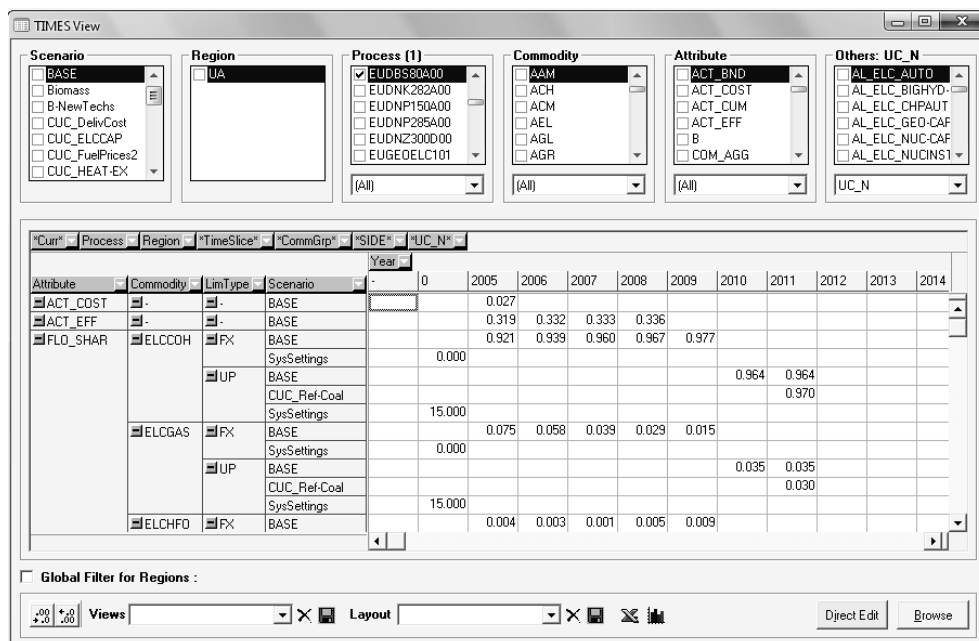


Рис. 39. Редактор-оглядач даних, які були внесені до моделі

Джерело: авторська розробка.

Фільтри в редакторі-оглядачі можуть бути встановлені у різних положеннях, що дозволяє шляхом перетягування самих фільтрів отримати необхідну конфігурацію параметрів вибраних технологій. Двічі підряд "клікнувши" лівою клавішею миші по значенню параметра, можна відкрити Excel-файл, в якому заданий цей параметр і з якого значення цього параметра було зчитане. Редактор-оглядач дозволяє в ньому також змінювати значення параметрів, після чого вони будуть автоматично оновлені у відповідних Excel-файлах, вказувати коментар, який буде вставлений у комірку із відповідним значенням параметра. Представлені відфільтровані дані можуть бути легко експортовані в будь-який новий Excel-файл для подальшого їхнього використання.

В VEDA Front End існують "майстер процесів" та "майстер продуктів", які дозволяють не тільки відслідковувати повну інформацію по кожному процесу або продукту енергетичної системи країни, а й відображати її у структурному вигляді.

Для виправлення можливих помилок, що виникають при заданні вхідної інформації моделі, в VEDA Front End ведеться журнал помилок, який створюється в кінці процесу синхронізації моделі і в якому зазначаються процеси або продукти, котрі належним чином (або взагалі) не задані, або знищені, але інформація про них ще міститься в базі даних. Перед створенням журналу перевіряється правильність задання параметрів елементів моделі і, якщо вони не відповідають дійсності (наприклад, від'ємний або нульовий ККД), то відповідна інформація записується до нього. З журналу можна легко перейти у те місце відповідного Excel-файлу, де параметр моделі заданий неправильно.

Однією із зручностей, що надає система VEDA Front End, є можливість легкого перегляду базової структури енергетичної системи (БЕС). Для цього існує спеціальний БЕС-навігатор (рис. 40), що представляє енергетичну систему у структурній формі разом із чисельною інформацією про цю систему, за допомогою якого можна легко переглядати весь ланцюжок технологічних процесів від видобутку викопного палива до

задоволення кінцевого попиту на енергію або послугу. Такі ж функції мають "майстер процесів" та "майстер продуктів", однак навігатор об'єднує їхні можливості і одночасно дає можливість переглядати як структурні, так і чисельні характеристики енергетичних процесів системи.

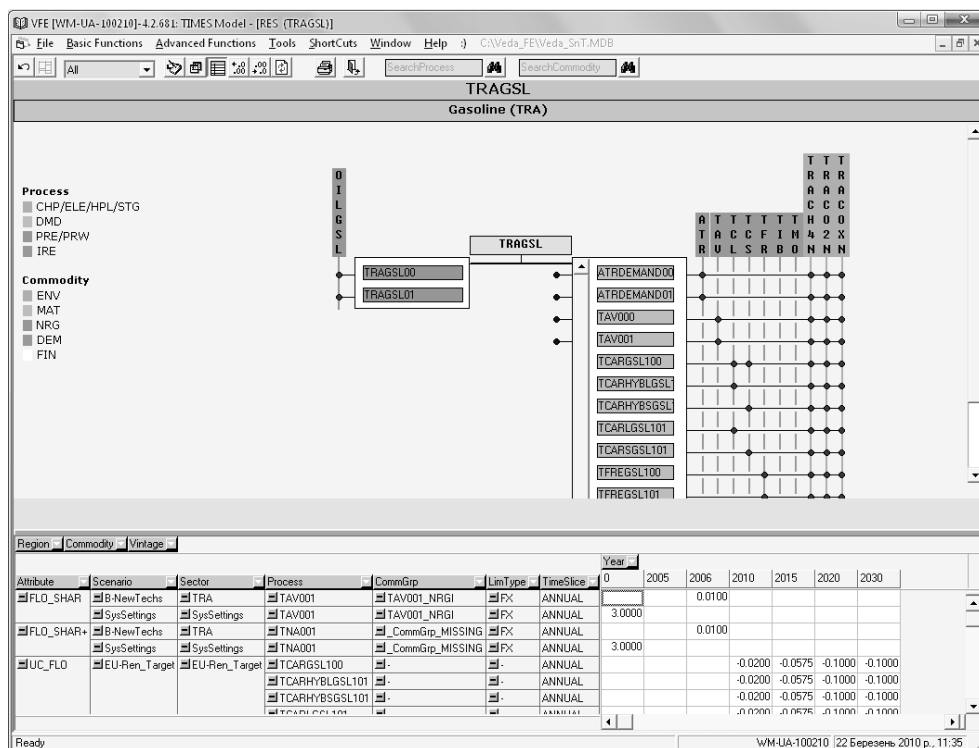


Рис. 40. БСЕС-навігатор VEDA Front End

Джерело: авторська розробка.

Інформаційно-аналітична система "TIMES-Україна" дозволяє знайти оптимальний розв'язок задачі як для комбінації, так і окремо для кожного зі сценаріїв або підсистем моделі. Для цього слугують методи оптимізації, що використовують алгоритм розрахунку симплекс (може бути використано три модифікації цього алгоритму) або алгоритм бар'єр, а також тривалість прогнозного періоду та багато інших параметрів.

Макромодель. Програмне забезпечення VEDA-TIMES-GAMS дозволяє скомбінувати модель "TIMES-Україна" з моделлю загальної рівноваги MACRO [16], тобто злити два різних підходи в єдину модель, в якій, з одного боку, буде модель з детальним технологічним представленням енергетичної системи ("TIMES-Україна"), а з іншого – макроекономічна модель загальної рівноваги (MACRO), заснована на максимізації функції корисності. При об'єднанні цих двох моделей отримується нова модель, яка охоплює характеристики інтертемпоральної (міжчасової) моделі загальної рівноваги із збереженням широкої технологічної деталізації.

Рівновага базується на припущенні про досконалу передбачуваність і конкурентність ринків. Економічними агентами в моделі MACRO є: основні постачальники та споживачі енергії (як у "TIMES-Україна"), а також інші постачальники товарів та послуг (об'єднані в одного умовного представника сектора), споживачі (об'єднані в одного загального споживача) і спрощений спільний ринок капіталу. Країна представлена

неявно в моделі MACRO. Експортні ринки можуть бути представлені, якщо макромодель є міжрегіональною.

Зв'язок між "TIMES-Україна" і MACRO робиться на рівні попиту на енергетичні послуги. У "TIMES-Україна" ці попити визначаються екзогенно, а далі ендогенно змінюються в моделі за допомогою альтернативних сценаріїв, поряд з цим цінові еластичності енергетичних послуг задаються користувачем. У TIMES-MACRO використовується інший підхід: попит є змінним у моделі і є агрегованим енергетичним входом з "TIMES-Україна" у виробничу функцію MACRO разом з працею та капіталом. Рис. 41 показує зв'язок між модулями "TIMES-Україна" і MACRO у новій об'єднаній моделі.

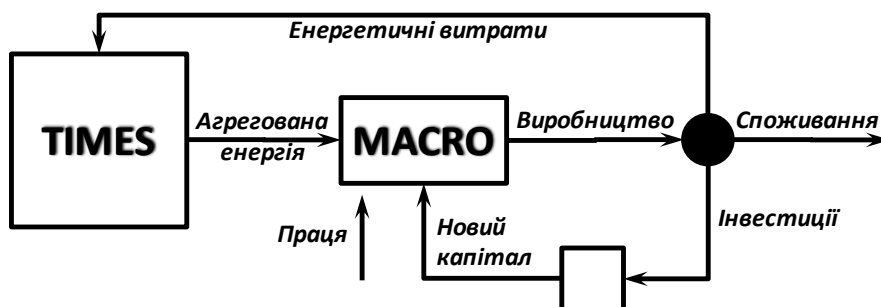


Рис. 41. Перетоки в моделі TIMES-MACRO

Джерело: [16].

Суцільні лінії показують фізичні перетоки в об'єднаній моделі, а пунктирні – фінансові перетоки. "TIMES-Україна" модуль забезпечує, таким чином, один фізичний вхід у MACRO модуль (сукупна енергія), а MACRO модуль надає один фінансовий вхід у "TIMES-Україна" модуль (енергетичні витрати).

Цільова функція. Цільова функція в моделях TIMES являє собою критерій мінімізації загальної дисконтованої вартості енергетичної системи протягом вибраного періоду планування. Вона включає ряд нововведень у порівнянні з більш традиційними енергетичними моделями, такими як MARKAL, EFOM, MESSAGE [31] тощо. Цільова функція є досить складною і деталізованою, враховуючи всі можливі витрати по кожному окремому року в рамках модельного горизонту. Однак при детальному вивченні розробники даного програмного забезпечення виявили деякі аномалії стандартної цільової функції, які детально описані [32]. Ці аномалії в основному пов'язані зі змінними довжинами періодів дослідження та обліком ліквідної вартості інвестиційних витрат при постійно зростаючих додаткових інвестиціях.

Враховуючи це, розробники програмного забезпечення VEDA-TIMES створили можливість користувачу вибирати варіанти цільової функції, які можуть застосовуватись для кращого вивчення енергетичної системи. Варіанти цільової функції, крім стандартної і автоматично обраної самим TIMES, можуть бути такими:

- модифікована – відповідає мінімальним змінам для досягнення гладких періодів та розподілу інвестицій за ними;
- альтернативна – всеосяжна ліквідація виявлених проблем при збереженні оригінальної парадигми постійних заходів у рамках кожного періоду;
- ліанеризована – всеосяжна ліквідація виявлених проблем з припущенням лінійної еволюції потоків і діяльності.

Можливості побудови стохастичної моделі. Модель "TIMES-Україна" побудована як економіко-математична модель детермінованого характеру, головною умовою якої є те, що всі початкові параметри чітко визначені. З погляду економіки така умова означає, що на етапі постановки задачі абсолютно точною є інформація стосовно всіх параметрів моделі. Однак загальновідомо, що економічні системи функціонують і розвиваються за умов невизначеності, тобто досить важко, а іноді і неможливо, мати точні значення деяких параметрів математичної моделі, особливо коли прогнозується розвиток процесів у майбутньому. Фактичні значення можуть суттєво відрізнятися від тих, які були взяті за основу при побудові математичних моделей та визначенні оптимальних планів, що породжує ризик прийнятих рішень. Невизначеність може бути різного ступеня залежно від того, яку інформацію ми маємо про досліджуваний процес. Якщо розподіл відповідних параметрів відомий, то для прийняття рішень використовують методи стохастичного програмування, суть яких полягає в тому, що, відшукуючи оптимальне рішення, тобто значення керованих змінних, необхідно враховувати також вплив ряду випадкових чинників, керувати якими немає можливості.

Активізація стохастичного режиму є ще однією з багатьох переваг програмного забезпечення VEDA-TIMES [33]. Кожен невизначений параметр є випадковою величиною, як правило, за відомим дискретним розподілом ймовірності. Цільова функція, таким чином, стає також випадковою величиною і критерій має бути обраний так, щоб зробити можливою оптимізацію. Таким критерієм може бути очікувана вартість, очікувана корисність тощо.

Хоча стохастичне програмування є широко використовуваним способом врахувати невизначеності, однак більш загальноповсюджаним і достатньо якісним для аналізу впливу невизначеностей є аналіз чутливості. При використанні аналізу чутливості значення деяких важливих екзогенних припущень є змінними, тому виконується набір прорахунків моделі через дискретний набір комбінацій з цих припущень.

Чутливість моделі. Аналіз чутливості часто використовують у поєднанні з аналізом компромісних рішень, який аналізує компромісні зв'язки між кількома цілями. Стохастичний режим є ефективним інструментом для аналізу чутливості та аналізу компромісних рішень, тому що він дозволяє використовувати так звані невизначені атрибути. Невизначені атрибути схожі на стандартні TIMES атрибути, відмінністю є тільки те, що вони можуть бути визначені з набору атрибутів різних країн світу, тобто виходячи із міжнародного досвіду.

Невизначені параметри можуть бути поділені на два типи: абсолютні та відносні. Абсолютні параметри застосовуються так само, як і параметри детермінованої моделі. Всі невизначені межі є атрибутами абсолютного типу.

Відносні параметри застосовуються як мультиплікатори до відповідних детермінованих базових параметрів. Невизначені прогнозні попити були реалізовані в TIMES як відносні параметри. Це означає, що невизначені попити були представлені як мультиплікатори для базових прогнозних попиту.

Екологічна політика. Для оцінки збитків, нанесених екології внаслідок функціонування енергетичної системи країни, в моделях TIMES існує функція вартості збитків. За допомогою цієї функції, наприклад, можна порахувати соціальні видатки, пов'язані з викидами токсичних і екологічно шкідливих речовин енергетичної системи, які впливають на здоров'я людини і навколишнє середовище. Якщо глобально досліджувати

викиди ПГ, то така функція може бути використана для оцінки впливу викидів ПГ і завдання шкоди в результаті зміни клімату.

До недавнього часу в більшості досліджень за допомогою "bottom-up" ("знизу-вверх") моделей викиди ПГ моделювались одним із двох способів: або шляхом уведення податків на викиди, або шляхом встановлення граничних рівнів викидів. У першому випадку податок (в ідеалі) мав представляти зовнішні витрати на одиницю створених викидів. Однак, використовуючи податки, припускалось, що вартість є лінійною функцією викидів. У другому – передбачається, що така вартість невідома, але що екзогенні дослідження (або нормативні акти, договори тощо) визначають прийнятний рівень викидів, які не мають бути перевищені. Обидва ці підходи успішно застосовуються в TIMES-моделях енергетичних систем для різноманітних досліджень.

Крім того, VEDA-TIMES дає можливість використовувати проміжні роки та періоди дисконтування; змінювати дисконтні ставки; використовувати в моделі технології навчання, дискретних інвестицій; знаходити оптимальні розв'язки моделі в конкретний період часу, як з еластичними, так і з нееластичними попитам.

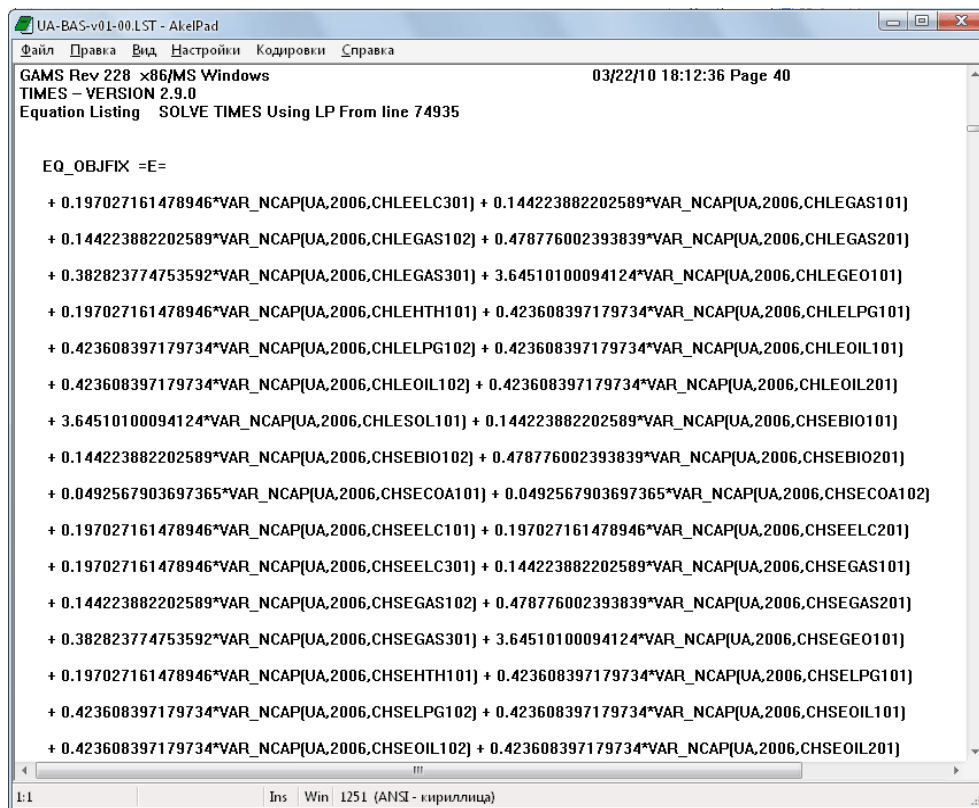
Генерування математичної моделі. Після опрацювання вхідної інформації в середовищі VEDA-TIMES приступають до процесу прорахунку моделі. Під час вибору необхідних сценаріїв, модельного горизонту тощо і натисненні кнопки "SOLVE" ("Рахувати") [34], одразу ж у середовищі GAMS формується математична модель енергетичної системи і проводяться за допомогою обраного солверу оптимізаційні розрахунки. Математична модель, згенерована за допомогою генератора моделей TIMES, записується у спеціально створеному файлі з розширенням <*.LST>. Фрагмент такого файлу показаний на рис. 42.

Знаходження оптимального розв'язку є ітераційним процесом. Кількість ітерацій залежить від складності моделі енергетичної системи, поставлених умов знаходження оптимального розв'язку (гнучкості моделі) тощо.

Складність моделі "TIMES-Україна" визначається такими характеристиками:

- кількість технологій, що відображають технологічні процеси в енергетичній системі України, понад 1400 шт.;
- кількість енергоресурсів, матеріалів, попитів тощо, тобто тих елементів, які є або входом або виходом для відповідних технологій, становить близько 700;
- кількість будь-яких обмежень, що задають умови розрахунку математичної моделі, становить близько 220;
- ненульових значень у математичній моделі, які є параметрами будь-яких її елементів, нараховується близько 630 тисяч.

При збільшенні кількості альтернативних сценаріїв кількість технологій, продуктів споживання та виробництва може не змінюватись, а от кількість ненульових значень буде однозначно зростати. Кількість зроблених обмежень у моделі збільшує кількість математичних рівнянь моделі, що може викликати більшу кількість ітерацій при знаходженні оптимального розв'язку моделі. Кількість ітерацій в моделі "TIMES-Україна" залежить від її гнучкості, тобто від набору обмежень, і може налічувати від декількох тисяч до сотень тисяч.



```
UA-BAS-v01-00.LST - AkelPad
Файл Правка Вид Настройки Кодировки Справка
GAMS Rev 228 x86/MS Windows 03/22/10 18:12:36 Page 40
TIMES - VERSION 2.9.0
Equation Listing SOLVE TIMES Using LP From line 74935

EQ_OBJFIX =E=
+ 0.197027161478946*VAR_NCAP(UA,2006,CHLEELC301) + 0.144223882202589*VAR_NCAP(UA,2006,CHLEGAS101)
+ 0.144223882202589*VAR_NCAP(UA,2006,CHLEGAS102) + 0.478776002393839*VAR_NCAP(UA,2006,CHLEGAS201)
+ 0.382823774753592*VAR_NCAP(UA,2006,CHLEGAS301) + 3.64510100094124*VAR_NCAP(UA,2006,CHLEGE0101)
+ 0.197027161478946*VAR_NCAP(UA,2006,CHLEHTH101) + 0.423608397179734*VAR_NCAP(UA,2006,CHLELPG101)
+ 0.423608397179734*VAR_NCAP(UA,2006,CHLELPG102) + 0.423608397179734*VAR_NCAP(UA,2006,CHLEOIL101)
+ 0.423608397179734*VAR_NCAP(UA,2006,CHLEOIL102) + 0.423608397179734*VAR_NCAP(UA,2006,CHLEOIL201)
+ 3.64510100094124*VAR_NCAP(UA,2006,CHLESOL101) + 0.144223882202589*VAR_NCAP(UA,2006,CHSEBIO101)
+ 0.144223882202589*VAR_NCAP(UA,2006,CHSEBIO102) + 0.478776002393839*VAR_NCAP(UA,2006,CHSEBIO201)
+ 0.0492567903697365*VAR_NCAP(UA,2006,CHSECOA101) + 0.0492567903697365*VAR_NCAP(UA,2006,CHSECOA102)
+ 0.197027161478946*VAR_NCAP(UA,2006,CHSEELC101) + 0.197027161478946*VAR_NCAP(UA,2006,CHSEELC201)
+ 0.197027161478946*VAR_NCAP(UA,2006,CHSEELC301) + 0.144223882202589*VAR_NCAP(UA,2006,CHSEGAS101)
+ 0.144223882202589*VAR_NCAP(UA,2006,CHSEGAS102) + 0.478776002393839*VAR_NCAP(UA,2006,CHSEGAS201)
+ 0.382823774753592*VAR_NCAP(UA,2006,CHSEGAS301) + 3.64510100094124*VAR_NCAP(UA,2006,CHSEGE0101)
+ 0.197027161478946*VAR_NCAP(UA,2006,CHSEHTH101) + 0.423608397179734*VAR_NCAP(UA,2006,CHSELPG101)
+ 0.423608397179734*VAR_NCAP(UA,2006,CHSELPG102) + 0.423608397179734*VAR_NCAP(UA,2006,CHSEOIL101)
+ 0.423608397179734*VAR_NCAP(UA,2006,CHSEOIL102) + 0.423608397179734*VAR_NCAP(UA,2006,CHSEOIL201)

I:1 Ins Win 1251 (ANSI - кириллица)
```

Рис. 42. Фрагмент програмного коду моделі "TIMES-Україна"

Джерело: авторська розробка.

VEDA Back End як засіб інтелектуального та оперативного аналізу даних. Другий компонент програмного забезпечення VEratile Data Analyst (VEDA) називається VEDA Back End (VEDA-BE). Він призначений для аналізу даних і результатів моделювання. VEDA-BE є потужним і зручним інструментом для побудови аналітичних таблиць і графіків, що допомагає аналітику при вивченні складної математичної моделі. VEDA-BE є придатною для вивчення будь-якої GAMS-моделі, побудованої на основі концепції множин для ідентифікації і групування компонентів та параметрів моделі. Вона організує і забезпечує доступ до різних форм даних на транспарентній основі, що дозволяє аналітикам зосередити свою увагу на вивченні інтерпретованого змісту отриманої інформації – оптимального розв'язку задачі.

Для перегляду і вивчення отриманих даних у результаті прорахування моделей, їх необхідно імпортувати до системи VEDA-BE. Для імпорту даних може знадобитися деякий час, щоб створити необхідні бази даних, тривалість залежатиме від розмірності моделі і кількості сценаріїв, якщо вони імпортуються одночасно.

Результати моделювання в VEDA-BE можуть бути представлені як у табличній, так і графічній формах. У лівій частині вікна VEDA-BE (1) користувач створює набір стандартних таблиць, які дозволяють досліджувати отримані оцінки технологічних параметрів моделі, вибраних у правій частині вікна VEDA-BE (2) (рис. 43).

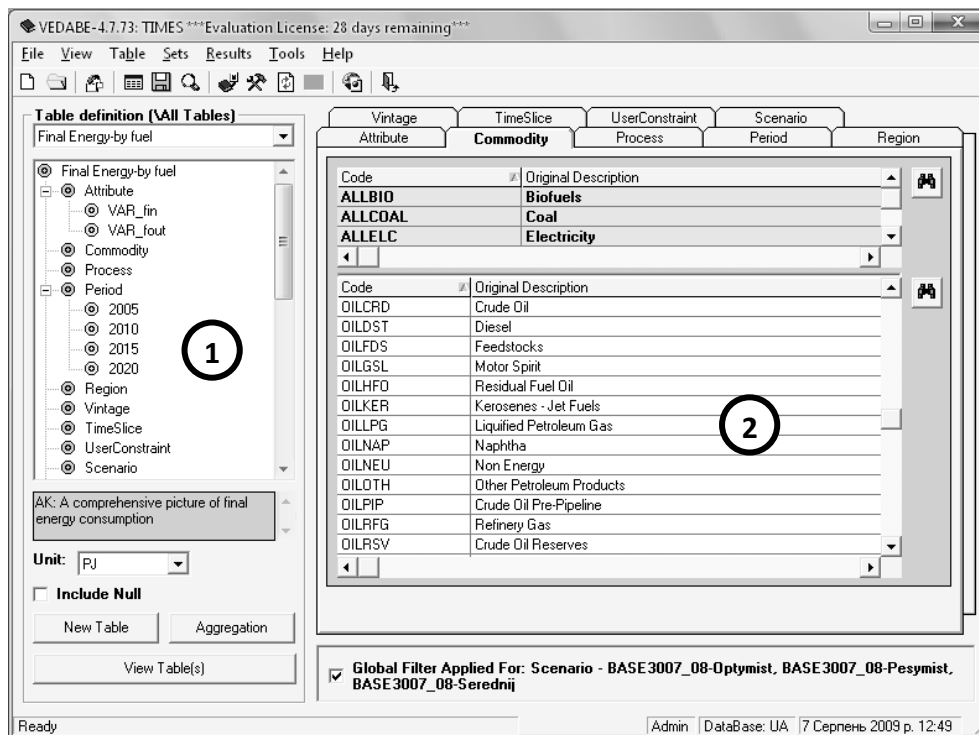


Рис. 43. Програмна оболонка VEDA Back End

Джерело: авторська розробка.

Усі таблиці мають гнучку форму представлення даних, тобто дані можуть сортуватись за енергетичними продуктами, або послугами, процесами, роками, сезонами, регіонами, параметрами технологій тощо, або їхніми групами.

Права частина вікна VEDA-BE містить дев'ять закладок, які призначені для формування необхідних фільтрів, що застосовуються при формуванні таблиць VEDA-BE.

1. Атрибут (Attribute): відображаються характеристики елементів моделі, наприклад потужність чи активність процесу, енергомісткість, вартісні показники тощо.
2. Продукт (Commodity): продукти або форма енергії, матеріали, викиди або категорії попиту, які, як правило, об'єднуються в групи для більш агрегованого представлення даних.
3. Процес (Process): усі процеси, що задіяні в моделі. Так само як і продукти, вони об'єднуються в групи для більш агрегованого представлення даних.
4. Період (Period): подаються усі контрольні роки моделі.
5. Регіон (Region): вказується перелік усіх регіонів, що задані в моделі.
6. Сценарій (Scenario): кожне прорахування моделі, що охоплює повний набір даних і результати, відповідає окремому сценарію. Всі завантажені сценарії до VEDA-BE відображатимуться в цій закладці.
7. Модельний горизонт (Time Slice): набір періодів часу, в яких можуть відобразитися результати моделювання.
8. Часові періоди (Time Slice): відображаються всі можливі часові періоди.
9. Старіння (Vintage): дозволяє відслідковувати в контрольних роках технології, для яких характерне старіння з часом.

За допомогою готових таблиць VEDA-BE можна оперативно аналізувати структуру покриття попиту на енергію, тіньові ціни на паливо або послуги, викиди шкідливих речовин, загальні та секторальні витрати енергосистеми (постійні та змінні витрати, інвестиції), еластичності та багато іншого.

Створення нової таблиці вимагає вибору елементів з указаних вище закладок. VEDA-BE є потужним, гнучким інструментом для створення та використання складних таблиць. Для якісного проведення аналізу результатів моделювання в VEDA-BE використовується принцип агрегації даних у групи або множини за певними ознаками. Ця можливість є дуже корисною, коли, наприклад, потрібно створити набір усіх товарів, що споживаються конкретним сектором або галуззю, або можна створити групу процесів, що містить усі процеси, які виробляють певний продукт тощо.

За мовчазною згодою, у VEDA-BE визначені стандартні групи процесів та продуктів, яких налічується вісім, а саме: всі станції, що виробляють електроенергію та тепло (CHP); усі електростанції, що виробляють тільки електроенергію (ELE); станції, що виробляють тільки тепло HPL; імпорт, експорт та власний видобуток (IRE); трансформаційні енергетичні процеси (PRC); матеріальні процеси (PRW); пристрої кінцевого споживання або кінцевий попит (DMD); технології, що відповідають процесам зміни фондів (STG). Для продуктів є чотири стандартних групи: попити (DMD), енергетичні ресурси (NRG), матеріали (MAT) та викиди (ENV). Але у більшості випадків користувачу, як правило, необхідно самому створювати різного роду групи технологій або продуктів для більш детального та ширшого вивчення енергетичної системи і процесів, що у ній відбуваються.

Наприклад, створена таблиця "ImportCoal&NGas" (рис. 44) відсортована за групами технологій постачання – "Import" та групами енергоресурсів – "Coal" та "Gas". Група "Coal" містить у собі різного виду вугілля, а в групу "Gas" входять різного роду горючі гази (в даному випадку тільки природний газ). Технології, що відповідають поставкам вугілля та газу з Європейського Союзу, Росії та інших країн світу, згруповані в одну групу – "Import". Структура таблиці "ImportCoal&NGas" може бути легко змінена, якщо перетягнути курсором мишки необхідну групу технологій, енергоресурсів, параметрів у потрібне місце таблиці (у місце заголовків стовпців або рядків). Це дає можливість для дослідників швидко та якісно проводити аналіз результатів моделювання.

У разі коли задана структура енергетичної системи не в змозі задовольнити основну умову задачі – повне задоволення попиту, програмне забезпечення VEDA-TIMES спеціально створює технології "умовного імпорту" матеріалів, енергоресурсів чи попитів, які виробляють ті продукти, яких не вистачає заданій структурі енергетичної системи.

Іншими словами, ці умовні технології з'являються у розв'язку моделі, коли строго математичного розв'язку задачі не може бути взагалі, оскільки задані обмеження – технологічні, політичні, бюджетні та екологічні – не дозволяють існуючим потужностям забезпечити повне покриття попиту на енергію або енергетичні послуги.

Для перевірки характеристик технологій умовного імпорту існує спеціальна таблиця "Check Dummy Imports" (рис. 45), яка є пустою, якщо модель чітко відкалібрована, і є робочою протягом усього періоду прогнозування, в іншому випадку – вона містить дані про енергоресурси, матеріали або попити, що виробляють умовні технології. Ця таблиця важлива для аналізу результатів моделювання, тому що допомагає зрозуміти, де існує проблема в моделі і яка її природа.

ImportCoalNGas

AK: ALL Flows from the MIN/IMP/EXP processes

Original Units: PJ Active Unit: PJ Data values filter:

Attribute: Scenario Region Vintage TimeSlice

Period

ProcessSet	CommoditySet	Process	Commodity	2005	2006	2009	2012	2015	2018	2021	2024	2027	2030
Import	Coal	Import of COACOK From EU	COACOK	2	19	~	3	3	4	4	4	5	5
		Import of COACOK From ROW	COACOK	0	3	~	3	3	4	4	3	2	2
		Import of COACOK From Russia	COACOK	23	39	~	1	1	1	2	2	2	2
		Import of COAHAR From EU	COAHAR	1	3	~	1	2	2	2	2	2	2
		Import of COAHAR From ROW	COAHAR	6	44	~	34	37	40	44	48	52	57
		Import of COAHAR From Russia	COAHAR	157	232	126	38	41	45	49	54	58	64
		Import of COALIG From EU	COALIG	0	0	~	0	0	0	0	0	0	0
		Import of COALIG From ROW	COALIG	0	0	~	0	0	0	0	0	0	0
		Import of COALIG From Russia	COALIG	0	0	~	0	0	0	0	0	0	0
		Gas	Import of GASNAT From ROW	GASNAT	1226	1542	570	621	677	738	804	877	956
Import of GASNAT From Russia	GASNAT		787	132	645	703	766	835	910	992	1082	1179	
Total				2182	2013	1341	1404	1531	1669	1820	1982	2159	2363

Групи процесів та продуктів

Global Filter Applied For: Scenario - UA-BAS-v02

Рис. 44. Форма табличного звіту: первинне постачання

Джерело: авторська розробка.

VEDA-BE дозволяє імпортувати спеціально створені таблиці іншими користувачами і, використовуючи власну базу даних, проводити з ними певний аналіз. Аналогічно таблиці можуть бути експортовані. Імпорт та експорт таблиць зручний тоді, коли група людей виконує один і водночас кожен свій аналіз (дослідження) енергетичної системи але з різними базами даних або для різних країн.

Групи процесів та продуктів

Region	Process	Commodity	SD	SD	ANNUAL	SD	ANNUAL	SD	ANNUAL	SD	ANNUAL	SD	ANNUAL
UA	IMPDEMZ	CCLE	~	~	~	~	4	~	7	~	7	~	7
		CCSE	~	~	8	~	19	~	25	~	25	~	25
		IIS	~	~	~	~	6	~	6	~	9	~	9
		IMPMAZ	~	~	~	~	4	~	~	~	~	~	~
		IMPNRGZ	OILOTH	1	1	~	2	~	2	~	2	~	2

Рис. 45. Таблиця "умовного імпорту"

Джерело: авторська розробка.

Крім того, можна експортувати дані таблиць у форматах Excel, Word, HTML та Text. При цьому новостворений файл буде автоматично названий ім'ям таблиці з додаванням дати та часу створення цього файлу. VEDA-BE дозволяє оновлювати раніше створені файли, якщо таблиці VEDA-BE, які були експортовані в ці файли, і самі файли не були змінені. Використовуючи цей принцип, створюють звітні Excel-файли, які містять набір таблиць, з яких вибирають необхідну інформацію. Прикладом таких звітних Excel-файлів є зведена таблиця енергетичного балансу країни із заданою агрегацією (рис. 46).

Рівень деталізації звітних таблиць забезпечується створенням необхідної кількості таблиць VEDA-BE і відображенням їх у Excel-форматі. Причому можна одночасно експортувати дані для будь-якої кількості сценаріїв з метою порівняння результатів.

Balance25122010RD2.xls [Режим совместимости] - Microsoft Excel

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик

P22 fx

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
		Вирілля	Вирілля	Вирілля	Вирілля	Вирілля	Вирілля	Вирілля	Вирілля	Вирілля	Вирілля	Кокс	Кокс	Кокс	Кокс	Кокс	Кокс	Кокс	Кокс	Кокс	Кокс
		2005	2006	2009	2012	2015	2018	2021	2024	2027	2030	2005	2006	2009	2012	2015	2018	2021	2024	2027	2030
9	Виробництво	1327.40	1374.44	1172.06	1284.30	1589.25	1666.42	1652.50	1667.09	1654.51	1696.64										
10	Імпорт	163.78	241.42	196.69	203.79	170.51	157.74	191.06	191.75	220.23	218.16	24.88	41.48	4.28	13.29	11.65	10.12	8.77	7.55	7.19	7.31
11	Експорт	105.62	74.29	112.71	91.01	80.92	69.64	60.13	47.51	40.38	34.32	41.56	21.96	31.30	25.28	37.66	18.26	15.52	13.19	11.22	9.53
12	Міжнародні морські Бункери																				
13	Зміни фондів	3.17	19.86	-5.75	-17.16	-11.08	-0.78	-5.43	-4.58	-3.72	-2.86	-1.57	-0.95	0.86	-0.65	-0.43	-0.30	-0.20	-0.17	-0.14	-0.11
14	Загальне первинне постачання енергії (TPES)	1382.40	1521.71	1261.80	1394.24	1689.92	1755.30	1788.87	1815.91	1838.08	1883.33	-15.12	20.47	-27.89	-11.35	-25.59	-7.84	-6.55	-5.47	-3.89	-2.12
15	Трансфери																				
16	Статистична різниця																				
17	Електростанції з.к.	-564.05	-679.96	-584.10	-617.88	-766.37	-775.31	-781.32	-794.84	-820.30	-865.41										
18	Електроцентралі з.к.	-21.48	-25.64	-25.64	-26.93	-28.30	-28.28	-28.28	-29.82	-29.82	-29.82										
19	Блок-станції	-15.12	-7.70	-12.44	-58.41	-78.48	-77.65	-82.99	-101.70	-105.30	-108.66										
20	Котельні	-0.17	-1.20	0.00	-1.03	-12.76	-39.14	-39.14	-39.14	-39.14	-39.14										
21	Заводські котельні, окремі	-11.21	-12.70	-13.46	-14.11	-17.56	-17.58	-17.51	-17.21	-16.61	-16.72										
22	Виробництво (вихід) горючих																				
23	Нафтопереробні заводи																				
24	Коксові, брикетні заводи	-571.20	-593.22	-464.69	-503.69	-544.52	-571.81	-594.20	-590.49	-583.38	-561.70	538.23	556.15	427.19	472.17	507.48	536.56	559.06	567.14	547.39	521.24
25	Скrapлення																				
26	Інші типи переробки																				
27	Власне використання	-48.68	-51.52	-41.10	-43.14	-47.93	-51.38	-54.35	-54.75	-54.81	-53.39										
28	Втрати при транспортуванні																				
29	Загальне кінцеве споживання енергії (TFC)	150.50	149.78	120.38	129.04	194.00	194.15	191.08	187.96	188.72	208.49	523.12	576.62	399.30	460.83	481.89	528.72	552.51	551.66	543.50	519.12
30	Промисловий сектор	82.76	84.08	65.64	76.53	146.70	152.66	154.45	155.86	156.21	173.59	485.63	538.87	368.42	428.75	449.86	496.94	520.74	520.02	510.50	484.57
31	Чорна металургія	34.75	34.57	23.22	28.26	86.32	89.26	90.86	90.82	90.56	105.82	478.98	531.34	361.57	419.82	439.21	485.58	508.90	507.63	497.56	470.94
32	Хімічне виробництво	0.13	0.13	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.09	0.47	0.30	0.38	0.43	0.47	0.51	0.51	0.51	0.52
33	Кольорова металургія	0.73	0.46	0.30	0.38	0.43	0.47	0.49	0.52	0.54	0.55	0.09	0.06	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
34	Неметалеві мінеральні вироби	4.40	4.73	3.41	4.40	5.27	5.98	6.17	6.50	6.82	7.13	0.09	0.37	0.16	0.19	0.35	0.23	0.14	0.15	0.15	0.16
35	Трансп. устаткування																				
36	Машинобудування																				

Готово

Рис. 46. Зведена таблиця енергетичних балансів України на 2005–2030 роки

Джерело: авторська розробка.

Крім представлення результатів моделювання в VEDA-BE є можливість представити їх у графічному вигляді (рис. 47). Графік, так само як і таблиця VEDA-BE, може бути легко скопійований в буфер обміну і згодом вставлений у потрібне місце.

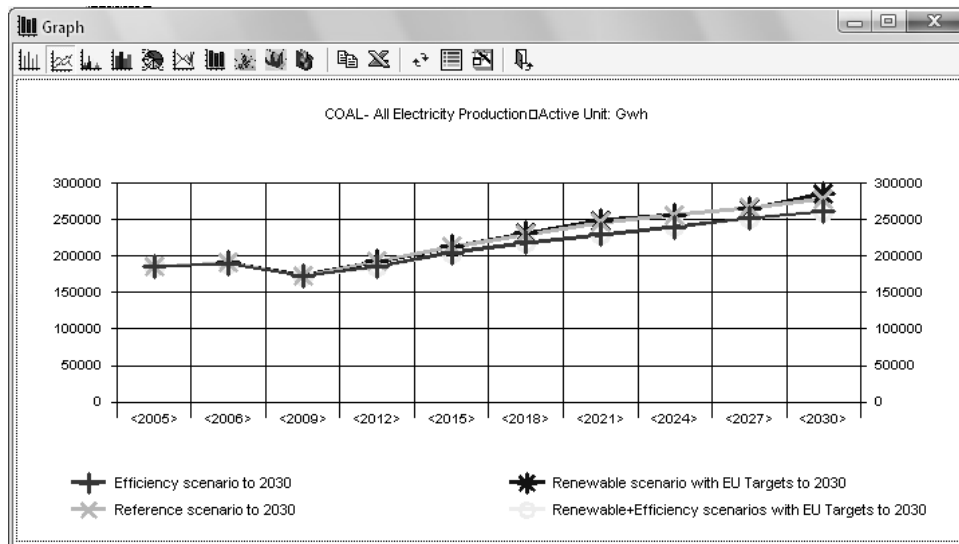


Рис. 47. Порівняння результатів прогнозування за різними сценаріями розвитку

Джерело: авторська розробка.

Таким чином, модель є зручним потужним інструментом як для виконання задач із моделювання і прогнозування розвитку енергетичної системи, так і для аналізу альтернативних сценаріїв. Рівень деталізації моделі робить можливим її використання як на мікрорівні, так і в масштабах всієї країни і дослідженням впливу на енергетичну систему макроекономічних показників, таких як інфляція, доходи населення тощо.

Оскільки модель "TIMES-Україна" може бути корисною державним органам виконавчої влади, науково-дослідним установам, а також великим державним та приватним енергетичним компаніям, слід враховувати кваліфікацію користувачів, які будуть з нею працювати, передбачати заходи щодо полегшення їх роботи і видалення помилок. Крім використання ефективно налагодженої обробки помилкових ситуацій у програмному середовищі VEDA-TIMES, яка у більшості випадків вказує місце і тип помилки з можливим поясненням шляхів її усунення, розробники моделі "TIMES-Україна" намагалися застосовувати підписи даних, для того щоби більш інформативно представити елементи моделі та вхідні дані.

Перед початком використання моделі "TIMES-Україна" слід, перш за все, ретельно проаналізувати діапазони заданих вхідних даних і очікуваний результат. Ефективним представляється розділення процесу дослідження на два етапи. Перший – використовувати модель у вигляді "чорного ящика", маніпулюючи вхідними даними. Це дозволить визначити ступінь чутливості моделі, зрозуміти її гнучкість тощо. На другому етапі необхідно перейти безпосередньо до дослідження її мікроструктури, оцінюючи поведінку кожного елемента моделі.

Програмне забезпечення VEDA-TIMES постійно вдосконалюється розробниками, і його оновлення є необхідним. За наявності ліцензії на його використання оновлення є безкоштовним.

6. БАЗОВИЙ СЦЕНАРІЙ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

▣ Умови базового сценарію

Базовий сценарій відповідно до макроекономічного розвитку України не передбачає яких-небудь радикальних змін у технологічній структурі енергетичного сектора, будучи зосередженим на розширенні часу роботи існуючих потужностей з певними змінами (поліпшенням) їх діяльності в рамках існуючого графіка ремонтів і реконструкції. Це на сьогодні видається найбільш імовірною перспективою. За рахунок амортизації та виведення з експлуатації старих потужностей передбачається диверсифікація енергетичних потоків за рахунок уведення нових або модернізації існуючих технологій. Зокрема, в промисловості передбачено поступове припинення використання мартенівського способу виробництва сталі до 2020 р. і перехід на конверторний спосіб виробництва, а в цементній промисловості – заміщення "мокрого" способу виробництва цементу на "сухий". Однак у 2030 р. проникнення нових технологій до кожного сектора буде не більшим за 15%. Таким чином, за базовим сценарієм вплив зовнішніх параметрів (макропоказників) буде визначальним, а розрахунки за ним допоможуть оцінити потенціал енергетичного сектора без упровадження альтернативних видів палива та передових енергетичних технологій. Основні припущення щодо макроекономічних показників розвитку економіки України представлені в таблиці 20.

Розглянемо базові умови всіх секторів енергетичної системи України, що задані в моделі "TIMES-Україна".

У секторі постачання враховані резерви викопних видів енергоносіїв за категоріями та технологіями їх видобутку. Видобування розділене за трьома стадіями освоєння та вичерпання родовищ: вже освоєні, підтверджені та непідтверджені запаси. Кожна стадія характеризується вартістю, а також загальними та річними обсягами доступного ресурсу за цією вартістю.

Як зазначалося в розділі 2, технології видобутку нафти і природного газу розділені на нафтовидобувні, газовидобувні, видобування на морському шельфі та інші, що не ввійшли до перелічених. У 2005 р. нафтовидобувні компанії займали частку 69,54% у виробництві нафти і 11,59% у загальному виробництві газу, газовидобувні видобували 69,97% газу та 17,84% нафти. На морському шельфі у 2005 р. видобувалося тільки 6% газу і лише 1,8% нафти. Видобуток нафти залежатиме від рівня споживання нафтопродуктів на внутрішньому ринку (з урахуванням зміни парку транспортних засобів та рівня доходів населення) і наявності виробничих потужностей на українських НПЗ, беручи до уваги збільшення середньої глибини переробки нафти з 70% у 2005 р. до 80% в 2020 році. Крім того, збільшення інвестицій у розвідку та розробку нафтових родовищ у шельфі Чорного моря очікується протягом 2010–2020 рр., що сприятиме збільшенню видобутку нафти. Зростання видобутку природного газу також буде досяг-

нуто за рахунок збільшення інвестицій у розвідку та розробку запасів природного газу в Україні, зокрема на шельфі Чорного моря.

Таблиця 20

Припущення щодо прогнозних макроекономічних показників, %

Категорія	Прогноз (припущення)			
	2011–2015	2016–2020	2021–2025	2026–2030
Приріст ВВП	6,5	7	5	4
Населення	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3
Доходи населення	7,2	8,4	6,8	4,8
Кількість домогосподарств	-1,4	-0,2	-1	-1
Індекс сільськогосподарського виробництва	5	7,1	5	4
Промисловість ¹⁰ :	5	3	2,4	1,4
Виробництво вуглецевої сталі	5	3	2,4	1,4
Металургійне виробництво	6	3,6	2,8	1,8
Виробництво синтетичного аміаку і азотних добрив	4,8	3,8	2,8	1,8
Хімічне виробництво	5,8	4,8	3,8	2,8
Виробництво цементу	5,06	4,2	3,4	2,4
Виробництво вапна	5,06	4,2	3,4	2,4
Виробництво паперу за видами	7	4,4	3,4	2,4
Виробництво незалізних металів	12,8	10,9	8,9	5,8
Виробництво неметалевої мінеральної продукції	6,06	5,2	4,4	3,4
Промисловість, усього	10,8	7	4,4	3,4
Сектор послуг (додана вартість)	11,7	17,6	2,1	2,1
Транспорт (додана вартість)	5,9	5,4	4,4	3,4
Вантажні перевезення (вантажооборот)	5,9	5,4	4,4	3,4

Джерело: побудовано за власними розрахунками.

Видобуток вугілля розділено на чотири категорії: три групи державних шахт і приватні. Для технологій видобутку встановлені максимальні і мінімальні значення інтенсивності їх використання.

Основним чинником, що визначатиме рівень видобутку вугілля, буде внутрішнє споживання. Зокрема, зростання споживання вугілля на ТЕС стимулюватиме його виробництво. Як результат – зростання попиту на вугілля на внутрішньому ринку і підвищення продуктивності шахт у зв'язку з реструктуризацією вугільної галузі вимагатимуть значного збільшення обсягів видобутку вугілля. Максимальні і мінімальні обсяги поставок вугільної продукції були оцінені на підставі показників 2005–2010 років.

Видобування або виробництво неенергетичної сировини, такої як залізна руда, вапняк, металобрухт тощо, представлено відповідними технологіями з кількісними і вартісними параметрами щорічного видобування. Для матеріальних ресурсів їхні верхні межі видобутку приблизно становлять: 80 млн т – для залізної руди; 5,5 млн т – для вапняку; 3,5 млн т – для брухту чорних металів; 4 млн т – для каоліну; 1,5 млн т – для гіпсу. Для

¹⁰ Загальний показник зростання для корисної енергії, заснований на прогнозах для різних енергетичних послуг у кожному секторі.

алюмінієвого та скляного брухту, деревини, макулатури тощо верхня межа їхнього видобутку або збирання не перевищує 1 млн тонн.

Стосовно перспектив внутрішнього національного виробництва такий процес є обмеженим. Ці обмеження відповідають прогнозним обсягам виробництва енергоресурсів, закладеним в Енергетичній стратегії України до 2030 р. і дещо відкориговані нами, враховуючи сьогодишню ситуацію. Так, за 2005 базовий рік відсоток внутрішніх поставок первинного палива в загальному балансі становив лише 51,3%. Зокрема, внутрішнє видобування вугілля — 26,5% від загальних поставок первинного палива, природного газу — 13,6%, уранової руди — 6,6%, нафти — 3,9%. У середньостроковій перспективі очікується збільшення частки власних енергетичних ресурсів в енергетичному балансі за рахунок збільшення продуктивності праці, потенціалу вугільної і нафтогазової галузей.

Розвиток енергетичного сектора характеризуватиметься помірним зростанням інвестицій в основний капітал. Хоча в таких умовах важко очікувати на відкриття значної кількості нових родовищ вуглеводнів або вугільних шахт, інвестиції в існуючі потужності допоможуть підтримати поточні обсяги виробництва і навіть дещо їх наростити. Тоді як нафта і природний газ відновлять зростання на 15–20% до 2020 р., для вугільної промисловості, за оцінками експертів ППВС, щорічні капітальні інвестиції на рівні 5 млрд грн можуть забезпечувати зростання потенціалу видобутку вугілля до 102 млн т на рік при збереженні основних показників якості вугілля на рівні 2010 р. *У цьому випадку, як і в більшості подібних припущень, йдеться тільки про максимальний обсяг видобутку (верхня межа), тоді як оптимальний рівень видобутку того чи іншого енергоносія розраховуватиметься за кожним з альтернативних сценаріїв з урахуванням його економічної доцільності (або попиту на нього).*

Щодо експорту та імпорту енергетичних ресурсів і промислової продукції, то для збереження поточних тенденцій та запобігання викривленню структури і обсягів зовнішньої торгівлі відносно базового року на них були накладені обмеження можливої щорічної зміни. Враховуючи зростання попиту на енергію та необхідність повного задоволення цього попиту, припускаємо, що імпорт енергоресурсів та промислової продукції не зростатиме або спадатиме більш як на 3% щорічно. Коли енергоресурсів або промислової продукції не вистачає для задоволення власних потреб, експорт звичайно зменшується або взагалі припиняється. З розвитком базових секторів України в майбутньому прогнозується зростання імпорту енергоресурсів, тому в моделі зроблені припущення, що дозволяють припинення, зменшення або зростання експорту не більш як на 3% щорічно.

Міжнародна торгівля за всією номенклатурою енергоресурсів та деякими видами промислової продукції представлена в моделі окремими процесами за регіонами — торгівля з країнами Європейського Союзу, Росією та іншими країнами світу. Варто зазначити, що на 2005 р. імпорт енергоресурсів з Європейського Союзу був на рівні 0,6%. В основному імпорт відбувався з Росії (55,8%) та інших країн. Ціна імпортних енергоресурсів — це їхня ціна на українському кордоні.

Припускається, що рівень умовно постійних витрат, які не включають витрати на паливно-мастильні матеріали для обслуговування всіх енергетичних технологій, протягом усього прогнозованого періоду зберігатиметься сталим. Темпи зміни цін на енергоносії у зовнішній торгівлі відповідає прогнозам Міжнародного енергетичного агентства.

Загальна структура споживання енергоресурсів визначатиметься темпами модернізації та заміною енергетичних технологій, робота яких спрямована на задоволення потреб у енергопостачанні. Структура цих потреб є різною і залежить від характеру діяльності кожної окремої категорії споживачів: термообробка, машинний привід, транспортування, зберігання, виробництво, освітлення, опалення житла, приготування їжі тощо. Іншими словами, обсяги споживання кожного конкретного ресурсу енергії залежать від технологічної структури в промисловості, структури потужностей, задіяних у виробництві електроенергії тощо.

Отже, базовий сценарій визначає структуру постачань первинних енергоресурсів (ПЕР), частку власних ПЕР та обмеження на диверсифікацію постачань первинних ПЕР. Він ґрунтується на існуючих програмах, політиці адміністративного регулювання та протекціонізму відносно окремих галузей або компаній ПЕК в енергетичній сфері та відповідає ситуації "статус-кво", тобто збереженню наявних тенденцій в ПЕК та суміжних секторах.

Як зазначалося, *сектор виробництва і постачання електроенергії та тепла* розділений за категоріями станцій: на електростанції загального користування та автовиробників. З рис. 11 (с. 69) видно, що у 2005 р. частка електроенергії, яку виробляли ТЕС, становила 31,99%, ТЕЦ – 9,84%, АЕС – 50,98%, ГЕС та ГАЕС – 7,16%, ВЕС – 0,02%. Припускається, що в майбутньому в електроенергетичному секторі триватиме пріоритетність у використанні вугільних блоків. Однак частка вугілля в структурі паливостачання на ТЕС залишатиметься незмінною, на рівні 2009–2010 років. Основне навантаження базового виробництва електроенергії, як і раніше, припадатиме на атомні електростанції, які зберігатимуть свою частку на рівні 50% з можливим 2–3% відхиленням. У 2005 р. станціями загального користування вироблено 47,78% тепла, з якого 60% – котельнями, 35,46% – ТЕЦ, 2,33% – ТЕС, 2,17% – АЕС. Решта – 52,22% – тепла в Україні у 2005 р. вироблено автовиробниками.

Загальна встановлена потужність ТЕС на базовий 2005 р. в Україні становила майже 20 ГВт, ТЕЦ – 20,5 ГВт, АЕС – 13,84 ГВт. В базовому сценарії розвитку передбачається, що до 2015 р. завершиться будівництво двох додаткових блоків на Хмельницькій АЕС із загальною встановленою потужністю 2 ГВт і до 2020 р. будуть збудовані нові блоки АЕС, встановлена потужність яких становитиме ще 2 ГВт. Загалом встановлена потужність АЕС у 2030 р. не перевищуватиме 15,84 ГВт. Між тим уряд не створюватиме додаткові (нецінові) стимули до скорочення використання природного газу як основного палива для ТЕЦ, блок-станцій, виробництва комунальних послуг тощо. Таким чином, проголошена стратегія поступової відмови від цього палива здійснюватиметься тільки у разі відносно тривалого паритету цін між природним газом і альтернативними йому видами енергоресурсів, наприклад мазутом.

За виробництво гідроенергії відповідають дві технологічні структури: одна – державна акціонерна компанія "Укргідроенерго", що містила в собі у 2005 р. виробництво 83% гідроенергії, друга – решта виробників. Припускається, що розвиток гідроенергетики буде спрямований на збільшення маневрових потужностей. Встановлена потужність великих гідро- чи гідроакумуючих електростанцій може зрости до 8,35 ГВт у 2030 році.

На сьогодні потужності вітрової енергетики дуже малі і становлять приблизно 90 МВт встановленої потужності. Оскільки в Україні потенціал використання вітрової енергії дуже великий і вже діє так званий "зелений" тариф для виробників електроенергії з використанням вітрової та сонячної енергії, енергії малих рік, припускається, що

потужності вітрових станцій можуть зрости до 4 ГВт, сонячних електростанцій – до 300 МВт, малі ГЕС можуть збільшити свою встановлену потужність на 250 МВт.

З урахуванням очікуваного в 2015–2020 рр. приєднання України до системи UCTE очікується можливе незначне збільшення експорту електроенергії в країни Європейського Союзу, а також ймовірним може бути збільшення експорту електроенергії до Білорусі.

Обсяги міжнародних поставок нафти та її ціна визначають зону можливого використання газу і вугілля в Україні. Ціна на природний газ досить тісно корелює з цінами на нафту. Ситуація на ринках нафти і газу визначає зону ефективного використання вугілля, від якої залежать розміри і напрями міжнародних поставок, а також ціна на вугілля. Оскільки фактично світового ринку вугілля не існує, світові ціни на вугільну продукцію є регіональними цінами, які відображають собівартість, специфіку якості та умови видобутку вугілля.

Прогноз цін на основні види енергетичних ресурсів на внутрішньому ринку враховує той факт, що ціни на нафту і природний газ в Україні наблизяться до рівня світових і змінюватимуться залежно від кон'юнктури світового ринку. Зростання цін на вугілля для енергетичного сектора за умови продовження політики лібералізації стримуватиметься конкурентними цінами на імпортовану продукцію, перш за все цінами на польське вугілля. Тому можна передбачати відносно стабільний рівень цін на вугілля впродовж прогнозного періоду. Ціни на електроенергію зростатимуть упродовж найближчих 5–10 рр. внаслідок необхідності модернізації основних фондів великої та комунальної енергетики.

Зростатиме споживання вугілля і газу промисловим сектором, хоча це зростання матиме екстенсивний характер. Упровадження енергоефективних технологій сприятиме більш раціональному споживанню палива, внаслідок чого зростання обсягів спожитого палива промисловістю буде більш стриманим.

Прогнозується, що в наступних десятиліттях набуде розвитку використання біопалива. Однак уведення принципово нових технологій в базовому сценарії обмежене. Так, наприклад, до 2030 р. частка на автомобільному ринку абсолютно нових авто, таких, що їздять на біодизелі, метанолі, етанолі, водні, електроенергії, не буде перевищувати 5%; в металургії – досконаліші технології виробництва електросталі та процес прямого відновлення заліза не займуть нішу більше ніж 5%; таку ж граничну частку матимуть нові технології в ЖКГ та секторі послуг для опалення приміщень та нагрівання води. Буде розвиватись використання нетрадиційних відновлювальних джерел енергії, таких як вітрова, сонячна та геотермальна енергії, темпи їхнього зростання будуть досить стрімкими, однак обсяги та частка в структурі сектора постачання буде незначною.

Як зазначалось, *промисловий сектор* у моделі "TIMES-Україна" фактично представлений лише обробною галуззю. Досягнення докризових обсягів товарного виробництва в галузях очікується не раніше 2014 р., а в певних секторах важкої промисловості, у тому числі в металургії, цей рівень буде досягнуто навіть пізніше.

У табл. 21 представлено кінцеве споживання енергії для виробництва промислової продукції за основними видами палива та енергії. Ті енергоресурси, що не відображені явно в таблиці, згруповані в стовпці "інше".

Сприятливі умови на зовнішніх ринках можуть привести до швидких темпів збільшення виробництва в деяких експортно-орієнтованих галузях, але за базовим сценарієм зростання індексів промислового виробництва буде помірним. Поточна динаміка капітальних інвестицій у модернізацію виробничих потужностей не дає причин для припу-

щень про фундаментальні зміни у технологічній структурі, а саме зміни характеру споживання енергії в промисловості. І хоча для деяких видів продукції можливість заміни існуючих технологій була прийнята до уваги, передбачається, що заходи технологічного характеру спрямовуватимуться в першу чергу на заміну морально і технічно застарілого обладнання з метою зниження сировинних і енергетичних складових у структурі собівартості, а не на поліпшення виробництва більш складної і більш високоякісної продукції. Заміна виробничих потужностей буде проводитися без збільшення їх номінальної

Таблиця 21

**Кінцеве споживання енергії
для виробництва промислової продукції, ПДж**

Промислова продукція	Вугілля	Кокс	СПГ	Нафто-продукти	Нафта	Мазут	Газ	Коксовий газ	Доменний газ	Біопаливо	Електро-енергія	Тепло	Інше	Усього
Сталь (еквівалент)	3,2			4,2		5,3	105,4	23,2	123,4	~0	66,4	41,7	~0	372,9
Чавун	15,7	436,2	~0	0,1		~0	99,7	0,9	14,2		1,3	6,3	0,1	574,4
Залізорудний концентрат	11,1	42,8	~0	0,5		0,6	24,7	2,7	15,2		4,9	0,4	~0	102,8
Вапно для виробництва сталі	4,8			~0	~0		10,1				0,3		~0	15,1
Кисень для виробництва сталі											15,3	0,4	~0	15,7
Кокс для виробництва сталі	77,3										0,4	2,9	~0	80,6
Алюміній	~0	~0	~0	~0	~0	~0	0,2	~0	~0		0,1		0,1	0,3
Руди алюмінієві	0,4	~0	~0	~0	~0	0,9	5,0	~0	~0		1,7	12,9	0,1	21,1
Інші незалізні метали	0,3	~0	~0	~0	~0	0,8	4,4	~0	~0		13,2	2,1	0,1	20,9
Аміак еквівалент		~0	~0	~0			2,6				3,9	18,3	~0	24,8
Аміак											4,9	6,2	~0	11,0
Інші хімічні вироби	0,1	~0	~0	0,1	~0		7,2	0,5			8,9	30,7	0,7	48,1
Цемент			~0	~0	~0		37,8				4,5		~0	42,3
Клінкери цементні				~0	~0		15,5				~0		~0	15,5
Вапно	0,8				~0		1,7				~0		0,1	2,6
Скло еквівалент		~0		~0			8,2			~0	0,7	0,6	~0	9,5
Вилизне скло		~0		~0			3,8			~0	0,8		~0	4,6
Листове скло		~0		~0			3,0			~0	0,2		~0	3,2
Інші неметалеві мінеральні вироби	2,7	0,1	~0	0,2	0,1	0,3	22,2	0,7		~0	5,1	6,4	1,1	38,8
Папір еквівалент	0,0		~0	~0			0,8			~0	1,7	3,8	~0	6,3
Папір											1,4	2,9	~0	4,3
Картон											0,3	0,4	~0	0,7
Автовиробництво електроенергії та тепла	3,4	~0		0,3	0,4	4,6	217,1	5,7	42,5	0,4	1,4		~0	275,8
Виробництво тепла бойлерами	0,1	~0	~0	~0		~0	0,8	~0	0,1	~0	1,0		0,1	2,1
Умовний попит в промисловості	1,8	~0	0,7	54,2	0,1	0,3	21,9	9,4		0,2	11,4	25,9	1,0	126,8
Інша промислова продукція	6,0	6,4	0,1	6,5	0,6	1,9	46,6	0,2	0,2	0,2	80,9	106,9	2,9	259,4
УСЬОГО	122	479	0,7	59,4	0,6	12,8	592	43	195	0,6	150	162	274	2091

Джерело: побудовано за даними Державної служби статистики України.

потужності. Тільки в другій половині прогнозованого періоду, після розширення асортименту продукції та поліпшення її якості можна очікувати поступової трансформації структури споживання зі збільшенням частки електроенергії та поновлюваних джерел енергії в кінцевому споживанні.

На *транспортний сектор* у базовому 2005 р. припадало 6,08% кінцевого споживання енергії і палива. При цьому лівова частка пального (80,5%) йшла на задоволення потреб автомобільного транспорту, з якої 69,3% палива споживалось приватним автомобільним транспортом.

Припускається, що структура споживання палива та енергії автомобільним транспортом сильних змін не зазнає, а найбільша частка споживання буде припадати на нафтопродукти. Також у моделі припускається, що частка гібридних серед усієї кількості автомобілів в Україні в 2030 р. не перевищуватиме 2,5%. Причому до 2015 р. частка цих авто буде меншою за 0,05%. Ще меншу частку матимуть електромобілі. Їх розвиток в Україні в 2030 р. може досягти 1%, якщо вартість самих авто та їх обслуговування буде конкурентною за вартістю автомобілів, що їздять на традиційних видах палива. Ще однією новинкою на вітчизняному автомобільному ринку можуть стати автомобілі, що використовують водень як паливо. Однак ці автомобілі не зможуть зайняти частки на ринку більше ніж 1%. Отже, за базовими припущеннями, що зроблені в моделі "TIMES-Україна", частка автомобілів, які їздять на альтернативних видах палива, не перевищуватиме в 2030 р. 5%, причому в 2015 р. вона може становити лише 1%. Можливе також зниження споживання дизельного пального автомобільним транспортом в межах 2–3%.

Зростання споживання електроенергії залізничним транспортом збільшить її частку в загальній структурі споживання.

Згідно з табл. 17 (с. 58) "Структура споживання палива та енергії населенням в 2005 р." для *населення* частка кінцевого споживання енергії та палива у базовому 2005 р. становила 28,13%, для *комерційного та бюджетного секторів* – 5,69%. Серед житлових і нежитлових будинків розподіл енергії та палива відбувався відповідно у співвідношенні – 84,53% та 15,47%, а серед житлових сільських, міських та багатоквартирних відповідно – 29,6%, 39,8% та 31,6%. Серед великих і малих нежитлових будинків споживання палива та енергії поділене у співвідношенні 1:3.

На опалення приміщень у житлових будинках у 2005 р. використовувалось 83,6% спожитої енергії та палива, в нежитлових будинках – 72%; на нагрівання води відповідно – 9,5% та 9,12%; на приготування їжі – 3,3% та 2,65%; на освітлення – 1,08% та 7,87%; решта – на інші потреби.

Станом на 2005 р. у бюджетному секторі та секторі послуг домінуючими у структурі споживання енергії та палива були тепло (28,9%), природний газ (21,2), електроенергія (20,3), нафтопродукти (18,7%). Прогнозується, що така структура дещо зміниться за рахунок збільшення частки електроенергії.

На 2005 р. у структурі споживання енергоресурсів населенням природний газ займав 73,1%. Прогнозується, що ця частка може бути зменшена до 58%, за рахунок збільшення обсягів використання біопалива та електроенергії. Припускається, що використання природного газу для опалення приміщень знизиться не менш як на 10%, але не більш як на 20% до 2030 року. Споживання вугілля для цих же потреб буде залишатися сталим у структурі загального споживання. Частка використання газу для нагрівання води не буде зростати. Для сільського населення верхня її межа становитиме 90%,

для жителів міських приватних будинків – 95%, а мешканців багатоповерхівок – 45%. Однак, якщо будуть проведені в цій частині диверсифікаційні, енергозберігаючі заходи, то використання газу для нагрівання води для всіх категорій споживачів можна знизити на 30% у 2030 р.

В базовому сценарії припускається, що для освітлення приміщень населення поступово переходитиме на енергоощадні лампи. Причому використання старих може знизитись на 40% у 2030 р. порівняно з базовим 2005 р. Хоча населення і почало використовувати більш ефективне енергообладнання, останнім часом все одно спостерігається щорічне збільшення споживання електроенергії на 7–10%.

Структура споживання енергії комерційним та бюджетним секторами може дещо трансформуватися. Можливе зростання споживання електроенергії цим сектором на 7–10% для опалення приміщень, а також зростання централізованого постачання теплової енергії в межах 5%, споживання природного газу для опалення малих приміщень може зрости в 3,5 рази, при цьому споживання вугілля неодмінно впаде, а для великих приміщень це зростання може виявитись незначним. Використання біопального для опалення приміщень може зрости з 0,7% у 2005 р. до 10% у 2030 р. для малих будівель, а для великих – з майже нуля до 5%. Споживання електроенергії для нагрівання води може впасти не більше як на 10%. Частка використовуваних енергоощадних ламп для освітлення в комерційному та бюджетних секторах може становити 80% починаючи з 2015 р.

Також передбачається, що не більше 5% бойлерів, які використовуються для нагрівання води населенням і в комерційному та бюджетному секторах, будуть мати ККД понад 90%.

В умовах постійно зростаючих цін на основні види енергоресурсів та значної зовнішньоекономічної залежності від постачальників енергоносіїв, питання покращення показників енергоефективності та зменшення споживання енергоресурсів населенням, в бюджетному та комерційному секторах набувають особливої актуальності у зв'язку із необхідністю економії витрат на їхнє утримання. Тому в моделі передбачається, що до 2030 р. будуть проведені санаційні роботи з покращення енергоефективності будівель, однак частка таких будівель становитиме не більш як по 5% окремо серед сільських, міських та приватних будинків. Також максимум по 5% прогнозується санація малих та великих будівель у бюджетному та комерційному секторах.

Підвищення цін на природний газ прогнозовано може вплинути на рівень його споживання. Комунальна енергетика вже сьогодні змушена шукати альтернативу природному газу, тому прогнозується значне зменшення частки його використання в цьому секторі.

У *сільському господарстві* очікується зростання споживання палива та енергії. Відповідно такому зростанню необхідно буде забезпечити цю галузь великою кількістю нафтопродуктів, вугілля, електроенергії та тепла. Усього в сільському господарстві на кінцеве споживання припадає 84,55% енергоресурсів, зокрема на сільськогосподарські роботи – 59,83%; на виробництво електроенергії і тепла – 11,87%, на неенергетичне споживання – 3,58%.

Що стосується *інших параметрів моделі*, то припускається, що ВВП України у 2030 р. порівняно з 2005 р. може зрости більш як у два рази із урахуванням наслідків світової фінансової кризи 2008–2009 років.

Населення. Кількість жителів України на кінець 2005 р. становила 47,1 млн, на 2030 р. за неоптимістичними прогнозами може скоротитися на 12%. Кількість людей на одне

домогосподарство в базовому році в середньому становила 2,68 людини. Знову ж таки за неоптимістичними прогнозами цей показник може покращитися до 2030 р. не більш як на 5%, якщо ситуація в країні буде розвиватись так само, як зараз.

Список основних умов базового сценарію наведено в табл. 22.

Таблиця 22

Основні умови та припущення базового сценарію

Сектор / Процеси	Умови та обмеження
Видобуток вугілля	Максимальний видобуток 102 млн т
Зольність вугілля	На рівні 2010 р.
Видобуток газу	Максимальний видобуток 23,1 млрд куб. м у 2018 р.
Видобуток нафти	Максимальний видобуток – 4,2–4,5 млн т
Обсяги виробництва сталі	Помірні темпи зростання з виходом на повне завантаження потужностей після 2020 р.
Технології виробництва сталі	Частка мартенівського способу виробництва сталі в 2020 р. зменшиться до 24%, а частка конверторного способу не буде більшою за 74% і не меншою за 70%
Технології виробництва чавуну	Частка нових технологій, в т.ч. пиловугільного вдування, не буде більшою за 2% до 2020 р.
Виробництво коксу метпідприємствами	Залишатиметься стабільною, однак не більше 15%
Нові технології в кольоровій металургії, цементній та паперовій галузі	Частка введення абсолютно нових технологій до 2020 р. буде не більшою за 2%
Нові технології в житлово-комунальному, бюджетному і комерційному секторах	Частка введення нових технологій для опалення приміщення, нагрівання води і кондиціювання буде не більшою за 2% у 2020 р. і 5% у 2030 р.
Виробництво електроенергії АЕС	В 2011–2030 рр. не більше 48% від загального виробництва електроенергії в Україні. Продовження експлуатації існуючих АЕС до 2030 р. і збільшення на 2 ГВт до 2020 р. і на 4 ГВт до 2030 р.
Виробництво електроенергії ТЕС	Введення нових потужностей або реальна модернізація на існуючих ТЕС, не більше 10% до 2020 р. і 25% до 2030 р.
Частка вугілля у споживанні палива ТЕС	Продовження попередньої тенденції років (у середньому частка вугілля в структурі споживання палива на ТЕС не менше ніж на 95%)
Виробництво тепла комунальними котельнями	Не менше 40% від загального виробництва до 2013 р., та 32% – до 2030 р.
Виробництво тепла комунальними газовими котельнями	Не менше 95% від загального виробництва тепла котельнями до 2015 р. і 80% – до 2030 р.
Вартість палива	Дотації щодо енергоресурсів для всіх типів споживачів до 2020 р. будуть відмінені, а тарифи економічно обґрунтовані
Темпи зростання ціни імпортованого палива	Відповідатимуть середньому прогнозу Міжнародного енергетичного агентства

Джерело: авторська розробка.

▣ Розрахунки за базовим сценарієм енергозабезпечення

Сектор постачання. Виходячи з обмежень, які були задані щодо внутрішнього виробництва різних видів енергоресурсів і того, що ціна їх завжди менша за ціну імпорту, зростання внутрішнього виробництва енергоресурсів буде очевидним і логічним процесом (рис. 48).

Загалом, оцінюючи результати моделювання базового сценарію розвитку енергетичної системи України, часовий горизонт моделювання умовно може бути поділений на три інтервали: перший – докризовий (2005–2008 рр.), кризовий (2009 р.) та післякризовий (2010–2030). Післякризовий період можна поділити ще на 2 періоди: інтенсивного (2010–2020) та помірнього розвитку (2021–2030 рр.).

Слід зазначити, що у секторі постачання виробництво уранової руди може мати найбільші темпи зростання (до рівня, щоб повністю задовольняти власні потреби країни), оскільки згідно з проектом Державної цільової економічної програми "Ядерне паливо України" в Україні планується створити власний замкнутий цикл виробництва ядерного палива. Нафтогазовий сектор буде розвиватися залежно від капіталовкладень. Видобуток газу і нафти в 2030 р. збільшиться на 25% і 10% відповідно.

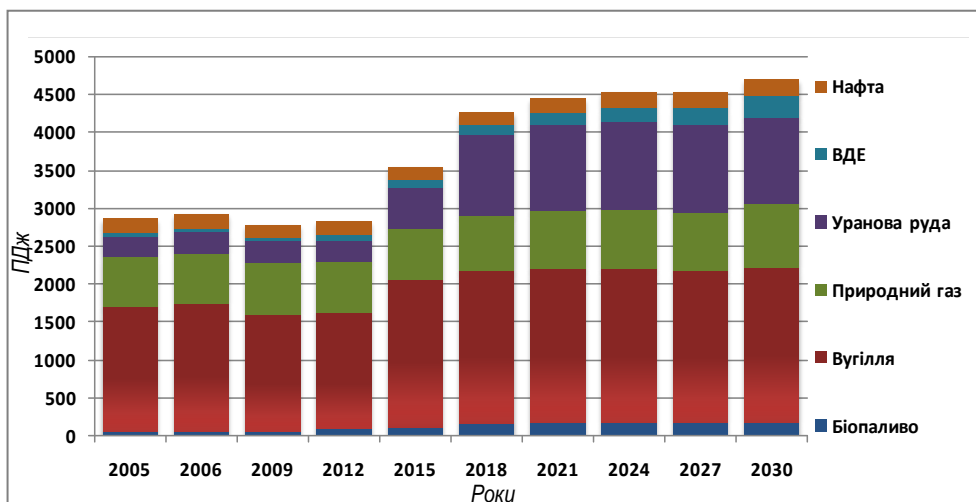


Рис. 48. Видобування основних видів енергоресурсів

Джерело: авторські розрахунки.

Збільшення видобутку вугілля може досягти 23%, причому до 2018 р. може відбуватись значне збільшення. Досягнувши рівня видобутку приблизно 95 млн т рядового вугілля, процес зростання видобутку припиниться. Процес уповільнення може бути пояснений з точки зору насичення внутрішнього ринку вугільною продукцією, а також використанням більш енергоефективних технологій (після 2018) як у вугільній галузі, так і в трансформаційних галузях.

Загальний обсяг імпортованих основних видів енергетичних ресурсів у 2009 р. знизився в основному за рахунок зниження імпорту природного газу (-32%) та вугільної продукції (-23%). Загалом імпорт енергетичних ресурсів в Україні, знизився в 2009 р. приблизно на 21% (рис. 49).

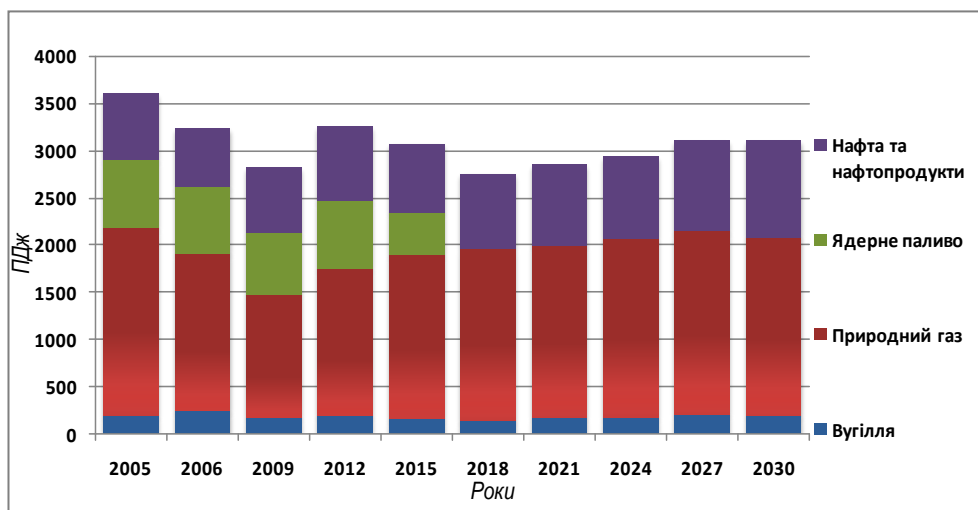


Рис. 49. Динаміка імпорту основних видів енергетичних ресурсів

Джерело: авторські розрахунки.

Однак відповідно до базового сценарію розвитку в 2030 р. прогнозується зниження поставок природного газу в Україні на 5% порівняно з базовим 2005 р., і на 44% більше порівняно з кризовим 2009 р. до 1886 ПДж, або приблизно 57 млрд куб. м. Прогнозується, що імпорт нафти і нафтопродуктів постійно зростатиме і у 2030 р. перевищить рівень базового року на 43%. Серед цих видів енергоресурсів основним буде сира нафта, її частка може зрости з 80–85% у 2005–2009 рр. до 90% у 2030 р. Після падіння промислового виробництва в 2009 р. очікується перехід на нові, енергоефективніші технології. Враховуючи те, що Україна володіє значними запасами різних марок вугілля, то для покриття внутрішнього попиту імпорт вугільної продукції буде незначним (+5% порівняно з базовим роком) і не матиме серйозних темпів зростання. Коксівне вугілля становитиме 90% імпорту вугільної продукції.

У 2009 р. порівняно з 2005 р. падіння поставок первинних енергоресурсів становило близько 10,4%. За нашими прогнозами, воно відновиться до рівня базового року у 2013–2014 роках (рис. 50).

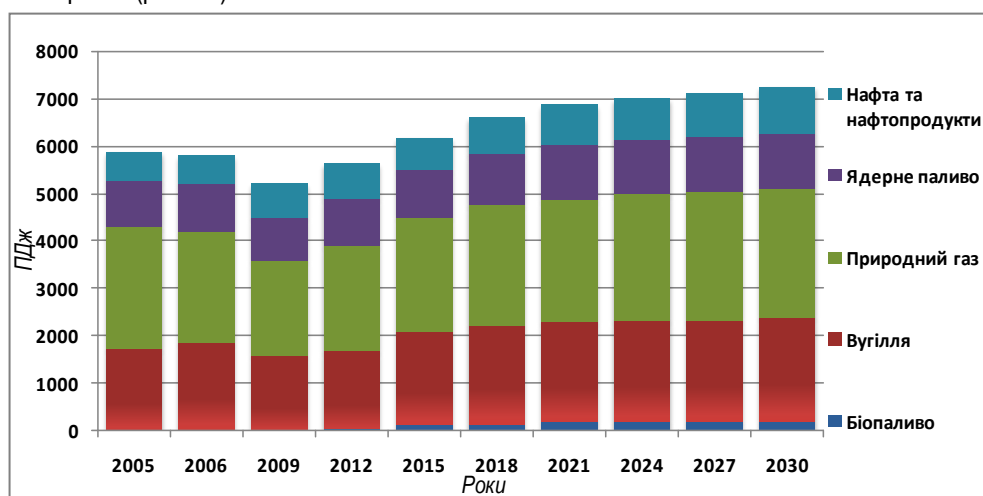


Рис. 50. Динаміка загального постачання основних видів первинних енергоресурсів, ПДж.

Джерело: авторські розрахунки.

Загальні поставки основних видів енергетичних ресурсів у 2030 р. збільшаться приблизно на 23% стосовно базового 2005 р., а порівняно з 2009 р. це зростання може становити до 40%. Постачання практично всіх енергоресурсів, наведених на рис. 50, зросте на 35–40%, крім ядерного палива, попит на яке може зрости на чверть.

Сектор виробництва і постачання електроенергії та тепла. Попит на електроенергію постійно зростатиме (рис. 51). У 2030 р. прогнозується зростання відносно 2005 р. на рівні 56%, а відносно 2009 р. – 65%. Найбільші темпи зростання спостерігатимуться у сільському господарстві, транспортному секторі, а також у промисловості. Порівняно з 2009 р. найменший приріст споживання електроенергії спостерігатиметься у населення, бюджетному та комерційному секторах (до 20%).

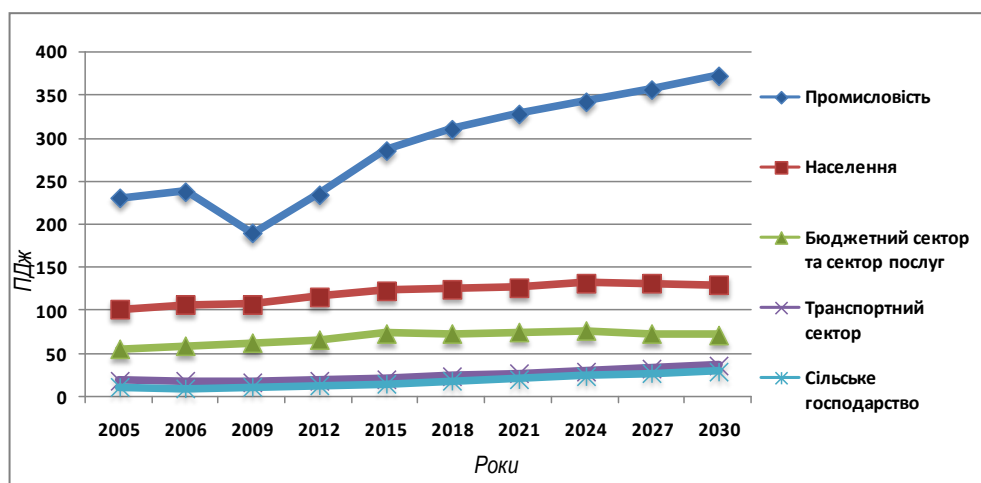


Рис. 51. Попит на електроенергію за секторами, ПДж

Джерело: авторські розрахунки.

Частка населення у споживанні електроенергії до 2015 р. залишатиметься на рівні приблизно 25%, згодом вона зменшиться до 20%. Аналогічна ситуація з бюджетним та сектором послуг. Їхня частка у 2015 р. складатиме 15–16%, а у 2030 р. може також знизитися на 5%. При цьому зростання спостерігатиметься в промисловості – з 56 до 58%, на транспорті – з 4 до 6%, в сільському господарстві – з 3 до 5%.

Згідно з базовим сценарієм, попит на електроенергію постійно зростатиме, досягнувши в 2030 р. 270 млрд кВт год. Це порівняно з 2005 р. становить приблизно на 46% більше (рис. 52).

Прогнозується, що виробництво електроенергії збільшиться в основному за рахунок вугільних і атомних електростанцій, які в сукупності вироблятимуть до 76% електроенергії в 2030 році. Враховуючи рівень будівництва нових блоків атомних електростанцій, частка АЕС у виробництві електроенергії може знизитися з 48 до 38%, а частка вугілля у виробництві електроенергії електростанціями може зрівнятися з АЕС збільшившись з 33 до 38%.

Слід зазначити, що, починаючи з 2012 р., може відбуватися збільшення виробництва автовиробниками (блок-станціями) та відновлювальною енергетикою. Прогнозується, що сукупне виробництво електроенергії цими типами генерації в 2030 р. (крім малих гідроелектростанцій) становитиме 4%. Зростання потужностей ГЕС та ГАЕС і, відповідно, виробництво ними електроенергії приблизно відповідатиме зростанню попиту на електроенергію. Їхня частка в структурі виробництва електроенергії у 2030 р. збільшиться до 11%.

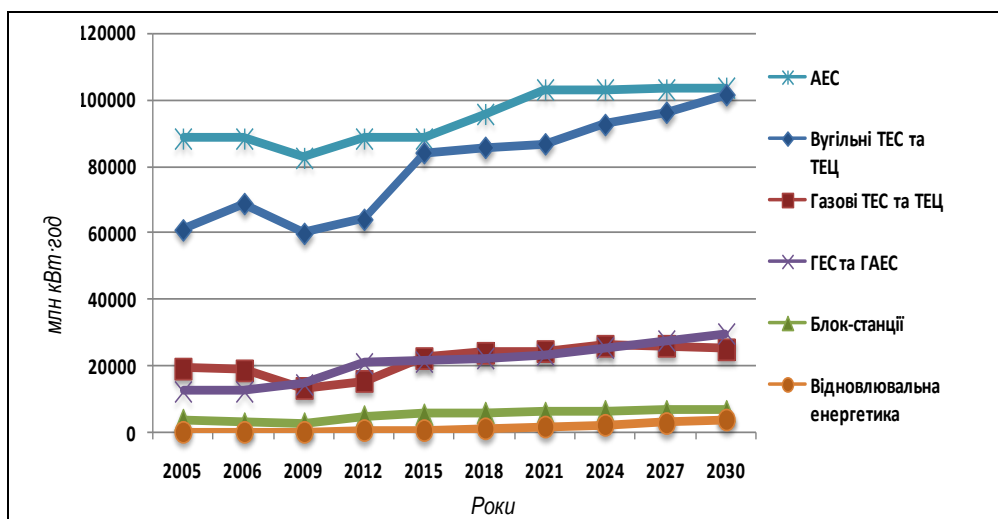


Рис. 52. Виробництво електроенергії за типами генерації

Джерело: авторські розрахунки.

Попит на тепло в Україні постійно зростатиме. Однак, за нашими прогнозами, це відбуватиметься не в усіх секторах. Найбільшими у 2005 р. споживачами тепла були: промисловість (до 59%), комерційний сектор (бюджетний сектор та сектор послуг до 17) і населення (до 20%). За прогнозами, у 2030 р. загальна частка споживання тепла цими трьома секторами знизиться лише на 2%. Однак у 2030 р. промисловість може зайняти до 65% в структурі загального споживання тепла, комерційний сектор зберігатиме свою частку на рівні 17–18%, а частка населення може зменшитися до 11%. При цьому споживання тепла промисловістю збільшиться на 75% відносно 2005 р., комерційним сектором – на 70%, а попит населення на теплопостачання може знизитися на 15% (рис. 53). Звичайно якість опалення приміщень у населення від цього не погіршиться, оскільки більше використовуватиметься автономне опалення та нагрівання води.

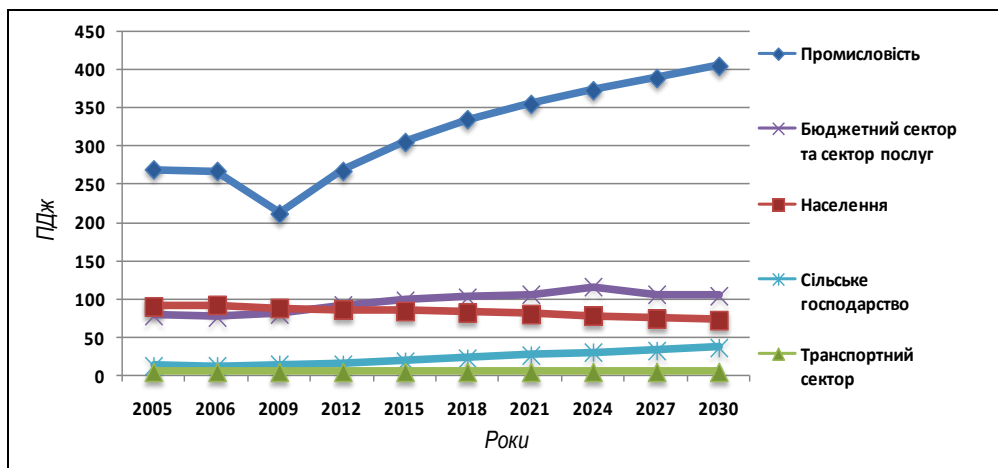


Рис. 53. Попит на тепло за секторами, ПДж

Джерело: авторські розрахунки.

Структура відпуску тепла за видами його виробництва може зазнати деяких змін (рис. 54). Загальний відпуск тепла в 2030 р. може зрости на 27% відносно базового 2005 р., а відносно 2009 р. – майже на 43%. Так, у 2005 р. котельні відпускали приблизно 28% від загальних обсягів, а за прогнозами 2030 р. ця частка може знизитися до 19%, при цьому частка тепла, вироблена автовиробниками, може зрости з 41%

у 2005 р. до 50% у 2030 році. Також може значно зрости виробництво і відпуск тепла вугільними ТЕС та ТЕЦ.

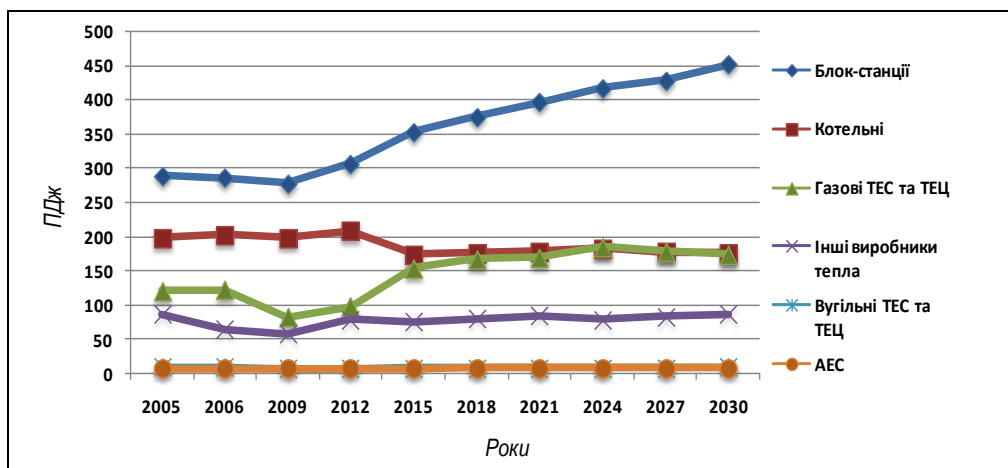


Рис. 54. Відпуск тепла за видами підприємств, ГДж

Джерело: авторські розрахунки.

Кінцеве споживання енергоресурсів. За наведених вище умов, кінцеве споживання енергоресурсів у 2030 р. збільшиться приблизно на 47% відносно базового 2005 р., а відносно 2009 р. може зрости на 70%.

Загалом структура кінцевого споживання енергії та палива у 2030 р. зміниться, однак ці зміни не будуть значними. Електроенергія та нафтопродукти можуть збільшити свою частку на 2% – з 11% (2005 р.) до 13% (2030 р.) і 13% до 15% відповідно. Зменшиться приблизно на 7% частка природного газу і на 4% частка вугілля. Причому рівень споживання електроенергії у 2030 р. порівняно з 2009 р. збільшиться на 79%, природного газу – на 60%, приблизно на 95% збільшиться споживання тепла і на 36% вугілля. Значно може зрости споживання біопалива та інших відновлювальних енергоресурсів, наприклад, сонячної енергії, що може інтенсивно використовуватися для опалення приміщень та нагрівання води (рис. 55).

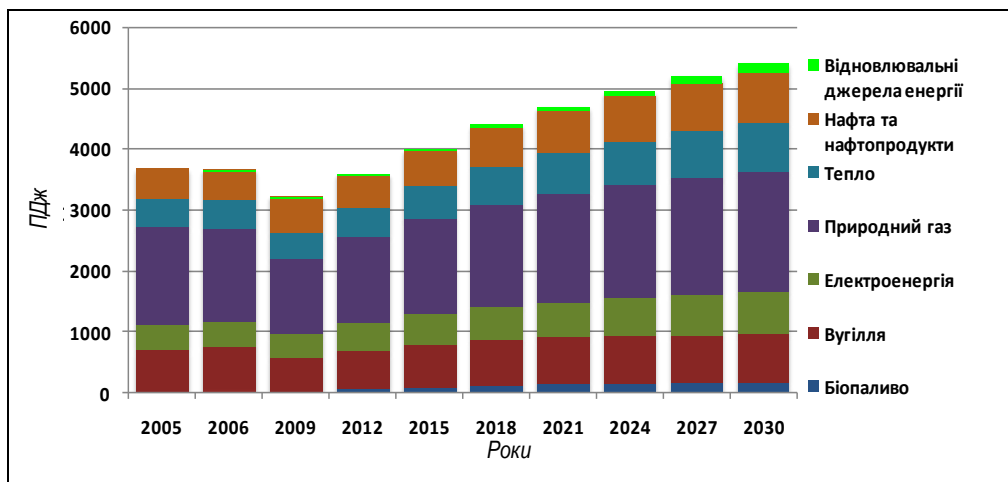


Рис. 55. Кінцеве споживання енергії та палива, ГДж

Джерело: авторські розрахунки.

Щодо структури споживання енергії та палива за секторами, то, як і в базовий рік, більше 54% припадатиме на промисловість, 17% – на населення, приблизно 10% усіх енергоресурсів у кінцевому споживанні припадатиме на транспорт, бюджетний сектор та сектор послуг – 14%, 6% споживатиме сільське господарство (рис. 56).

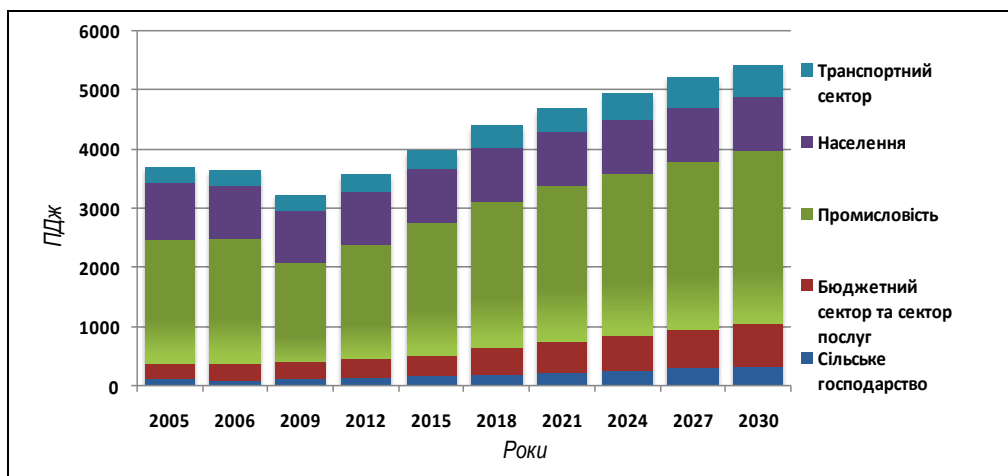


Рис. 56. Кінцеве споживання енергоресурсів за секторами, ПДж

Джерело: авторські розрахунки.

Промисловість. Основними ресурсами в промисловості залишатимуться природний газ (42% у 2005 та 41% у 2030 рр.), вугілля (30% у 2005 і 23% у 2030 рр.), технологічне тепло (13% у 2005 і 16% у 2030 рр.) та електроенергія (11% у 2005 і 14% у 2030 рр.). Зазначені енергоресурси покривають майже 95% усіх потреб промисловості і ця частка протягом усього періоду моделювання залишатиметься приблизно на тому ж рівні (рис. 57).

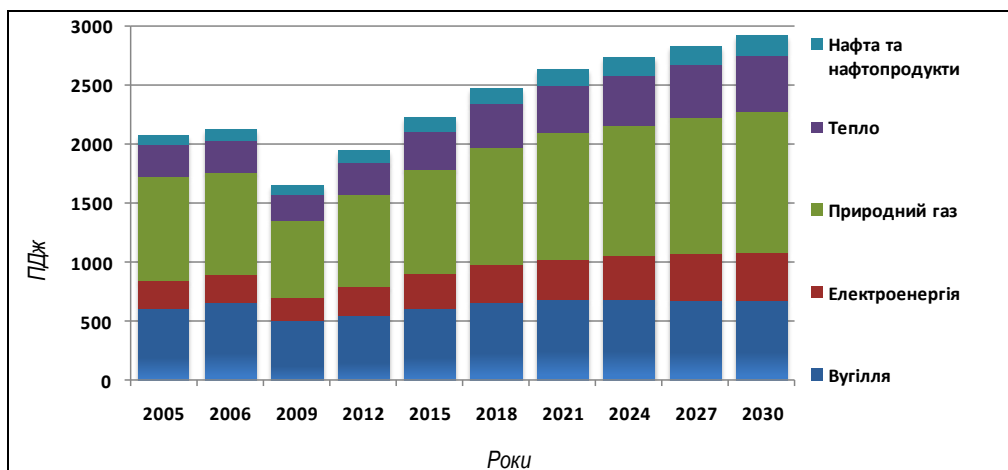


Рис. 57. Споживання палива та енергії промисловістю, ПДж

Джерело: авторські розрахунки.

У промисловості 2005 р. металургійна галузь на виробництво чавуну та сталі використовувала 53,4% усіх спожитих енергоресурсів. У зв'язку з різким падінням металургійного виробництва у 2009 р. і деякою модернізацією та переоснащенням засобів виробництва сталі ця частка у 2030 р. може знизитись до 41,6%. Аналогічно хімічне виробництво зменшить свою частку в структурі споживання палива та енергії промисловістю з 9,6% (2005 р.) до 7,5% (2030 р.). На виробництво неметалевої мінеральної

продукції припадатиме 1,9% спожитої енергії у 2030 році. Натомість на інше промислове виробництво у 2030 р. припадатиме 38,7% усіх спожитих енергоресурсів, що на 13% більше, ніж у 2005 році. Також збільшить свою частку сектор неметалевої мінеральної продукції з 7,3% (2005 р.) до 8,7% (2030 р.).

Населення. Що стосується населення (рис. 58), то тут найбільшу частку в структурі споживання палива та енергії займає природний газ – 67%. Ця частка може знизитися до 60% в 2030 р., тоді як у 2009 р. вона становила 53%.

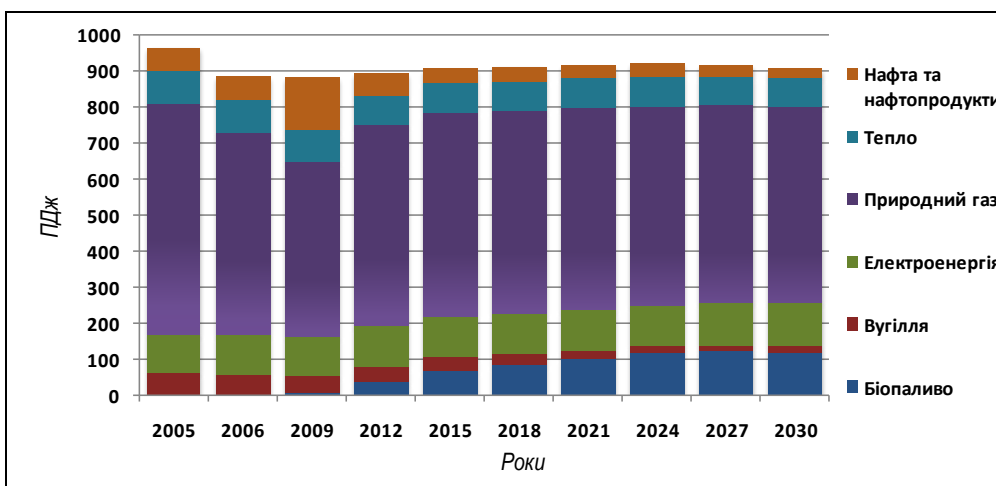


Рис. 58. Споживання палива та енергії населенням, тис. т. н. е

Джерело: авторські розрахунки.

Для задоволення власних потреб населення, за нашими прогнозами, в майбутньому може бути потрібно на 6,5% менше енергоресурсів, ніж у базовому році. В першу чергу це пов'язано із збільшенням використання ним енергозберігаючих технологій. Крім того, в структурі споживання палива та енергії значно може зрости частка біопалива або інших відновлювальних джерел енергії з майже 0% до 13%. Передусім цей енергоресурс може використовуватися для опалення приміщень та нагрівання води. Частка споживання тепла буде незмінною – на рівні 9%.

Найбільше палива та енергії населення використовує для опалення приміщень та нагрівання води, що становить у базовому році 81,4%. У 2030 р. частка споживання може знизитися до 77,5%. На приготування їжі у 2005 р. припадало приблизно 13,4% усіх енергоресурсів, а в 2030 р. ця частка може становити 11,7%. Отже, для задоволення цих основних попитів використовувалось приблизно 96,4% у 2005 р., а в 2030 р. складе 90,7% усіх спожитих енергоресурсів цим сектором. Решта 9,3% йтиме на задоволення таких попитів населення, як прання, прибирання, миття посуду, кондиціонування та використання інших електричних приладів.

Бюджетний та комерційний сектори. Споживання палива бюджетним та комерційним секторами (рис. 59) буде інтенсивно зростати в посткризовий період. Обсяги споживання енергоресурсів цим сектором можуть зрости вдвічі, що обумовлено підтримкою держави розвитку в Україні цього сектора. Структура кінцевого споживання енергоресурсів комерційним сектором була досить диверсифікованою. Частка тепла у 2005 р. становила 28,7%, природного газу – 21,6, електроенергії – 20,2, нафтопродуктів – 18,6, вугілля – 9,9, тобто їх загальна частка становила більше 99%.

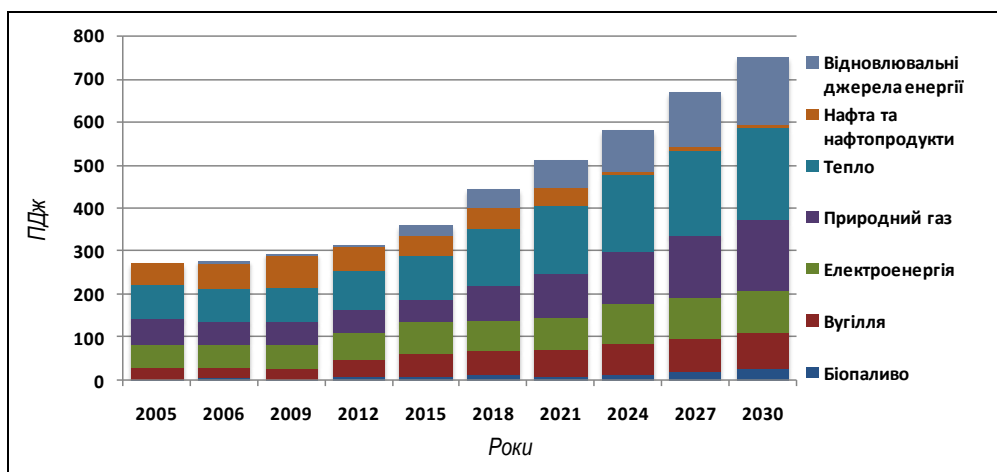


Рис. 59. Споживання палива та енергії бюджетним та комерційним секторами
Джерело: авторські розрахунки.

У 2030 р. зазначені енергоресурси можуть становити разом тільки 67%. За заданих умов оптимізаційної задачі, що розв'язувалася, для цього сектора перспективним є використання відновлювальних джерел енергії для опалення приміщень та нагрівання води. Це в першу чергу стосується використання сонячних батарей та біопалива. Їхня частка може становити до 30% спожитих енергоресурсів комерційним та бюджетним секторами. Використання відновлювальних джерел енергії може витіснити споживання нафти та нафтопродуктів у цих секторах. Основна маса енергоресурсів йде на опалення приміщень та нагрівання води, що у 2005 р. становило 83,5% і, за прогнозами, у 2030 р. може навіть підвищитися на 1%. Варто відзначити, що у зв'язку із збільшенням цими секторами кондиціювання приміщень, збільшиться частка використання енергоресурсів на такий вид попиту в три рази.

Транспортний сектор. Споживання палива в транспортному секторі в 2030 р. (рис. 60) може зрости приблизно у два рази. Як у базовому році, так і в прогнозованому періоді лівову частку в структурі споживання палива будуть займати нафтопродукти, однак їхня частка може зменшитись з 86% (2005 р.) до 82% (2030 р.) за рахунок використання біопалива, яке у свою чергу може зайняти 5%, якщо не будуть застосовуватись спеціальні заходи для її збільшення. У разі виконання Україною європейських директив щодо споживання біопалива автомобільним транспортом, воно замінюватиме, в першу чергу, нафтопродукти. До 2030 р. використання зрідженого природного газу в абсолютному вимірі може збільшитися удвічі, однак його частка в загальній структурі споживання транспортним сектором залишатиметься, як і в базовому році, на рівні 4%. Зростання споживання транспортом нафтопродуктів пояснюється збільшенням кількості автомобілів, збільшенням попиту на перевезення пасажирів та вантажу.

У базовий 2005 р. 44% від споживання палива транспортним сектором припадало на дорожній легковий автомобільний транспорт. Вантажівки споживали 26% пального, міські та міжміські автобуси – 11, залізничний транспорт – 10, цивільна авіація – 4 і водний транспорт – 3%. Решта розподілена між мототехнікою та муніципальним електротранспортом (тролейбуси, трамваї, метро).

За рахунок електрифікації залізничних колій і використання електропоїздів збільшиться ефективність використання палива залізничним транспортом. Це може призвести до зменшення загальної частки споживання палива цим видом транспорту у 2030 р.

до 7%. Також може зменшитись частка споживання пального вантажівками до 25%, автобусами до 5%, муніципальним транспортом до 1%. Натомість частка споживання легковим автомобільним транспортом зросте до 52% і авіаційним до 6%.

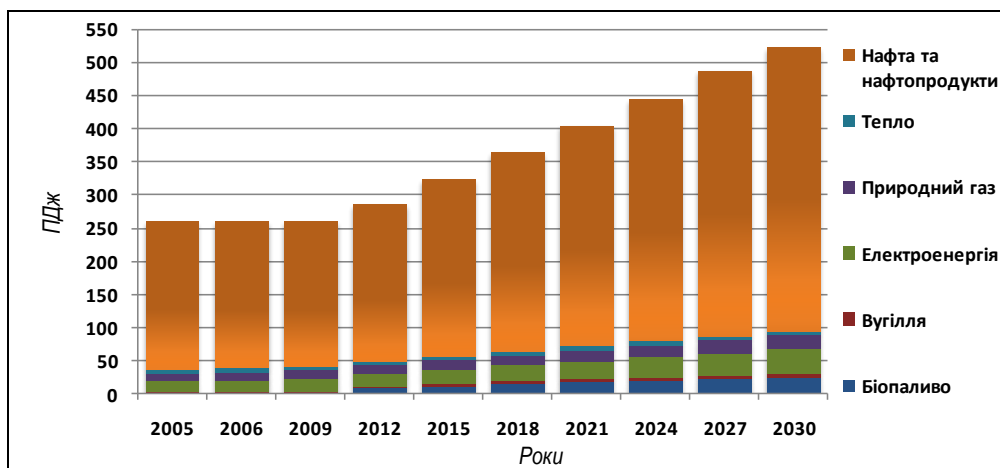


Рис. 60. Споживання палива та енергії транспортним сектором

Джерело: авторські розрахунки.

Сільське господарство. Виходячи з тих умов, що закладені в моделі, споживання енергії та палива в сільському господарстві може зрости майже у три рази. Структура споживання енергоресурсів може зазнати деяких змін. Наприклад, для виробництва електроенергії та тепла на власні потреби може збільшитись використання вугілля, замінивши нафтопродукти та природний газ. Споживання тепла зросте приблизно у 2,8 раза, однак у структурі кінцевого споживання цим сектором його частка залишатиметься на рівні не більше 10%.

Викиди шкідливих речовин. За нашими прогнозами рівень викидів CO₂ в Україні у 2020 р. не перевищуватиме 52% рівня 1990 р., а у 2030 р. буде приблизно на 43% менше, ніж 1990 р. (рис. 61). Однак для більш детального вивчення цього питання

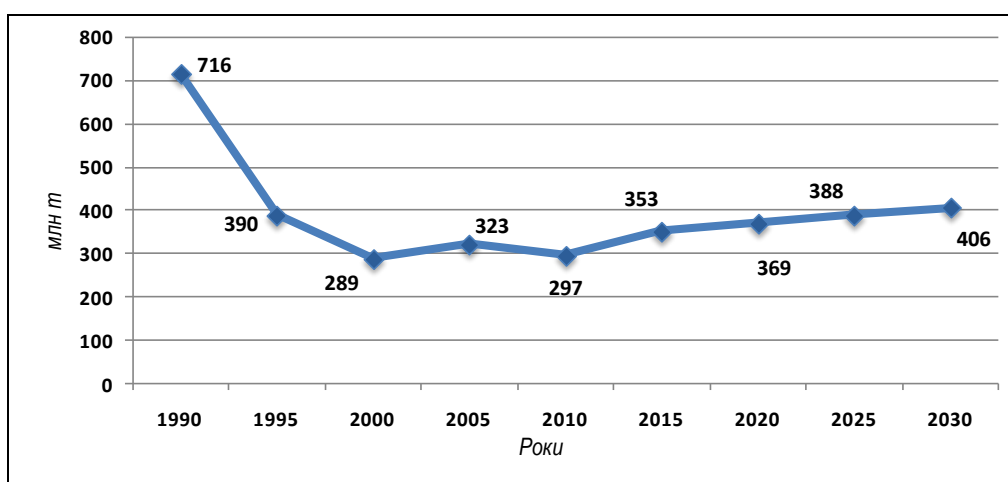


Рис. 61. Рівень викидів CO₂

Джерело: авторські розрахунки.

необхідно провести спеціальне дослідження, оскільки в цій роботі прогноз розвитку енергетичної системи України здійснювався без екологічних обмежень.

Прогнозний енергетичний баланс України до 2030 року

Нижче наведені фактичний та прогнозні енергетичні баланси України (табл. 23, 24,25).

Таблиця 23

Звітний енергетичний баланс України за 2005 р.

Показник	Вугілля	Кокс	Брикети	Сира нафта	Моторне паливо (бензин, дизель)	Мазут	Інші нафтопродукти	Газ	Біомаса (дрова)	Ядерна енергія	Гідроенергія	Вітрова енергія	Електроенергія	Тепло	Усього
Виробництво	1327	0	0	188	0	0	0	663	25	275	45	0	0	0	2523
Імпорт	164	25	0	610	100	0	0	1994	0	719	0	0	0	0	3612
Експорт	106	42	0	4	316	0	0	88	14	0	0	0	32	0	602
Міжнародні морські бункери	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Зміни фондів	3	-2	0	-11	-11	0	0	-70	0	0	0	0	0	0	-90
Загальне первинне постачання енергії (TPES)	1382	-15	0	806	-205	0	0	2638	10	994	45	0	-32	0	5623
Трансфери	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Статистична різниця	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Електростанції з.к.	-564	0	0	0	-2	0	0	-104	0	-994	-45	0	584	16	-1110
Електроцентралі з.к.	-21	0	0	0	0	0	0	-226	0	0	0	0	69	120	-58
Блок-станції	-15	0	0	0	-4	0	0	-125	0	0	0	0	13	87	-44
Котельні	0	0	0	0	0	0	0	-300	0	0	0	0	0	198	-102
Заводські котельні, окремі котли, інші установки (у тому числі утилізаційні)	-11	0	0	0	-9	0	0	-235	-3	0	0	0	-3	289	27
Виробництво (вихід) горючих газів	0	0	0	0	0	0	0	343	0	0	0	0	0	0	343
Нафтопереробні заводи	0	0	0	-805	785	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-20
Коксові, брикетні заводи	-571	538	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-33
Скrapлення	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Інші типи переробки	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Власне використання	-49	0	0	0	-27	0	0	-24	0	0	0	0	-19	-42	-160
Втрати при транспортуванні	0	0	0	0	0	0	0	-317	0	0	0	0	-168	-194	-680
Загальне кінцеве споживання енергії (TFC)	151	523	0	1	536	0	0	1651	8	0	0	0	444	473	3787
Промисловий сектор	83	486	0	1	85	0	0	642	2	0	0	0	258	282	1838
Чорна металургія	35	479	0	0	15	0	0	438	0	0	0	0	90	49	1106
Хімічне виробництво	0	0	0	0	2	0	0	24	0	0	0	0	25	76	127
Кольорова металургія	1	0	0	0	2	0	0	10	0	0	0	0	15	16	43
Неметалеві мінеральні вироби	4	0	0	0	4	0	0	95	0	0	0	0	12	8	124
Трансп. устаткування	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Машинобудування	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Видобування енергетичних матеріалів	36	0	0	1	6	0	0	21	0	0	0	0	29	16	110
Харчова та тютюнова галузь	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Показник	Вугілля	Кокс	Брикети	Сира нафта	Моторне паливо (бензин, дизель)	Мазут	Інші нафтопродукти	Газ	Біомаса (дрова)	Ядерна енергія	Гідроенергія	Вітрова енергія	Електроенергія	Тепло	Усього
Целюлозно-паперова галузь та друк.	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	3	7	13
Деревообробка	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Будівництво	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Текстильна промисловість	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Інша промисловість	7	6	0	0	54	0	0	52	1	0	0	0	84	111	316
Транспортний сектор	2	0	0	0	224	0	0	185	0	0	0	0	20	9	440
Авіа	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Дорожній	0	0	0	0	188	0	0	6	0	0	0	0	2	0	196
Залізничний	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	12	0	24
Трубопровідний	0	0	0	0	3	0	0	178	0	0	0	0	2	3	186
Внутрішній флот	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Невизначений інший	2	0	0	0	5	0	0	1	0	0	0	0	4	6	18
ІНШІ СЕКТОРИ	58	20	0	0	187	0	0	608	6	0	0	0	166	182	1227
АПК	1	0	0	0	73	0	0	4	1	0	0	0	10	13	103
Комерційний	15	0	0	0	49	0	0	21	2	0	0	0	54	78	220
Населення	42	20	0	0	64	0	0	582	3	0	0	0	101	91	904
Невизначені інші															0
Неенергетичне споживання	8	17	0	0	41	0	0	217	0	0	0	0	0	0	282
в хімічній галузі	3	0	0	0	15	0	0	216	0	0	0	0	0	0	233
в інших галузях	5	17	0	0	26	0	0	1	0	0	0	0	0	0	49

Джерело: авторська розробка.

Таблиця 24

Прогнозний енергетичний баланс України на 2015 р.

Показник	Вугілля	Кокс	Брикети	Сира нафта	Моторне паливо (бензин, дизель)	Мазут	Інші нафтопродукти	Газ	Біомаса (дрова)	Ядерна енергія	Гідроенергія	Вітрова енергія	Електроенергія	Тепло	Усього
Виробництво	1589	0	0	151	0	0	0	681	113	551	78	27	0	0	3189
Імпорт	171	12	0	591	131	0	0	1748	0	441	0	0	0	0	3094
Експорт	81	38	0	0	190	0	0	0	12	0	0	0	18	0	339
Міжнародні морські бункери	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Зміни фондів	-11	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-9
Загальне первинне постачання енергії (TPES)	1690	-26	0	739	-59	0	0	2429	101	992	78	27	-18	0	5953
Трансфери	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Статистична різниця	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Електростанції з.к.	-766	0	0	0	-2	0	0	-25	0	-992	-78	-2	700	14	-1152
Електроцентралі з.к.	-28	0	0	0	0	0	0	-237	-1	0	0	0	82	156	-29
Блок-станції	-78	0	0	0	-3	0	0	-85	0	0	0	0	20	75	-72
Котельні	-13	0	0	0	0	0	0	-250	0	0	0	0	0	174	-89

Показник	Вугілля	Кокс	Брикети	Сира нафта	Моторне паливо (бензин, дизель)	Мазут	Інші нафтопродукти	Газ	Біомаса (дрова)	Ядерна енергія	Гідроенергія	Вітрова енергія	Електроенергія	Тепло	Усього
Заводські котельні, окремі котли, інші установки (у тому числі утилізаційні)	-18	0	0	0	-15	0	0	-296	-2	0	0	0	-3	353	20
Виробництво (вихід) горючих газів	0	0	0	0	0	0	0	334	0	0	0	0	0	0	334
Нафтопереробні заводи	0	0	0	-738	727	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-11
Коксові, брикетні заводи	-545	507	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-37
Скраплення	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Інші типи переробки	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Власне використання	-48	0	0	0	-27	0	0	-23	0	0	0	0	-21	-41	-160
Втрати при транспортуванні	0	0	0	0	0	0	0	-206	0	0	0	0	-207	-183	-596
Загальне кінцеве споживання енергії (TFC)	194	482	0	1	621	0	0	1641	99	0	0	24	553	548	4163
Промисловий сектор	147	450	0	1	116	0	0	641	3	0	0	0	318	335	2011
Чорна металургія	86	439	0	0	15	0	0	414	0	0	0	0	96	48	1099
Хімічне виробництво	0	0	0	0	2	0	0	21	0	0	0	0	23	68	114
Кольорова металургія	0	0	0	0	1	0	0	6	0	0	0	0	14	5	26
Неметалеві мінеральні вироби	5	0	0	0	4	0	0	98	2	0	0	0	13	10	133
Трансп. устаткування	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Машинобудування	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Видобування енергетичних матеріалів	42	0	0	1	7	0	0	20	0	0	0	0	35	19	123
Харчова та тютюнова галузь	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Целюлозно-паперова галузь та друк.	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	8	16	27
Деревообробка	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Будівництво	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Текстильна промисловість	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Інша промисловість	12	10	0	0	86	0	0	80	1	0	0	0	130	170	490
Транспортний сектор	3	0	0	0	269	0	0	192	12	0	0	0	23	11	509
Авіа	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
Дорожній	0	0	0	0	226	0	0	8	12	0	0	0	2	0	248
Залізничний	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	13	0	24
Трубопровідний	0	0	0	0	3	0	0	182	0	0	0	0	2	3	190
Внутрішній флот	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Невизначений інший	3	0	0	0	7	0	0	2	0	0	0	0	6	8	26
ІНШІ СЕКТОРИ	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
АПК	2	0	0	0	105	0	0	6	1	0	0	0	15	19	148
Комерційний	9	0	0	0	51	0	0	25	8	0	0	24	74	99	290
Населення	25	12	0	0	37	0	0	592	75	0	0	0	123	84	949
Невизначені інші	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Неенергетичне споживання	8	20	0	0	43	0	0	185	0	0	0	0	0	0	256
в хімічній галузі	2	0	0	0	12	0	0	184	0	0	0	0	0	0	199
в інших галузях	6	20	0	0	31	0	0	1	0	0	0	0	0	0	56

Джерело: авторська розробка.

Таблиця 25

Прогнозний енергетичний баланс України на 2030 р.

Показники	Вугілля	Кокс	Брикети	Сира нафта	Моторне паливо (бензин, дизель)	Мазут	Інші нафтопродукти	Газ	Біомаса (дрова)	Ядерна енергія	Гідроенергія	Вітрова енергія	Електроенергія	Тепло	Усього
Виробництво	1697	0	0	209	0	0	0	836	181	1154	107	167	0	0	4350
Імпорт	218	7	0	921	95	0	0	1886	20	0	0	0	0	0	3147
Експорт	34	10	0	0	255	0	0	0	8	0	0	0	33	0	339
Міжнародні морські бункери	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Зміни фондів	-3	0	0	-1	-1	0	0	-9	0	0	0	0	0	0	-13
Загальне первинне постачання енергії (TPES)	1883	-2	0	1130	-159	0	0	2731	193	1154	107	167	-32	0	7171
Трансфери	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Статистична різниця	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Електростанції з.к.	-865	0	0	0	-2	0	0	-23	0	-1154	-107	-12	855	15	-1293
Електроцентралі з.к.	-30	0	0	0	0	0	0	-258	-5	0	0	0	94	181	-18
Блок-станції	-109	0	0	0	-2	0	0	-77	0	0	0	0	24	80	-83
Котельні	-39	0	0	0	-12	0	0	-212	0	0	0	0	0	175	-88
Заводські котельні, окремі котли, інші установки (у тому числі утилізаційні)	-17	0	0	0	-16	0	0	-386	-5	0	0	0	-4	452	24
Виробництво (вихід) горючих газів	0	0	0	0	0	0	0	363	0	0	0	0	0	0	363
Нафтопереробні заводи	0	0	0	-1128	1112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-16
Коксові, брикетні заводи	-562	521	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-40
Скrapлення	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Інші типи переробки	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Власне використання	-53	0	0	0	-41	0	0	-28	0	0	0	0	-31	-57	-210
Втрати при транспо- ртуванні	0	0	0	0	0	0	0	-151	0	0	0	0	-230	-176	-557
Загальне кінцеве споживання енергії (TFC)	208	519	0	1	879	0	0	1958	184	0	0	155	676	670	5251
Промисловий сектор	174	485	0	1	158	0	0	800	3	0	0	0	407	442	2469
Чорна металургія	106	471	0	0	18	0	0	483	0	0	0	0	120	57	1255
Хімічне виробництво	0	1	0	0	3	0	0	29	0	0	0	0	31	96	160
Кольорова металургія	1	0	0	0	2	0	0	7	0	0	0	0	17	7	33
Неметалеві мінеральні вироби	7	0	0	0	6	0	0	145	0	0	0	0	19	14	193
Трансп. устаткування	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Машинобудування	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Показники	Вугілля	Кокс	Брикети	Сира нафта	Моторне паливо (бензин, дизель)	Мазут	Інші нафтопродукти	Газ	Біомаса (дрова)	Ядерна енергія	Гідроенергія	Вітрова енергія	Електроенергія	Тепло	Усього
Видобування енергетичних матеріалів	45	0	0	1	8	0	0	25	0	0	0	0	37	20	136
Харчова та тютюнова галузь	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Целюлозно-паперова галузь та друк.	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	11	23	37
Деревообробка	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Будівництво	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Текстильна промисловість	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Інша промисловість	15	13	0	0	120	0	0	106	2	0	0	0	172	224	652
Транспортний сектор	4	0	0	0	431	0	0	239	25	0	0	0	39	14	753
Авіа	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Дорожній	0	0	0	0	361	0	0	13	25	0	0	0	2	0	401
Залізничний	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	26	0	37
Трубопровідний	0	0	0	0	4	0	0	223	0	0	0	0	3	4	233
Внутрішній флот	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
Невизначений інший	4	0	0	0	9	0	0	3	0	0	0	0	8	11	35
ІНШІ СЕКТОРИ	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
АПК	3	0	0	0	204	0	0	12	3	0	0	0	29	37	287
Комерційний	3	0	0	0	3	0	0	33	14	0	0	155	72	105	385
Населення	13	6	0	0	23	0	0	633	139	0	0	0	129	73	1016
Невизначені інші	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Неенергетичне споживання	11	28	0	0	60	0	0	242	0	0	0	0	0	0	341
в хімічній галузі	3	0	0	0	16	0	0	241	0	0	0	0	0	0	260
в інших галузях	8	28	0	0	44	0	0	1	0	0	0	0	0	0	81

Джерело: авторська розробка.

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 містить близько 1,4 тис. технологій, близько 700 енергоресурсів, продуктів та попиту при описаних вище обмеженнях та умовах, яких налічується близько 220, то на перший погляд така задача видається надскладною. Проте розуміння математичного апарату дозволяє 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.

7. НАЦІОНАЛЬНА СИСТЕМА СТРАТЕГІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ

Модель "TIMES-Україна" є зручним потужним інструментом як для виконання задач із моделювання і прогнозування розвитку енергетики, так і для аналізу альтернативних сценаріїв. Рівень деталізації моделі робить можливим її використання як на мікрорівні, так і в масштабах усієї країни і дослідженням впливу на енергетичну систему макроекономічних показників, таких як інфляція, доходи населення тощо. Причому поєднання технологічного і фінансового моделювання дозволить уникнути недоліків існуючих методів до складання прогнозів, закладених у чинних стратегічних програмних документах. Основні методологічні недоліки, на нашу думку, полягають у тому, що прогноз виробництва (видобування) і споживання енергії базується на оцінках кореляційних зв'язків між споживанням окремих видів енергоресурсів і темпами виробництва (ВВП), нехтуючи при цьому повнотою структурних зв'язків і дотриманням гомоморфності моделі, тобто:

- прогнози розробляються на основі статистичних моделей аналізу числових рядів і моделей обробки експертної інформації;
- у статистичних моделях неможливе представлення технологічної структури виробництва і споживання енергії, відстеження динаміки зміни її якісних характеристик;
- статистичні моделі індіферентні (без додаткових припущень) до цінових і вартісних параметрів, зовнішнього середовища системи;
- у статистичних моделях неможливе накладання обмежень і проведення оцінки оптимальної стратегії досягнення цільових показників.

Для демонстрації низької адекватності існуючих прогнозів розглянемо рис. 62, де зображено розміщення країн у системі енерго-економічних координат у 2006 році.

По осі абсцис відкладено обсяги питомого споживання енергії на одну людину, по осі ординат – енергомісткість національного ВВП в тоннах нафтового еквіваленту на 1000 дол. США в цінах 2000 року. Промені, що виходять з точки початку координат, відповідають питомій частці ВВП на душу населення, що можна прийняти як показник рівня добробуту країни. Відрізки, що перетинають промені, візуально розділяють країни за рівнем розвитку, виходячи з названих показників. На рис. 62 [35] добре видно групи країн Східної Європи, країн Західної Європи, провідних та індустріально відсталих країн.

Україна, що за рівнем енергомісткості у 2006 р. перебувала на рівні країн-експортерів енергоресурсів – Росії, Саудівської Аравії і Брунею, значно знизила рівень енергомісткості з 2000 р. і, можна вважати, вписується в загальну тенденцію. Проте навряд чи таке зменшення енергомісткості можна вважати наслідком цілеспрямованої державної політики, враховуючи подібну динаміку Росії, Азербайджану та інших колишніх країн СРСР. Швидше така траєкторія зумовлена особливостями методології розрахунку ВВП за паритетом купівельної спроможності, подібною демографічною ситуацією та вигідною зовнішньою кон'юктурою для експортоорієнтованих економік – експорт енергоресурсів з Росії та Азербайджану, експорт продукції металургії та хімічної галузі з України.

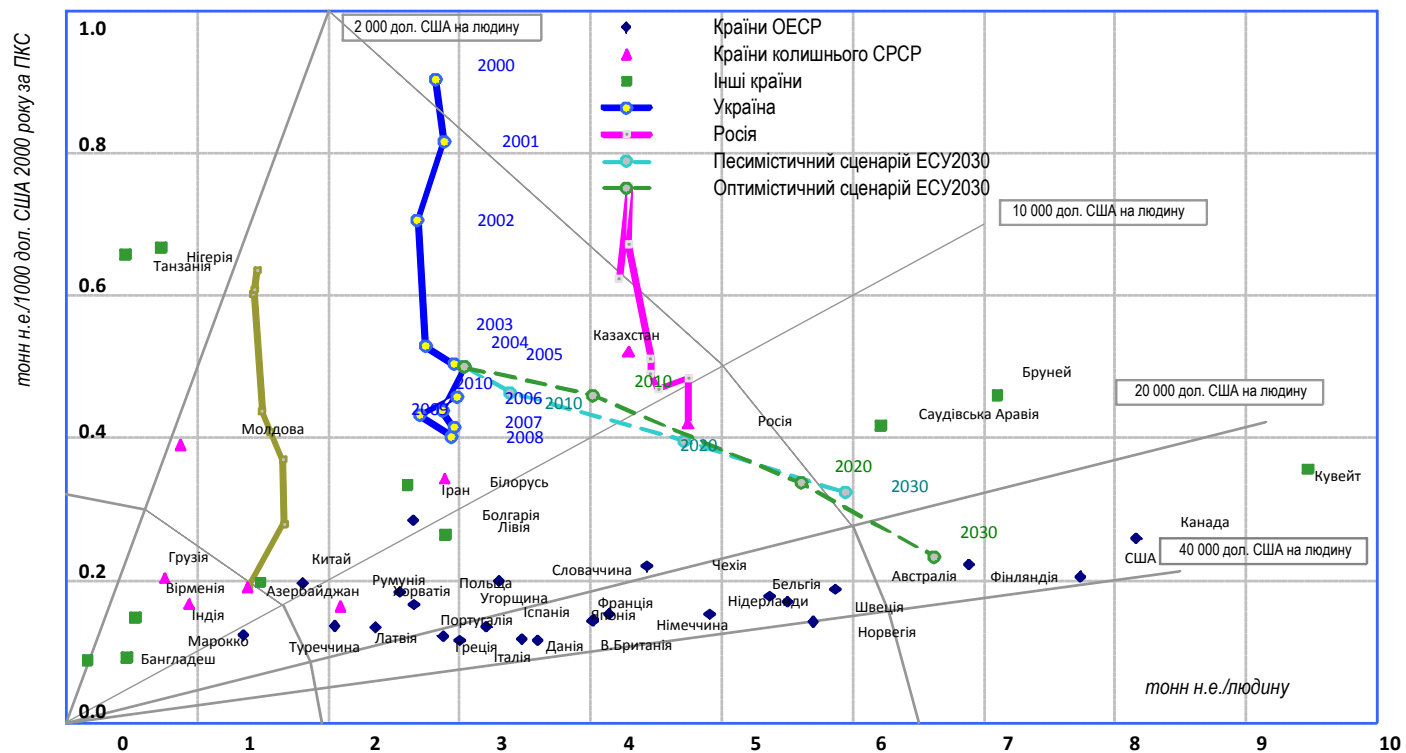


Рис. 62. Динаміка України в системі енерго-економічних координат

Джерело: розраховано за даними Міжнародного енергетичного агентства.

Енергетична стратегія України до 2030 р. передбачала три сценарії розвитку економіки з відповідними оцінками споживання енергії. Оптимістичний і песимістичний сценарії представлені на рисунку. Так, за оптимістичним сценарієм енергомісткість економіки мала б зменшитися до рівня Естонії, Словаччини, Румунії і північної країни Фінляндії 2006 р., за песимістичним – до рівня Болгарії та Азербайджану 2006 року. Бліцкриг за показником душевого енергоспоживання можна пояснити прогнозованим скороченням населення України до 35 млн. Очевидно, що розгортання фінансово-економічної кризи 2008–2009 рр. не могло бути передбачене в Енергетичній стратегії, оскільки Стратегія розроблялася за 5 років до кризи на основі певних макроекономічних припущень. Проте, не вдаючись до аналізу обґрунтованості цільових показників Стратегії, тенденцій зміни структурних пропорцій, що покладені в основу такого прогнозу, і програм заходів для досягнення визначених орієнтирів, можна спостерігати, що одразу ж з 2006 р. прогнозні припущення не відповідали реаліям.

Невідповідність прогнозів реальному розвитку подій ще раз засвідчує, що жодна модель не в змозі достовірно передбачити економічний розвиток країни, оскільки її можливості обмежуються лише забезпеченням точності розрахунків математичної задачі. Перевага моделі "TIMES-Україна" полягає в тому, що адекватність і достовірність її розрахунків залежить винятково від точності представлення технологічної структури та опрацювання прогнозних сценаріїв.

Взагалі ж, складається враження, що формальне залучення наукових Інститутів НАН України або окремих відомих науковців часто використовується для створення образу фундаментального наукового обґрунтування програмного або нормативного документа, а формулювання "створено науковцями" є достатньою гарантією такого обґрунтування. У випадку ж модельних прогнозів розвитку енергетики, обґрунтування результатів нібито повинне забезпечити перелік організацій і країн, де такий модельний підхід був реалізований. При цьому коректність і адекватність використання моделі як у первинних дослідженнях, на які робиться посилання, так і в нових, де передбачено впровадження моделі, навіть не розглядається. Характерним є й формально-декларативний характер наукових публікацій виконавців, які складаються з низки постулатів "про важливість досліджень і необхідність їх упровадження в Україні" та перекладеної українською мовою супроводжувальної технічної документації моделі. Імітація наукового підходу в такий спосіб призводить до дискредитації будь-яких наукових економічних розробок і подальшого поширення наукової мімікрії.

Проте недосконалість методології при розробленні Енергетичної стратегії була лише наслідком некоректності загального підходу до організації роботи з її створення, основні вади якого, полягають у такому:

- оцінка прогнозу виробництва і споживання енергії, а також складання прогнозних енергетичних балансів проводилися з використанням статистичних моделей на базі окремо розроблених сценаріїв ВВП; цей прогноз не був обґрунтований ні технологічно, ні економічно;
- розроблення галузевих програм розвитку проводилося за відомчим принципом, а їх взаємне узгодження та узгодження з економічними сценаріями виконувалося за умов несистемного "ручного" розрахунку;
- до плану заходів з реалізації Стратегії були включені всі можливі або політично доцільні заходи без визначення їх пріоритетності та врахування бюджетних та інших обмежень;
- моніторинг реалізації Стратегії, розробленої за названих умов, звівся до констатації результатів автономного розвитку окремих галузей.

Унаслідок такої організації роботи остаточний документ виявився доволі загальним, а основні програмні цільові параметри втратили свою актуальність невдовзі після затвердження Стратегії. Такий результат був очікуваний, оскільки не було дотримано принципів як оперативного, так і стратегічного планування, найголовніший серед яких – обидва завдання є саме процесами, а не одноразовими дослідженнями. Тому кількісна оцінка цільових показників і розробка заходів для досягнення визначених завдань у формі статичного документа є наперед невірним підходом; контроль за реалізацією програми без періодичного коригування як переліку заходів, так і самих цільових показників, взагалі втрачає будь-який сенс.

Слід зауважити, що створення системи стратегічного планування (ССП) у ПЕК України на базі його математичної моделі було передбачене затвердженням Урядом Планом заходів щодо реалізації Стратегії.

На основі досліджень процесу впровадження і функціонування системи стратегічного ресурсного планування США, Греції, Нідерландів і Швеції робимо висновок, що існуюча в цих країнах система видається більш адекватною в контексті наукового супроводження формування енергетичної політики.

Безперечно, організаційне та інституційне забезпечення ССП залежить від структури енергетичної галузі в кожній окремій країні. Проте загальні принципи функціонування таких систем є подібними.

Зазвичай, ССП складається з трьох організаційних ланок (рис. 63):

1. *Координаційна група*, до складу якої традиційно входять представники різних гілок влади, великих енергетичних компаній і крупних споживачів енергії; робота цієї групи поєднує функції дорадчого органу, а також замовника і основного споживача кінцевих результатів. Тому крім голови (секретаря) групи, відповідального за організацію роботи, інші члени групи долучаються до роботи не частіше 2–4 разів на рік спершу для формулювання задачі на поточний рік, і для обговорення і затвердження результатів після закінчення чергового дослідження.
2. *Експертна група*, до якої залучаються спеціалісти різного профілю – фахівці з енергетичної статистики, технологи, спеціалісти з програмування, галузеві експерти і науковці. Залежно від етапу та спрямованості досліджень, співпраця з різними експертами може проводитися як у заочній формі (коли експерти опрацьовують опитувальники, підготовлені робочою групою), так і у формі часткової або повної зайнятості.
3. *Робоча група*, що формується на базі науково-дослідної установи (ECN, CRES, RISOE) і безпосередньо забезпечує організацію досліджень.

Основні функціональні обов'язки кожної з груп наведені на рис. 65, оперативні ж завдання груп залежать від конкретного етапу впровадження або роботи ССП. Етапність цієї роботи наведена на рис. 64.

Підготовчий етап роботи полягає у формуванні колективу виконавців, визначенні експертів та зацікавлених представників організацій, хто міг би увійти до складу координаційної групи для забезпечення її ефективної і неупередженої роботи. Виконавці визначають методологічний підхід та програмне забезпечення для реалізації моделі, проводять збір первинної інформації про енергосистему для оцінки структури моделі.

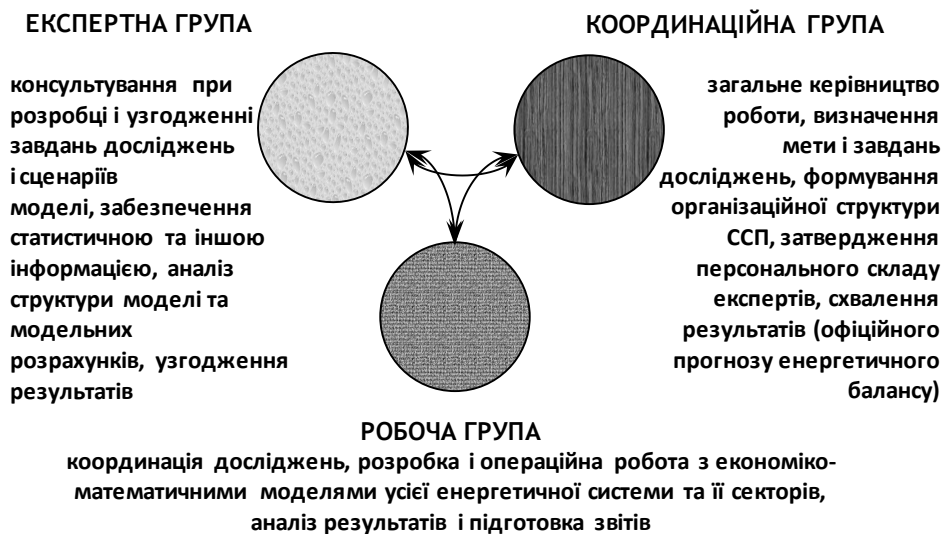


Рис. 63. Функціональні обов'язки груп ССП

Джерело: розроблено за даними Програми енергозбереження в житлово-комунальних господарствах Міжнародного енергетичного агентства.

На наступному етапі, коли організаційна структура ССП вже створена, координаторам роботи із залученням експертів необхідно формалізувати мету і завдання дослідження. Природно, що на етапі впровадження ССП мета і завдання самі ще є об'єктом дослідження, тому їх визначення проводять на базі загальної оцінки поточної ситуації в ПЕК. Коли ж ССП вже створена і функціонує, а етап формулювання завдань є початковим у річному циклі її роботи, визначення завдань стають більш чіткими, наприклад: Як позначиться зростання ціни на газ на 25% для побутових споживачів? Який ефект матиме пільгове тарифоутворення для металургії? Яких вихідних позицій повинна дотримуватися українська делегація на міжнародних переговорах з питань викидів ПГ?

Окреслені завдання визначають необхідні дані і структуру моделі при її створенні або доопрацюванні. З використанням моделі робоча група прораховує варіанти заходів і сценаріїв, залучаючи до верифікації розрахунків відповідних експертів. Результатом декількох ітерацій спільної роботи є узгоджена оцінка стосовно розглянутих завдань, яку оформляють у вигляді звіту та надають для затвердження координаторам роботи. Такий Енергетичний огляд (Energy Outlook) містить детальний опис методологічного підходу, сценарних припущень і обмежень, а також широкий аналіз розрахунків за базовим і альтернативними сценаріями. Завершальним етапом дослідницької роботи є розроблення плану заходів, що після затвердження координаційною групою стає основним політикоформуючим документом.

Останні два етапи, що включені до ССП, відбуваються вже протягом наступного циклу роботи, а саме: етап упровадження плану заходів, реалізація якого лежить винятково у площині повноважень законодавчої і виконавчої гілок влади, а також моніторинг і науковий супровід упровадження цього плану. Функції моніторингу можуть бути покладені на профільне міністерство або агентство. Науковий супровід здійснює робоча група ССП, оскільки внаслідок зміни умов реалізації модельних сценаріїв може виникнути необхідність у додатковій ітерації процесу планування і коригування самого плану заходів.

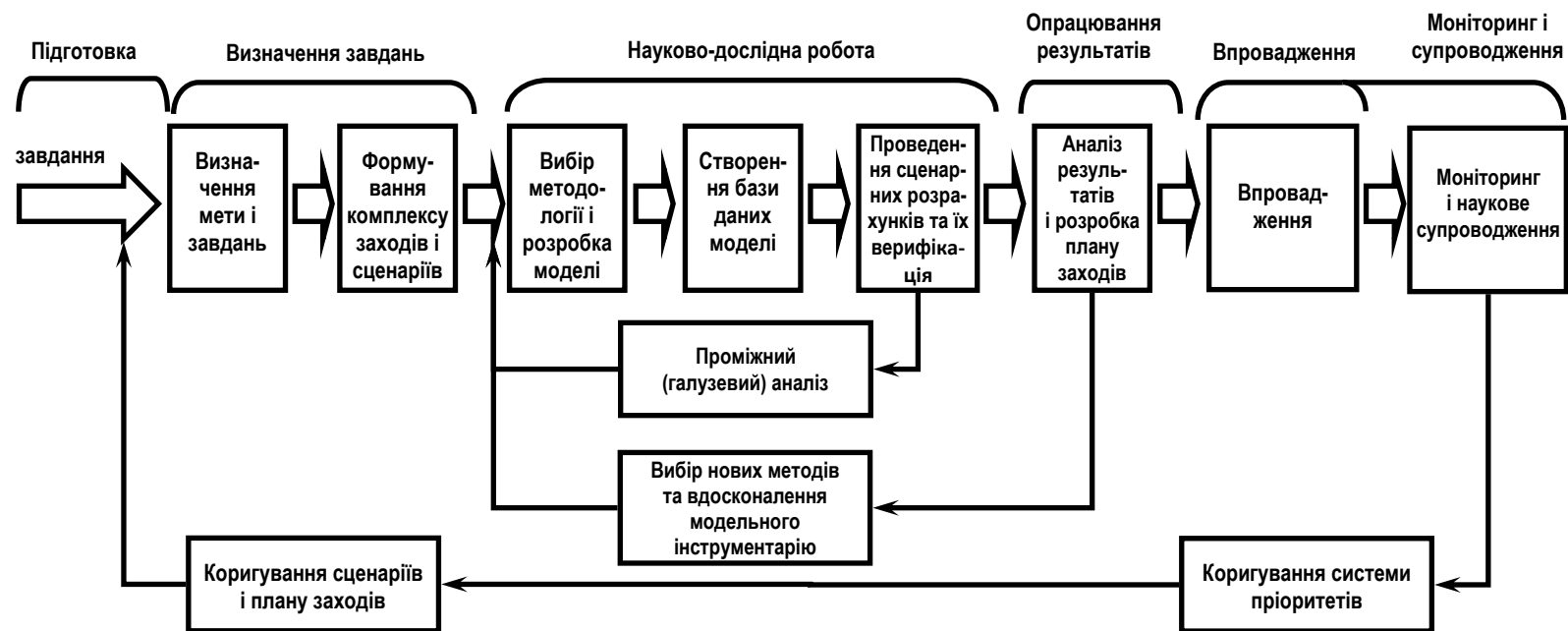


Рис. 64. Етапи та завдання процесу ССП

Джерело: розроблено за даними Програми енергозбереження в житлово-комунальних господарствах Міжнародного енергетичного агентства.

Тривалість кожного етапу і кадрове забезпечення для їх виконання залежать від кінцевої мети роботи і суті поставлених завдань. З урахуванням досвіду функціонування ССП в інших країнах, відносна тривалість етапів та кількість залучених виконавців представлена на рис. 65. Слід пояснити, що підготовчий етап і етап упровадження насправді можуть потребувати значно більшого часу і ресурсів, ніж це зображено на рисунку, а етап моніторингу навпаки є найменш працевитратним із-поміж інших завдань, хоча процес контролю за впровадженням і повинен тривати постійно.

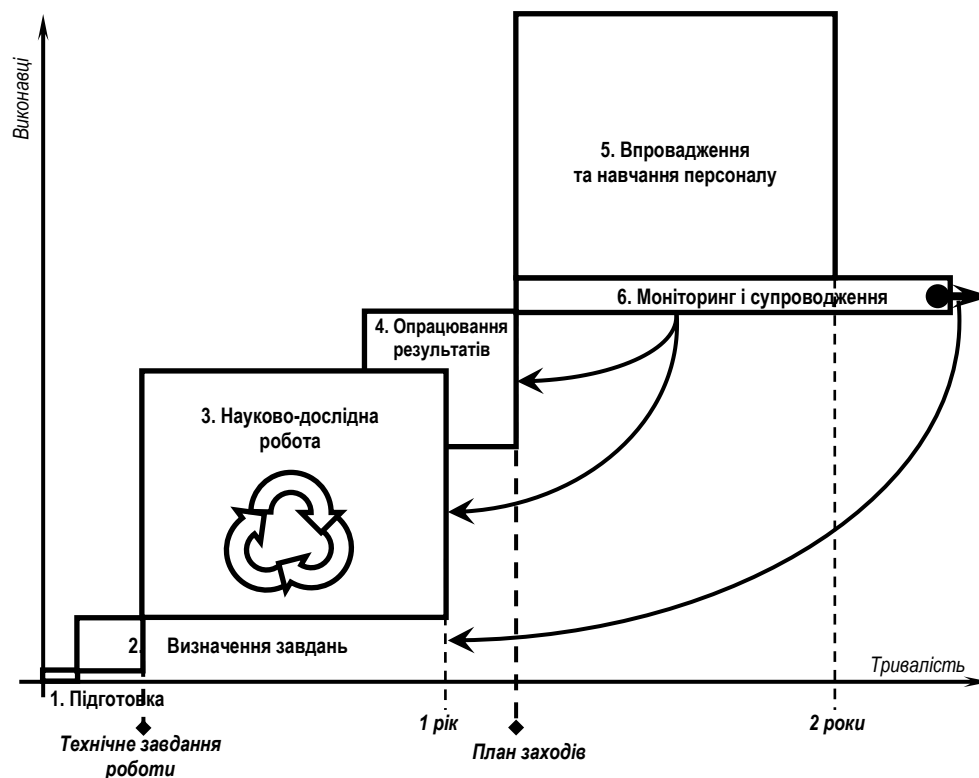


Рис. 65. Кількість виконавців та тривалість етапів процесу ССП

Джерело: розроблено за даними Програми енергозбереження в житлово-комунальних господарствах Міжнародного енергетичного агентства

Для прикладу, в США з 1994 р. щорічний Енергетичний огляд розробляється Адміністрацією енергетичної інформації при урядовому департаменті з енергетики. У його підготовці беруть участь близько 15 постійних працівників цієї організації, а також до 40 сторонніх експертів. Звичайно, щорічний Енергетичний огляд є головним, але далеко не єдиним періодичним виданням ЕІА – департаментом, відповідальним за його підготовку, також розробляються короткі (щомісячні) Енергетичні огляди, щорічний Міжнародний енергетичний огляд і щорічний Огляд викидів парникових газів.

ВИСНОВКИ

Наукове обґрунтування пріоритетів енергетичної політики неможливе без застосування відповідних інструментів аналізу – економіко-математичних моделей. Основними завданнями при розробці моделей енергетичного сектора є оцінка потреби економіки в енергоресурсах, виявлення потенційних загроз енергозабезпечення, визначення пріоритетних напрямів розвитку ПЕК та відповідних заходів для досягнення програмних показників. Такі завдання є інваріантними до типу економіки, тому модельні дослідження в рамках стратегічного планування розвитку енергетики проводяться практично у всіх країнах.

Доцільність використання економіко-математичних моделей обумовлена можливістю визначення за їх допомогою взаємозв'язків та залежностей, що інакше могли б залишитися невиявленими. Складність реальних процесів унеможливорює їхнє бездоганне вираження у моделі, природним є певне спрощення їхньої математичної проекції. Такі спрощення і обмеження, можливі неточності щодо певних параметрів, а з іншого боку – будь-які непрогнозовані явища реального життя, безумовно, впливають на достовірність модельних прогнозів. *Проте використання моделей слід розглядати не як досконалий метод передбачення стану системи на майбутнє, але як спосіб вивчення процесів, що відбуваються в системі. Часто інформація та досвід, набуті в процесі створення та експлуатації моделі, є набагато важливішими за результати сценарного розрахунку.*

Точність зроблених оцінок безпосередньо залежить від коректності вибору методологічного підходу відповідно до цілей досліджень та наявної інформації про об'єкт моделювання. Ефективність від використання коректного математичного апарату може бути знівельована неточністю або неповнотою статистичної інформації. Враховуючи технічну складність енергетичної системи, можна припустити деяке спрощення опису виробничих процесів, уніфікувавши параметри технологій для їх представлення у моделі. Спрощений опис технологій у моделях енергетичних систем, водночас, не є їх недоліком і не може слугувати виправданням свідомого спрощення всієї методології прогнозування, наприклад, проведення розрахунку споживання енергії, базуючись тільки на кореляційних залежностях або продовжуючи існуючий тренд.

Модель "TIMES-Україна", представлена у цій роботі, є оптимізаційною лінійною квазідинамічною моделлю енергетичної системи (виробничого типу) із заданим попитом. Обраний методологічний підхід є традиційним, оскільки як у Радянському Союзі, так і в Україні для планування розвитку енергетичної галузі найбільше використовувалися моделі саме такого класу. Проте низка особливостей створеної моделі робить її незіставною із колишніми розробками. Насамперед, модель "TIMES-Україна" розроблена у середовищі спеціалізованих систем моделювання, зорієнтованих на обчислення оптимізаційних задач будь-якої комплексності та розмірності. Іншою важливою відмінністю є введення категорій "енергетичної послуги", "енергетичного попиту" та "потреби", а також розділення енергії за категоріями. Предметом аналізу наразі є не споживання конкретного енергоресурсу окремою категорією споживачів (споживання кінцевої енергії), а потреби цих споживачів, що можуть бути задоволені за рахунок енергетичних послуг при використанні корисної енергії, виробленої приладами кінцевого споживання. Зміна об'єкта дослідження змінила ідею прогнозування, що стала

тепер точніше відповідати природі моделей виробничого типу. По-перше, категорія "потреба" не завжди є тотожною поняттю "попит", оскільки попит на окремі види енергоресурсів у моделі визначають не за обсягами кінцевого продукту, виробленого споживачами, а за їхніми потребами, що можуть бути кількісно оцінені та задоволені під час виробництва цієї продукції. Кількість енергії, необхідної для виробництва кінцевої продукції залежно від *наявного технологічного способу* виготовлення і в обсягах, достатніх для задоволення потреб, урешті й формує "енергетичний попит". По-друге, аналіз споживання енергоресурсів за видами економічної діяльності саме в розрізі енергетичних попитів дозволяє набагато точніше визначити характер споживання енергії. Зокрема, аналіз енергоспоживання за базовим роком виявив, що в багатьох галузях обсяги використання енергоресурсів на виробництво електроенергії, тепла та інше "непрофільне" виробництво перевищують обсяги використання енергоресурсів для виробництва галузевої продукції.

Перелічені особливості методологічного підходу висувають досить жорсткі вимоги до якості та повноти інформаційного наповнення моделі, нехтування якими зменшує достовірність моделі та робить її використання неефективним. Аналіз діючих первинних форм статистичної звітності Держкомстату та інших державних установ показав, що система показників, яка закладена в цих формах, не повною мірою відповідає за своїм змістом і структурою міжнародній системі показників, тому не дає можливості чіткої кількісної оцінки енергетичних потоків на всіх етапах від видобутку, перетворення і до кінцевого споживання. Крім того, значення однакових показників за основними статтями в різних формах статистичної звітності іноді 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 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 за галузями. Іншими словами, оскільки виробництво промислової продукції розраховується за шостим знаком НПП, а споживання ресурсів – за основним видом діяльності підприємства, офіційні статистичні дані щодо споживання енергії, наприклад, металургією, містять споживання енергії на виробництво й іншої продукції, виробленої підприємствами металургійної галузі. І навпаки, обсяги енергії, витрачені на виробництво продукції металургійної галузі, не повністю включені до обсягів споживання металургією. Додаткового опрацювання потребує й розділення загальних обсягів використання енергії на неенергетичне виробництво, на перетворення, кінцеве споживання та втрати з відповідною дизагрегацією кожної групи.

Незважаючи на вказані недоліки, існуючі форми статистичної звітності містять *значний обсяг інформації*, необхідної для складання звітного та розробки прогнозного енергетичних балансів. Безпосередня робота зі складання звітного енергетичного балансу *не замінить* існуючих державних статистичних спостережень, а *потребуватиме впровадження додаткових статистичних форм* з відповідним розробленням методичних рекомендацій щодо нового охоплення обстежень.

Під час визначення масштабів нових статистичних спостережень та підготовки нових форм звітності повинно бути передбачено внесення до них показників, необхідних не лише для складання звітного, але й для коректного розрахунку прогнозного балансу. Зокрема, при проведенні спостережень щодо кінцевого споживання енергоресурсів та палива видається доцільним внесення розділу щодо напрямів (мети) використан-

ня цього палива, за аналогією до анкети Manufacturing Energy Consumption Survey Міністерства торгівлі США.

Враховуючи, що складання звітнього енергетичного балансу є самостійною роботою, яка не проводилася до цього часу в Україні, вона не може проводитися в рамках існуючої організаційної структури, фінансового та кадрового забезпечення. Найбільш раціональним на сьогодні видається *створення в структурі Держкомстату окремого підрозділу*, до функцій якого входили б тільки питання зведення даних енергетичної статистики до єдиного документа. Передача цих функцій до компетентності інших установ є недоцільною і необґрунтованою.

Детальне представлення технологічної структури споживання енергії в моделі не лише потребує обробки статистичної інформації за базовий рік. Фактично для кожного параметру технологій базового року необхідно обґрунтувати сценарій його зміни. Враховуючи, що модель "TIMES-Україна" містить понад 1,5 тис. технологій, на перший погляд, така задача видається надскладною, проте розуміння математичного алгоритму дозволяє спростити її, нехтуючи окремими параметрами, що мало впливають на значення цільової функції і структуру оптимального розв'язку (наприклад, якщо технологія є безальтернативною). Для визначення сценаріїв зміни технологічних параметрів поряд зі сценаріями зовнішнього середовища – макроекономічним, демографічним, сценарієм зовнішньої торгівлі тощо – необхідним є визначення множини альтернативних технологічних варіантів задоволення попиту (або виробництва сировини) у майбутньому. Тобто сценарії середовища є базисом, який визначає можливість зміни технологічного устрою та, відповідно, обсягів споживання енергії за секторами економіки. Звичайно, як основу для такого сценарію доречним було б узяти державні програми розвитку окремих галузей економіки, проте за результатами порівняльного аналізу прогнозних показників загальнодержавних та галузевих програм у доповіді було показано недосконалість організації роботи із розроблення таких документів.

Низький рівень реалізації більшості програм, а також різні економічні припущення, на яких базувалися програмні документи, практично унеможливили взяття їх за основу для розроблення базового сценарію – навіть прогнозні показники розвитку секторів енергетичної галузі досить часто були взаємно суперечливими. Причиною цього є *недотримання принципів оперативного і стратегічного планування*, найголовніший серед яких – обидва завдання є саме процесами, а не одноразовими дослідженнями. Тому кількісна оцінка цільових показників і розробка заходів для досягнення визначених завдань у формі статичного документа, якими є більшість із програмних документів, є наперед неправильним підходом, а контроль за реалізацією таких програм без періодичного коригування як переліку заходів, так і самих цільових показників, взагалі втрачає будь-який сенс.

З огляду на це, умови базового сценарію були зорієнтовані на подовження терміну експлуатації існуючих потужностей з певним допуском зміни (покращення) їхніх технічних характеристик, що видається на сьогодні найбільш імовірною перспективою. У міру амортизації та втрати частини старих потужностей допускалася певна диверсифікація енергетичних потоків за рахунок введення нових, аналогічних існуючим, технологій. Звичайно, було б некоректно повністю виключати можливість упровадження нових технологічних рішень, проте кількість нових комбінацій технологічної структури економіки обмежена достовірністю технічних характеристик нових технологій, а безсистемний перебір можливих варіантів упровадження принципово нових технологічних процесів не є доцільним.

В аналогічних іноземних дослідженнях використовується інший, відмінний від "традиційного" для України і, на нашу думку, методологічно більш правильний підхід, що

передбачає розроблення окремих галузевих сценаріїв, інтегрованих до базового (за принципом "за решти рівних умов"). Як і в цьому дослідженні, такий базовий сценарій не передбачає кардинальної зміни технологічного устрою економіки, а визначальним для нього є вплив параметрів зовнішнього середовища системи.

Аналіз результатів розрахунків за базовим сценарієм енергозабезпечення ще раз показав безальтернативність не лише технологічної модернізації економіки, але й суттєвої зміни її структурних пропорцій, оскільки в іншому випадку *власна сировинна та переробна база будуть нездатні забезпечити скільки-небудь суттєвих темпів зростання економіки*. За винятком електроенергії, потужностей з виробництва якої буде достатньо для покриття попиту, Україна буде змушена збільшувати обсяги імпорту як первинних, так і вторинних енергоресурсів. Особливо це стосується нафтопродуктів світлих фракцій та продуктів переробки вугілля, де Україна може надовго закріпити за собою роль імпортера вугільної продукції. В електроенергетиці зростання попиту задовольнятиметься новими блоками атомних електростанцій і невеликими станціями комбінованого виробництва електроенергії та тепла через свою відносно невелику вартість та можливість оперативної зміни паливної суміші.

Створення системи стратегічного планування (ССП) у ПЕК України на основі його математичної моделі було передбачене затвердженням Урядом "Планом заходів на 2006–2010 рр. щодо реалізації Енергетичної стратегії України на період до 2030 року". Безперечно, організаційне та інституційне забезпечення ССП залежить від структури енергетичної галузі в кожній окремій країні. Проте загальні принципи функціонування таких систем є подібними. Зазвичай, ССП складається з трьох організаційних ланок: координаційної, експертної та робочої груп. Основні функціональні обов'язки та оперативні задачі кожної з груп залежать від конкретного етапу впровадження або роботи ССП і наведені в останньому розділі наукової доповіді.

Протягом роботи зі створення моделі "TIMES-Україна" в ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України" фактично була виконана робота, передбачена функціями робочої групи на перших етапах ССП. Використання цього досвіду дозволило б значно скоротити період упровадження ССП в Україні, який зазвичай триває від 3 до 5 років (як у Німеччині). Взятя за основу модель "TIMES-Україна" потребувала б лише періодичного оновлення бази даних, верифікації її структури і сценаріїв. Тобто без урахування підготовчої роботи робоча та експертна групи могли б розпочати дослідження одразу ж з третього етапу ССП за чітко напрацьованим алгоритмом.

Водночас на сьогоднішньому етапі дослідження не повинні передбачати негайної формалізації інституційної структури ССП, інакше успішність її формування буде поставлена у залежність від вирішення організаційних питань. У цьому переконує існуючий досвід, де намагання нормативного закріплення повноважень за окремими установами витіснили на другий план питання організації науково-дослідної роботи, її методологічного і методичного забезпечення. Так, функції координаційної групи могли б бути покладені на існуючу профільну міжвідомчу комісію. Робоча група може бути створена на базі ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України" із залученням сторонніх фахівців і експертів. І лише після створення кінцевого продукту (прогнозного енергобалансу, Енергетичного огляду) та у разі його схвалення, напрацьована структура ССП могла б бути де-юре затверджена.

Двоїсті (граничні) оцінки технологій і ресурсів

Однією з важливих переваг використаного в моделі "TIMES–Україна" методологічного підходу, зокрема, на відміну від імітаційних моделей, є можливість оцінки вартісних показників технологій і окремих ресурсів шляхом розрахунку так званих двоїстих (граничних) оцінок. Тобто модель не просто оцінює оптимальну структуру енергетичних потоків з точки зору мінімізації витрат системи, але й розраховує оцінку складових вартості технологій і ресурсів.

Суть двоїстих оцінок полягає в такому:

1. Якщо вартість виробництва продукту певним технологічним процесом вища за двоїсту оцінку продукту в системі, інтенсивність використання цієї технології зменшується до найнижчого можливого рівня; зведені витрати цього процесу інтерпретуються як втрати (збитки) цієї технології.
2. Якщо вартість виробництва продукту певним технологічним процесом менша за двоїсту оцінку продукту в системі, інтенсивність використання цієї технології збільшується до найбільшого можливого рівня; зведені витрати цього процесу інтерпретуються як прибуток цієї технології.

Двоїсті оцінки вартості технологій, енергетичних і матеріальних ресурсів, а також супутніх продуктів використання енергоресурсів залежно від способу їх представлення у математичних рівняннях і обмеженнях можуть бути інтерпретовані або як тіньові, або як реальні ринкові ціни за регульованого тарифоутворення, рівень можливої надбавки або субсидії для споживачів, винагороди або ренти для виробників (наприклад, плата за покриття пікового навантаження або рента Хотеллінга), додатковий або недоотриманий прибуток, максимально припустима частка постійних витрат у собівартості продукції тощо. Розрахунок за альтернативними сценаріями дозволяє оцінити вплив на ці показники фіскальної політики, інфляції, ставки дисконтування та інших фінансових та макроекономічних показників.

Для пояснення двоїстих оцінок розглянемо чотири коротких приклади.

1. На рис. 66 а зображено випадок, коли попит на електроенергію повністю задовольняють вугільні ТЕС. Двоїста оцінка рівняння балансу відображає тінюву або ринкову вартість електроенергії. У цьому випадку двоїста оцінка ціни електроенергії збігається з вартістю її виробництва – 320 грн за МВт·год.

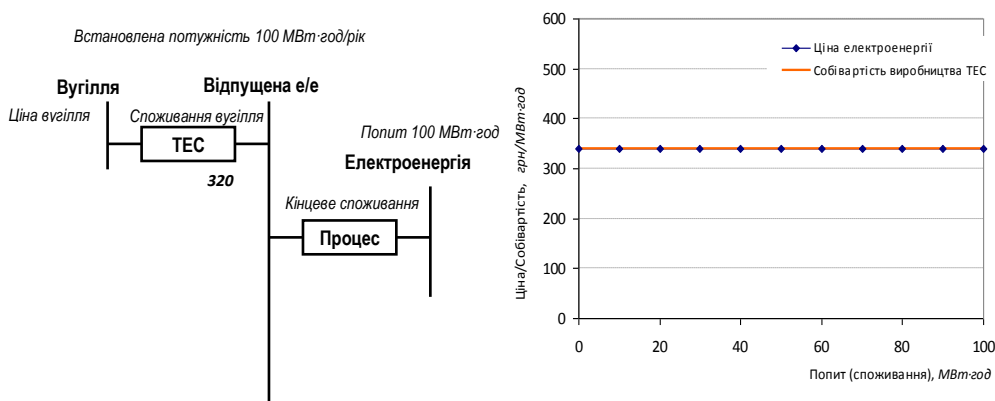


Рис. 66 а. Двоїсті оцінки (1)

Джерело: авторська розробка.

Двоїста оцінка рівняння балансу електроенергії = "Ринкова" ("тіньова") ціна електроенергії = збільшення витрат при збільшенні виробництва або зменшенні споживання на одиницю електроенергії. Розглядаємо спрощений випадок: ціна дорівнює середнім витратам.

2. При зростанні попиту до 200 МВт•год (рис. 66 б) до вугільних ТЕС підключаються ТЕЦ, що працюють на газі, оскільки встановлена потужність ТЕС вже не в змозі задовольнити весь попит. Середня вартість електроенергії зростатиме при виробництві кожної додаткової одиниці, а загальна ціна електроенергії вже встановлюватиметься за вартістю виробництва на ТЕЦ. Двоїста оцінка рівняння обмеження потужності (або інтенсивності використання) ТЕС відповідатиме економічній ренті, що отримуватимуть ТЕС у такій ситуації.

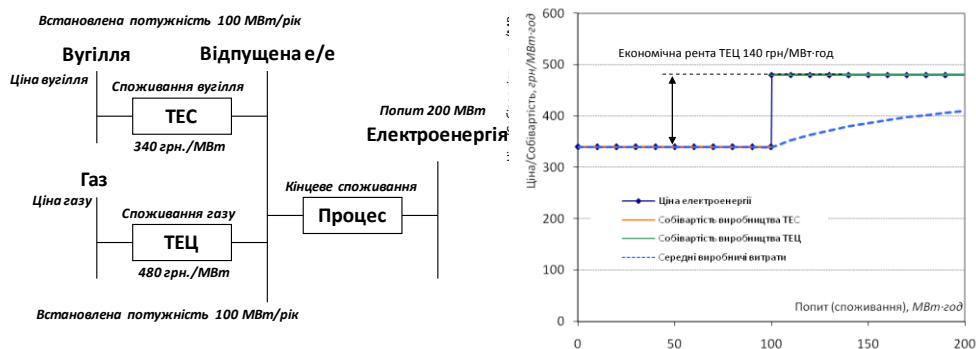


Рис. 66 б. Двоїсті оцінки (2)

Джерело: авторська розробка.

Умови: Потужність ТЕС обмежено до 100 МВт•год /рік, введення нових потужностей ТЕС не передбачається. Загальна ціна на електроенергію встановлюється за витратами ТЕЦ. Вугільні ТЕС отримують економічну ренту 140 грн/ МВт•год, що є двоїстою оцінкою рівняння обмеження потужності (рівня виробництва):

$$ACT_{TEC} \leq af_{TEC} \cdot pasti_{TEC} = 100 \text{ МВт} \cdot \text{год} ,$$

де: ACT_{TEC} – обсяги виробництва електроенергії на ТЕС;

af_{TEC} – коефіцієнт використання встановлених потужностей ТЕС;

$pasti_{TEC}$ – встановлені потужності ТЕС.

Ціна в системі починає зростати після виробництва перших 100 МВт•год.

3. Припустимо прийняття адміністративного рішення про підключення до системи вітрових електростанцій загальною потужністю не менше 50 МВт•год/рік (рис. 66 в). Це рішення призведе до заміщення частини потужностей ТЕЦ на ВЕС. Оскільки через високу вартість виробництва на рівні 780 грн/МВт ВЕС взагалі не були б включені в оптимальний план (або оптимальний розв'язок задачі), двоїста оцінка електроенергії, виробленої на ВЕС, дорівнює нулю. Середні виробничі витрати після закінчення потужностей ВЕС спадають на відрізок з 50 МВт до 150 МВт з 780 грн/МВт до 477,5 грн/МВт і з підключенням потужностей ТЕЦ знову починають зростати до 478 грн/МВт. Двоїста оцінка рівняння обмеження потужності ВЕС у цьому випадку відповідає обсягу субсидій, які можуть (або повинні) отримати ВЕС для реалізації адміністративного рішення.

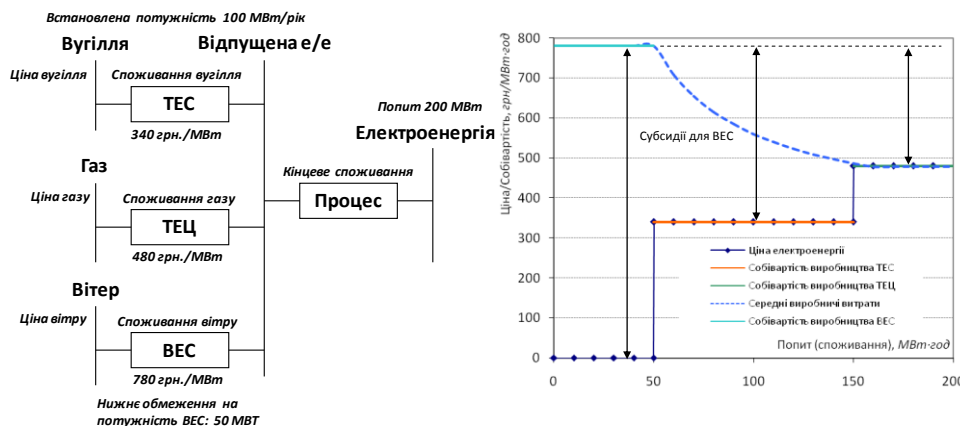


Рис. 66 в. Двоїсті оцінки (3)

Джерело: авторська розробка.

Для адміністративного впровадження вітрової генерації необхідні субсидії для покриття більших виробничих витрат порівняно з іншими типами станцій. Обсяг субсидій = двоїста оцінка нижнього обмеження на потужність (рівень використання) = різниця між виробничими витратами ВЕС і ціною на електроенергію:

$$ACT_{BEC} \geq 50 \text{ MWt}$$

4. Якщо ж при збереженні попиту на рівні 200 MWt буде прийнято рішення про впровадження вітрової генерації загальною потужністю не менше 100 MWt, навантаження на інших виробників або на державний бюджет посиляться через необхідність виділення більших дотаційних асигнувань (рис. 66г). Середні витрати зростають до 560 грн./MWt, проте загальна ціна електроенергії зменшиться через заміщення потужностей ТЕЦ вітровими електростанціями.

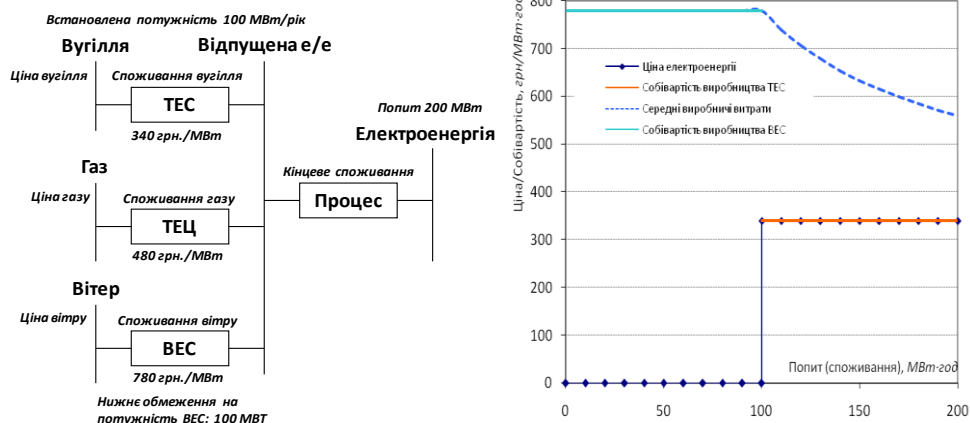


Рис. 66 г. Двоїсті оцінки (4)

Джерело: авторська розробка.

Збільшення нижнього обмеження на потужність вітрової генерації з неекономічних причин може призвести до зменшення загальної ціни електроенергії, оскільки потужності ТЕС замінюватимуть інші типи електростанцій (у цьому випадку – ТЕЦ).

Основні рівняння моделі "TIMES-Україна"

Основні елементи розробленої економіко-математичної моделі – цільова функція та обмеження. Задача полягає у знаходженні оптимального значення (оптимуму) цільової функції при виконанні обмежень, які задаються системою рівнянь та нерівностей. Структура досліджуваного об'єкта відображена у структурі моделі, яка включає сотні тисяч змінних, параметрів, рівнянь та нерівностей. Навіть у спрощеній формі ця модель має складну для сприйняття структуру. Для відображення подібних задач математичного програмування великої розмірності використовується спеціалізована мова програмування високого рівня GAMS. Розв'язок знаходиться за допомогою вбудованих потужних програм – оптимізаторів.

Індекси

Зважаючи на кількість елементів модельованої системи, необхідно відзначити роль індексів та множин індексів. Для визначення змінних, параметрів, констант та рівнянь (у мові GAMS рівняння і нерівності позначаються як "equations") застосовуються індекси, які відповідають регіону (r), часу (v, s або t) – конкретній даті або періоду, процесу (p) та продукту (c). Зважаючи на спеціалізацію мови GAMS, побудова моделей великої розмірності, передбачено ряд зручних функцій, для операцій з множинами індексів.

Змінні

У розробленій моделі є три основні сутності – процеси (технології), потоки і продукти. Головним атрибутам процесів відповідають змінні *VAR_ACT*, *VAR_CAP* та *VAR_NCAP*, потоків – *VAR_FLO*, *VAR_IRE*, *VAR_SIN* та *VAR_SOUT*, продуктів – *VAR_COMPRD*, *VAR_COMCON* та *VAR_COMNET*. Роль кожної з них коротко описана у табл. 26.

Таблиця 26

Основні змінні моделі

Назва змінної	Призначення змінної
Змінні процесів	
<i>VAR_ACT</i>	Річна активність процесу
<i>VAR_CAP</i>	Встановлена потужність процесу
<i>VAR_NCAP</i>	Інвестиції у процес (потужності)
<i>VAR_DNCAP</i>	Бінарна змінна, для представлення дискретних інвестицій
Змінні продуктів	
<i>VAR_BLND</i>	Допоміжні продукти для змішування
<i>VAR_COMNET</i>	Доступні запаси
<i>VAR_COMPRD</i>	Валовий випуск
<i>VAR_ELAST</i>	Змінні для дискретизації кривої попиту
Змінні потоків	
<i>VAR_FLO</i>	Потік продуктів з/у процес
<i>VAR_IRE</i>	Потік продуктів з/у процес торгівлі (змінна торгівлі)
<i>VAR_SIN/OUT</i>	Потік продуктів з/у процес накопичення

Джерело: розроблено за даними Програми системного аналізу енергетичних технологій (ETSAP) Міжнародного енергетичного агентства.

Крім наведених у таблиці, до основних відноситься змінна цільової функції VAR_OBJ , яка komponується зі значень цільових функцій регіонів.

Кожна зі змінних проіндексована. Наприклад, змінна активності процесу залежить від п'яти індексів: $VAR_ACT(r, v, t, p, s)$, де r відповідає регіону, v – періоду запуску, t – моменту часу, p – процесу, s – дискретності часового проміжку. Інші змінні проіндексовані подібним чином. Майже для кожної змінної введено обмежувальний параметр: для продуктів обмежуються обсяги або частки, для процесів – активність.

Повний перелік включає декілька десятків рівнянь, основними з яких є такі: $EQ(I)_COMBAL$ – рівняння продуктового балансу, EQ_ACTFLO – рівняння активності процесів, EQ_CAPACT – обмеження на використання процесів, EQ_PTRANS – рівняння перетворень, $EQ(I)_INSHR/OUTSHR$ – розподіл обмежень на вхід/вихід процесів та EQ_OBJ – рівняння цільової функції. Кожне рівняння залежить від наведених вище індексів, інакше кажучи, розглядаються види рівнянь.

Рівняння продуктового балансу

По кожному продукту, в кожному періоді часу і для кожного регіону виробництво разом з імпортом мають баланс з кількістю спожитого та експортованого продукту. Для матеріалів маємо рівність ($=$) – обсяги виробництва та імпорту точно дорівнюють обсягам споживання та експорту; нерівність ($\leq$ чи $\geq$) використовується для енергоносіїв, викидів та попиту – дозволяється надлишкове виробництво. Для продуктів із заданим проміжком часу балансове обмеження повинно задовольнятися у кожному проміжку часу.

Загальна структура рівняння $EQ(I)_COMBAL$ має вигляд:

$$\text{Ефективність} \cdot \text{Виробництво} \geq \text{Споживання}$$

У більш детальному представленні балансове рівняння має такий вигляд (для спрощення опущено індекси):

$$\begin{aligned} & COM_IE \cdot \{ \sum CAL_FLOFLO(out) + \sum CAL_IRE(imp) + AUX_IRE(out) + \\ & + \sum VAR_SOUT \cdot G_YRFR/G_YRFR0 \cdot STG_EFF + \sum BLE_BAL \cdot VAR_BLND \cdot RTCS_TSFR \} + \\ & + G_YRFR \cdot \sum NCAP_COM \cdot COEF_CPT \cdot (VAR_NCAP + NCAP_PASTI) + \\ & + G_YRFR \cdot \sum COEF_OCOM \cdot (VAR_NCAP + NCAP_PASTI) \} + \\ & + \sum VAR_ELAST(lo) - \sum VAR_ELAST(up) - \{ \sum CAL_FLOFLO(in) + \sum CAL_IRE(exp) + \\ & + AUX_IRE(in) + \sum VAR_SIN \cdot G_YRFR/G_YRFR0 \cdot STG_EFF + \\ & + \sum BLE_BAL \cdot VAR_BLND \cdot RTCS_TSFR \} + \\ & + G_YRFR \cdot \sum NCAP_COM \cdot COEF_CPT \cdot (VAR_NCAP + NCAP_PASTI) + \\ & + G_YRFR \cdot \sum COEF_ICOM(out) \cdot (VAR_NCAP + NCAP_PASTI) \} (=, \leq \text{ або } \geq) COEF_FBRHS, \end{aligned}$$

де залежно від умов $COEF_FBRHS$ набуває значення VAR_COMNET , VAR_COMPRD або 0; $CAL_FLOFLO = \sum VAR_FLO \cdot RTCS_TSFR$, $RTCS_TSFR = 1$ або COM_FR/COM_FR0 , $COM_FR/0$ – частки щорічного попиту; COM_IE – ефективність продукту; $CAL_FLOFLO(out/in)$ – вихід/вхід процесу; $CAL_IRE(imp/exp)$ – обсяги імпорту/експорту; $AUX_IRE(out/in)$ – визначення регіону торгівлі; VAR_SOUT/IN – запаси виробників/споживачів; $G_YRFR/0$ – нормуючі параметри; STG_EFF – ефективність зберігання; BLE_BAL , VAR_BLND ; $RTCS_TSFR$ – відповідно змінні продуктів, компонентів та домішок змішування; $NCAP_COM$ – чистий вихід процесу; $COEF_CPT$ – внутрішній параметр ефективності

інвестицій; $NCAP_PASTI$ – параметр обсягів інвестицій попередніх періодів; $COEF_OCOM/COM$ – коефіцієнт зменшення інвестицій; $VAR_ELAST(lo/up)$ – нижня/верхня межі цінової еластичності попиту на продукт.

При цьому процеси з одним чи багатьма (можливо гетерогенними) потоками продуктів визначаються відповідно однією чи багатьма незалежними змінними, що відповідають вхідним та вихідним потокам. За відсутності зв'язків між цими потоками процеси невізанчені, а їхні вихідні дані не залежать від вхідних. Тому використовуються обмеження, які вказують на співвідношення суми вихідних потоків до суми відповідних вхідних потоків – їхня сума дорівнює константі (значення близьке до ефективності). У разі коли один продукт входить у процес і один продукт виходить з нього, це рівняння визначає традиційну ефективність процесу. З декількома продуктами, це обмеження залишає певну свободу потокам у межах, указаних показником ефективності. При цьому кожна сума містить продукти однакового типу.

Рівняння активності процесів

У моделі використовуються змінні активності процесу та потоків, і встановлено зв'язок між цими двома типами змінних за допомогою рівняння EQ_ACTFLO таким чином. Змінна загальної активності VAR_ACT прирівнюється до відповідного набору поточкових змінних VAR_FLO з відповідними нормуючими коефіцієнтами. Попередньо визначено групи продуктів за видами та потужностями процесів. У складних процесах з декількома продуктами (можливо різних типів), як вхідних, так і вихідних, для визначення змінної активності спершу вказано первинну продуктову групу, яку використовують для визначення групи процесів. Далі визначено активність через дані про вхідні та вихідні потоки, відповідно до обраної продуктової групи. Первинні потоки задані екзогенно.

Рівняння EQ_ACTFLO для міжрегіональних процесів має такий вигляд:

$$VAR_ACT = \sum VAR_FLO / PRC_ACTFLO,$$

для внутрішніх процесів:

$$VAR_ACT = \sum (VAR_IRE(imp) + VAR_IRE(exp)) / PRC_ACTFLO,$$

де PRC_ACTFLO – коефіцієнт перетворення одиниці активності процесу в одиницю продукту первинної продуктової групи.

Крім того, активність процесу обмежується у рівнянні $EQ(I)_CAPACT$.

Обмеження активності процесів

У кожному періоді використовується частина встановленої виробничої потужності технології відповідно до фактора доступності – $COEF_AF$, який задається екзогенно.

Для мінімізації загальних витрат протягом певних проміжків часу деякі технології використовують менше, ніж допускається їхньою встановленою потужністю та фактором доступності $COEF_AF$. Для інших технологій екзогенно вказана умова повного використання їхньої потужності виходячи з інших критеріїв, наприклад, екологічного.

Рівняння обмеження активності процесу визначає, що діяльність технології не може перевищувати її доступну потужність. Для одного процесу обмеження має такий вигляд:

$$VAR_ACT \leq COEF_AF \cdot CAPUNIT \cdot FR \cdot NCAP,$$

де: $CAPUNIT$ – коефіцієнт перерахунку між одиницями потужності та активністю, FR – параметр, що відповідає проміжку часу, $NCAP$ – частка інвестиційної змінної як суми

минулих інвестицій, які впливають на даний період. У загальному випадку рівняння $EQ(I)_{CAPACT}$ має такий вигляд:

$$\sum VAR_ACT (\leq, \geq \text{або } =) \sum COEF_AF * COEF_CPT * PRC_CAPACT * (VAR_NCAP + NCAP_PASTI) + COEF_AF * COEF_CPT * PRC_CAPACT * (VAR_NCAP + NCAP_PASTI) * (G_YFRF + RS_STGPRD),$$

де $COEF_CPT$ – внутрішній параметр ефективності інвестицій; PRC_CAPACT – коефіцієнт використання встановленої річної потужності; $NCAP_PASTI$ – параметр обсягів інвестицій попередніх періодів; G_YFRF – нормуючий параметр; RS_STGPRD – параметр часових проміжків.

Для встановлення зв'язку між доступними встановленими потужностями технологій у різних проміжках часу використовується коефіцієнт $NCAP_AF$. Він необхідний внаслідок специфіки деяких технологій. Наприклад, його використовують для технологій, ресурси яких не можна зберігати.

Параметри роботи технології протягом року визначаються оптимізаційною програмою. Кількість обмежень $EQ(I)_{CAPACT}$ відповідає кількості проміжків часу, протягом яких функціонує обладнання. Для технологій лише з річною характеристикою кількість обмежень зменшується до одного на весь період.

Для продуктів із визначеними проміжками часу задаються пікові резервні обмеження. Такі обмеження передбачають, що загальна потужність усіх процесів, які виробляють продукт у кожному періоді часу та в кожному регіоні, має перевищувати на задану частку середній попит у проміжку часу з піковим навантаженням. Цей відсоток є піковим резервним фактором $RESERV$ і вводиться для забезпечення бездефіцитності продукту через невизначеність, незапланований простій обладнання, випадковий піковий попит, що перевищує середній попит. Це обмеження аналогічне запасу надійності для захисту від випадкових подій, що не представлені явно у моделі. У моделі вказано проміжок часу, на якому визначене пікове рівняння.

Для кожного періоду часу і для регіону має бути достатньо встановленої потужності для покриття попиту у пікові часові проміжки – з найвищим попитом на енергетичний продукт з фактором безпеки E , який називається піковим резервним фактором. Рівняння пікового навантаження EQ_PEAK має вираз:

$$\sum CAPUNIT \cdot PEAK \cdot FR \cdot CAP \cdot ACTFLO + \sum (PEAK \cdot FLOW + TRADE) \geq [1 + RESERVE] \cdot \sum (FLOW + TRADE),$$

де $RESERVE$ – коефіцієнт, який відповідає регіону, продукту та відповідному часовому проміжку, що враховує непередбачений простій обладнання, піковий попит та невизначеність запасів ресурсу; $PEAK$ – визначає частку потужності технологій виробництва електроенергії або тепла, які використовуються при піковому навантаженні.

При встановленні пікової потужності у рівнянні EQ_PEAK для процесів розрізняють два випадки: піковий продукт є єдиним продуктом у первинній продуктивній групі за умови, що потужність процесу покриває пік; піковий продукт не єдиний в первинній продуктивній групі. В другому випадку для покриття піку враховується реальне виробництво, а не потужність. Крім того, припускається, що імпорту продукту сприяє покриттю піку регіону-імпортера, в цьому випадку експорт виступає як гарантована потужність.

Рівняння перетворення

Рівняння EQ_PTRANS дозволяє встановити безпосередній взаємозв'язок між входом і виходом процесу. Це рівняння генерується для кожного процесу, часового проміжку та регіону:

$$\sum VAR_FLO * RTCS_TSFR = \sum COEF_PTRAN * VAR_FLO * RTCS_TSFR * (1 + RTP_FFCX),$$
де: $COEF_PTRAN = \sum (1 + G_YRFR / G_YRFR0) * FLO_FUNC$; $RTCS_TSFR = 1$ або COM_FR / COM_FR0 , $COM_FR / 0$ – частки щорічного попиту; RTP_FFCX – нормуючий множник ефективності.

Обмеження на вхід/вихід процесів

Розподіл обмежень на вхід та вихід процесів виконується за допомогою рівнянь $EQ(I)_INSHR$ та $EQ(I)_OUTSHR$. Вони забезпечують розподіл рівнів вхідних та вихідних потоків продуктів нижче, вище або рівним відповідній частці загального споживання або виробництва цим процесом для визначеної продуктової групи. Рівняння $EQ(I)_INSHR$ та $EQ(I)_OUTSHR$ генеруються для кожного процесу, часового проміжку та регіону і мають такий загальний вигляд:

$$FLO_SHAR * \sum (VAR_FLO * RTCS_TSFR) (\leq, \geq \text{ або } =) \sum VAR_FLO * RTCS_TSFR$$

Цільова функція

Щоб урахувати витрати системи для кожного року, обмеження та змінні прив'язані до відповідних параметрів часу. Такий підхід забезпечує більш згладжену та реалістичну інтерпретацію потоку платежів в енергетичній системі, але вимагає введення складних виразів у цільову функцію.

Рівняння загальних витрат для кожного року містить такі складові: капітальні витрати, виражені через процеси інвестування або демонтажу; постійні та змінні витрати; витрати на імпорт та виробництво ресурсів; доходи від експорту; витрати на транспортування; податки та субсидії; доходи від використання побічних продуктів виробництва та відходів.

Значна кількість рівнянь відображає грошові потоки, які пов'язані з інвестиціями та демонтажем для кожного року горизонту моделювання. У рівняннях враховано такі суттєві моменти, як: поетапне введення технологій в експлуатацію і відповідно розподіл інвестицій на декілька років; капітальні витрати на демонтаж наприкінці строку служби деяких процесів (наприклад, для атомних станцій), і ці витрати, будучи прикріпленими до змінної інвестиції певного часового періоду, насправді виникають значно пізніше; капітальні витрати розподілені на економічний строк служби, який відрізняється від технічного строку служби, і перераховуються за іншою ставкою, ніж загальна облікова ставка.

Усі щорічні витрати додаються до щорічних виплат капітальних витрат за винятком ліквідаційної вартості і утворюють обсяг $ANNCOST$. Після цього $TIMES$ для кожного регіону розраховує загальну чисту приведену (дисконтовану) вартість NPV потоку щорічних витрат, дисконтовану до базового року. Регіональні приведені витрати агрегуються у єдині загальні витрати, які складають цільову функцію, що має бути мінімізована моделлю при розрахунку рівноваги. Загальний вигляд цільової функції у моделі має вигляд:

$$NPV = \sum (1 + d_{r,y})^{REFYR-y} \cdot ANNCOST(r, y), \quad 1 \leq r \leq R, y \in YEARS,$$

де NPV – чиста приведена вартість загальних витрат для всіх регіонів; $ANNCOST$ – загальні щорічні витрати; $d_{r,y}$ – загальна дисконтна ставка; $REFYR$ – базовий рік для дисконтування; $YEARS$ – множина відповідних часових періодів.

Щодо дисконтування, то в TIMES існують два методи. В першому припускається, що всі платежі відбуваються на початку року. В другому – в середині періоду.

Мінімізуючи загальні приведені витрати, модель має задовольняти велику кількість обмежень, які виражають фізичні та логічні зв'язки, що відображають енергетичну систему. Якщо будь-яке з них не виконується, то модель неадекватна. Такий стан може спричинити помилка у даних чи перевизначення задачі.

Розглянемо більш детально вираз цільової функції. Вона складається з суми цільових функцій кожного регіону:

$$VAR_OBJ = \sum REG_OBJ(r), r \in REG.$$

У свою чергу, цільова функція кожного регіону складається з суми дев'яти компонент:

$$REG_OBJ = \sum DISC(y) \cdot [INVCOST(y) + INVTAXSUB(y) + INVDECOM(y) + FIXCOST(y) + FIXTAXSUB(y) + VARCOST(y) + ELASTCOST(y) - LATEREVENUES(y)] - SALVAGE$$

де *INVCOST* і *INVTAXSUB* – інвестиційні складові, *INVDECOM* – відрахування на демонтаж; *FIXCOST* і *FIXTAXSUB* – постійні щорічні витрати, *VARCOST* – змінні витрати, *ELASTCOST* – втрати від зменшення попиту, *LATEREVENUES* – вторинна продукція, яка залишається поза горизонтом моделювання, *SALVAGE* – залишкова вартість технологій на кінець горизонту моделювання.

Наведемо як приклад вираз для обчислення найпростішого з чотирьох випадків обчислення доданку інвестицій в цільовій функції:

$$INVCOST(y) = \sum \{t \in MILESTONE \cup PASTYRS, v \in [Min\{M(t), y\}; Max\{M(t)-D(t)+1, y-ELIFE_t+1\}],$$

$$y \in [M(t) - D(t) + 1; M(t) + ELIFE_t - 1]\}^{11} INDIC(ILED_t \leq ILED_{Min,t} \wedge TLIFE_t + ILED_t \geq D(t)) \cdot \sum (VAR_NCAP/D(t) + NCAP_PAST_t) \cdot CRF_s \cdot NCAP_COST_v,$$

де: *INDIC* – функція – індикатор, приймає значення одиниці, якщо вираз "вірний", нуль – "невірний"; *D(t)* – кількість періодів в році *t*, *TLIFE* та *ELIFE* – технічний та економічний термін використання технології; *ILED* – час, необхідний для введення технології в експлуатацію; *ILED_{Min}* = *Min*{*0.1·D(t)*, *0.1·TLIFE*} – використовується для відокремлення великих та малих проектів; *VAR_NCAP* – інвестиції в додаткові потужності; *CRF* – коефіцієнт рентабельності, *NCAP_COST* – дисконтована залишкова вартість технології; *MILESTONE* – множина періодів, *B(t)* – початок періоду *t*. Цей вираз відображає надходження коштів у рік *y*, завдяки інвестиціям, зробленим у рік *v*. Сума складається з трьох частин: інвестиції в рік *v*, рентабельність і обсяг початкових інвестицій.

Вираз для другого випадку доданку інвестицій подібний до наведеного, за винятком того, що інвестиції розподілені тільки на період технічної служби, а не на весь період, а інвестиції робляться більше ніж один раз.

У третьому і четвертому випадках інвестиції проводять у період з *B(t)* до *B(t)+ILED_t-1*; як і в першому випадку, платежі поширюються за межі *ELIFE*. Крім того, в четвертому випадку інвестиції робляться більше ніж один раз на період. Для представлення цих виразів використовується розгалужений алгоритм обчислення, а не просто сума, як у перших трьох випадках.

¹¹ У фігурних дужках наведено умови на індекси суми.

Податки та субсидії на інвестиції надходять приблизно в той же час, що і самі інвестиції. Тому рівняння та обмеження для них подібні до вище наведених, де *NCAP_COST* замінено на *NCAP_ITAX* або *NCAP_ISUB*. Подібну структуру мають інші доданки цільової функції, для деяких з них розглядається кілька випадків та застосовуються розгалужені алгоритми обчислення. Вони враховують різні часові проміжки дії чинника, відповідно до яких визначаються границі для індексів суми, використовуються індикатори множин.

Суть процесу інвестування полягає в такому. Інвестування у технологію збільшує її встановлену потужність на певний період, наприкінці якого загальна потужність цієї технології зменшується на такий самий обсяг. Розраховуючи доступну потужність у певному часовому періоді, враховують потужності, що відповідають усім інвестиціям, включаючи поточний період. Деякі інвестиції можуть бути здійснені до початку горизонту моделювання.

У спрощеному вигляді загальна доступна потужність кожної технології *CAPT* обчислюється як:

$$CAPT(r, t, p) = RESID(r, t, p) + \sum_{\{t' \leq t, t-t' < LIFE(r, t', p), NCAP(r, t', p)\}},$$

Де: *RESID* – екзогенно задана потужність, визначена інвестиціями за періоди, що передують горизонту моделювання, *NCAP* – потужності, що відповідають інвестиціям моделі за минулі та поточний періоди горизонту моделювання, з урахуванням фізичного строку служби. Вираз для обчислення доступної потужності в моделі значно ускладнюється тим, що необхідно врахувати можливість закінчення інвестиції в середині часового періоду.

Умовні позначення енергоресурсів та технологій у моделі "TIMES-Україна"

Таблиця 27

Умовні позначення енергоресурсів та продуктів виробництва

Коротке ім'я	Опис
Первинне паливо	
COAHAR	Кам'яне вугілля
COACOK	Кокс
COALIG	Лігніт
COABRO	Буре вугілля
OILCRD	Нафта
OILRFG	Газ з нафтопереробних заводів
OILLPG	Зріджений нафтовий газ
OILGSL	Бензин
OILKER	Гас - паливо для реактивних двигунів
OILNAP	Лігроїн
OILDST	Дизельне паливо
OILHFO	Мазут
OILNEU	Не енергетичний продукт
OILOTH	Інші нафтопродукти
GASNAT	Природний газ
GASCOG	Коксівний газ
GASBFG	Доменний газ
GASGWG	Інші горючі гази
RENSOL	Потенціал сонячної енергії
BIOWOO	Дрова
BIOCRП	Трава
BIORPS	Рапс (ріпак)
BIOGAS	Біогаз
BIOMUN	Муніципальне сміття
RENGEO	Потенціал геотермальної енергії
BIOSLU	Промислові стічні відходи
RENWIN	Потенціал вітрової енергії
BIOLIQ	Біопаливо
RENHYD	Потенціал гідроенергії
Сектор постачання	
SUPCOA	Вугілля
SUPCRD	Нафта
SUPRPG	Газ з нафтопереробних заводів і зріджений газ
SUPREF	Продукти переробки нафти
SUPRPP	Продукти переробки нафти
SUPGAS	Природний газ
SUPBIO	Біомаса
SUPELC	Електроенергія
SUPHTA	Високотемпературне тепло для автовиробників
SUPSTM	Пара
SUPHTU	Утилізоване тепло
SUPHTH	Високотемпературне тепло

Продовження табл. 27

Коротке ім'я	Опис
OILRSV	Видобута нафта
OILPIP	Нафта, підготовлена до транспортування
GASRSV	Видобутий природний газ
GASPIP	Природний газ, підготовлений до транспортування
COHRSV	Видобуте вугілля
COLRSV	Видобутий лігніт
NUCRSV	Уранова руда або концентрат
MISORE	Залізна руда
MISCNC	Залізорудний концентрат
MISRIR	Чавун
MISSCR	Залізний брухт
MISBFS	Доменний шлак
MISOXY	Кисень для виробництва сталі
MISQLI	Вапно
MISCST	Сира сталь
MALBAU	Боксит алюмінію
MALSCR	Алюмінієвий брухт
MALCRD	Алюмінієва руда
MAMSNT	Аміак
MCMCLK	Клінкери цементні
MLMSTN	Вапняк
MGLIGH	Виливне скло
MGLIGF	Прокатне скло
MGLRYC	Склобрухт
MPPWOO	Деревина
MPPRYC	Макулатура
MPPPOXY	Кисень для виробництва паперу
MPPPPAP	Різномісний папір
MPPPPUP	Целюлоза чи напівцелюлоза
INDBLQ	Чорний луг
MPPKAO	Каолін
MPPGYP	Гіпс
Сектор виробництва і постачання електроенергії та тепла	
ELCCOH	Вугілля
ELCCOL	Лігніт
ELCRFG	Газ з нафтопереробних заводів
ELCDST	Дизельне паливо
ELCHFO	Мазут
ELCGAS	Природний газ
ELCDGS	Коксівний газ
ELCOIL	Нафта
ELCHYD	Водні ресурси для гідроенергетики
ELCWIN	Вітрові ресурси для вітроенергетики
ELCSOL	Сонячна радіація та світло
ELCGEO	Термальні води, пароводяні суміші і природна пара
ELCWOO	Дрова
ELCBGS	Біогаз
ELCMUN	Муніципальне сміття
ELCSLU	Промислові відходи
ELCLPG	Зріджений нафтовий газ
ELCKER	Гас - паливо для реактивних двигунів
ELCGSL	Бензин

Коротке ім'я	Опис
ELCNAP	Лігроїн
ELCNEU	Мастильні матеріали, бітум
ELCNUC	Ядерне паливо
ELCHIG	Високовольтна електроенергія
ELCMED	Середньовольтна електроенергія
ELCLOW	Низьковольтна електроенергія
HETHTH	Тепло
Промисловість	
INDCOA	Вугілля
INDCOL	Лігніт
INDCOB	Буре вугілля
INDCOK	Кокс
INDRFG	Газ з нафтопереробних заводів
INDLPG	Зріджений нафтовий газ
INDLFO	Фракції легкі
INDNAP	Лігроїн
INDHFO	Мазут
INDGAS	Природний газ
INDCOG	Коксівний газ
INDBFG	Доменний газ
INDSOL	Сонячна енергія
INDGEO	Геотермальна енергія
INDBIO	Біомаса
INDMUN	Муніципальне сміття
INDSLU	Промислові відходи
INDHYD	Гідроенергія
INDWIN	Вітрова енергія
INDELC	Електроенергія
INDHTH	Високотемпературне тепло в промисловості
IISHTH	Високотемпературне тепло в металургії
INFHTH	Високотемпературне тепло для виробництва незалізних металів
IAMHTH	Високотемпературне тепло для виробництва аміачних виробів
ICHHTH	Високотемпературне тепло для хімічної промисловості
ICMHTH	Високотемпературне тепло для цементної промисловості
IGLHTH	Високотемпературне тепло для виробництва скляних виробів
INMHTH	Високотемпературне тепло для виробництва неметалевих виробів
IPPHTH	Високотемпературне тепло для виробництва паперових виробів
IOIHTH	Високотемпературне тепло для виробництва інших промислових виробів
IISHTA, INFHTA, IAMHTA, ICHHTA, ICMHTA, IGLHTA, INMHTA, IPPHTA, IOIHTA	Тепло, вироблене на заводських котельнях та блок-станціях у різних галузях промисловості
IISHTB, IAMHTB, ICHHTB, IGLHTB, INMHTB, IPPHTB, IOIHTB	Тепло, вироблене бойлерами різних галузей промисловості
IISHTU, INFHTU, IAMHTU, ICHHTU, IGLHTU, INMHTU, IOIHTU	Утилізоване тепло в різних галузях промисловості
INDHH2	Водень
Транспортний сектор	
TRALPG	Зріджений нафтовий газ
TRAGSL	Бензин
TRAKER	Гас

Коротке ім'я	Опис
TRADST	Дизельне паливо
TRACOA	Вугілля
TRAHFO	Мазут
TRAGAS	Природний газ
TRABDL	Біодизель
TRARPP	Продукти переробки нафти
TRAELC	Електроенергія
TRAHTA	Високотемпературне тепло
TRAHTH	Тепло
Населення	
RSDCOA	Вугілля
RSDLPG	Зріджений нафтовий газ
RSDOIL	Нафта
RSDGAS	Природний газ
RSDBIO	Біомаса
RSDSOL	Сонячна енергія
RSDGEO	Геотермальна енергія
RSELC	Електроенергія
RSDHTH	Високотемпературне тепло
Комерційний та бюджетний сектори	
COMCOA	Вугілля
COMLPG	Зріджений нафтовий газ
COMOIL	Нафта
COMGAS	Природний газ
COMBIO	Біомаса
COMSOL	Сонячна енергія
COMGEO	Геотермальна енергія
COMELC	Електроенергія
COMHTA	Високотемпературне тепло для автовиробництва
COMSTM	Промислова пара
COMHTU	Утилізоване тепло
COMHTH	Високотемпературне тепло
Сільське господарство	
AGRCOA	Вугілля
AGRLPG	Зріджений нафтовий газ
AGROIL	Нафта
AGRGAS	Природний газ
AGRBIO	Біомаса
AGRBDL	Біодизель
AGRSOL	Сонячна енергія
AGRGEO	Геотермальна енергія
AGRELC	Електроенергія
RCAHTH	Високотемпературне тепло
AGRHTA	Високотемпературне тепло для автовиробництва
AGRSTM	Промислова пара
AGRHTU	Утилізоване тепло
AGRHTH	Високотемпературне тепло

Джерело: розроблено за даними Програми системного аналізу енергетичних технологій (ETSAP) Міжнародного енергетичного агентства.

Умовні позначення попитів

Умовні (супутні) попити	
AAM	Умовний попит в хімічній галузі
ACH	Умовний попит при виробництві іншої хімічної продукції
ACM	Умовний попит при виробництві цементної продукції
AGL	Умовний попит при виробництві скляної продукції
AIS	Умовний попит в металургії
ANF	Умовний попит при виробництві іншої незалізної продукції
ANM	Умовний попит при виробництві іншої неметалевої мінеральної продукції
AOI	Умовний попит при виробництві інших промислових товарів
APP	Умовний попит при виробництві паперової продукції
ATR	Умовний попит в транспорті
AEL	Умовний попит в електроенергетиці
ASU	Умовний попит в секторі постачання
Попити в комерційному та бюджетному секторах	
CCLE	Охолодження великих приміщень
CCOK	Приготування їжі
CCSE	Охолодження малих приміщень
CHLE	Опалення великих приміщень
CHSE	Опалення малих приміщень
CLIG	Освітлення приміщень
COEL	Інший попит на електроенергію
COEN	Інший попит на іншу енергію
CPLI	Вуличне освітлення
CREF	Зберігання їжі (холодильні установки)
CWLE	Нагрівання води у великих приміщеннях
CWSE	Нагрівання води у малих приміщеннях
Попити в промисловості	
IAL	Алюміній
IAM	Аміак синтетичний еквівалент
ICH	Попит на інші хімічну продукцію
ICM	Цемент
IGL	Скло еквівалент
IIS	Сталь еквівалент
ILM	Вапно
INF	Попит на іншу незалізну продукцію
INM	Попит на іншу неметалеву продукцію
IOI	Попит на іншу промислову продукцію
IPP	Папір еквівалент
NEC	Попит на неенергетичне споживання в хімічній галузі
NEO	Попит на інше неенергетичне споживання
ONE	Попит в інших секторах, що не ввійшли до перелічених
Попити населення	
RCDR	Сушіння білизни
RCME	Охолодження багатоквартирних будинків
RCOK	Приготування їжі
RCRE	Охолодження сільських будинків
RCUE	Охолодження міських будинків
RCWA	Прання білизни
RDWA	Миття посуду
RHME	Обігрів багатоквартирних будинків
RHRE	Обігрів сільських будинків

Закінчення табл. 28

RHUE	Обігрів міських будинків
RLIG	Освітлення
ROEL	Інший попит на електроенергію
RREF	Зберігання їжі (холодильні установки)
RWME	Нагрівання води у багатоквартирних будинках
RWRE	Нагрівання води у сільських будинках
RWUE	Нагрівання води у міських будинках
Попити в транспорті	
TAV	Авіап перевезення
TCL	Проїзд автомобілями на довгі (міжміські) дистанції
TCS	Проїзд автомобілями на короткі (міські) дистанції
TFR	Вантажоперевезення автомобільним транспортом
TIB	Міжміські перевезення автобусами
TMO	Проїзд мототехнікою
TNA	Навігація
TTF	Вантажоперевезення залізничним транспортом
TTP	Пасажироперевезення залізничним транспортом
TUB	Міські перевезення автобусами
TUM	Проїзд в метро
TUR	Проїзд в тролейбусах
TUT	Проїзд в трамваях

Джерело: розроблено за даними Програми системного аналізу енергетичних технологій (ETSAP) Міжнародного енергетичного агентства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Точилін В.О., Подолець Р.З., Дячук О.А., Олександренко Ю.А. Прикладна економіко-математична модель "TIMES-Україна" для оптимізації енергетичних потоків та прогнозування енергетичного балансу України. – К., Наука та інновації. – 2010. – Т. 6. – № 2. – С. 48–66.
2. Podolets R., Diachuk O. Dual problem of the coal sector development: Case study with TIMES-Ukraine Model [Електронний ресурс] // International Energy Workshop – 2010 / Королівський технологічний університет, Сток-гольм, Швеція, 21–24 червня 2010 р. – Доступний з: http://www.iea-etsap.org/web/Workshop/Stockholm_Sweden_2010/Times-Ukraine_Coal%20sector.pdf.
3. Подолець Р.З., Дячук О.А. Дослідження загроз енергозабезпечення економіки та оцінка заходів для їх попередження // Економічна безпека держави і науково-технологічні аспекти її забезпечення: праці 1-го науково-практичного семінару з міжнародною участю, 21–22 жовтня 2009 р. – К.: ПП Чабаненко Ю.А., 2009. – С. 378–385.
4. Podolets R., Diachuk O., Trypolska G. Achieving EU targets on renewable energy: strategy for Ukraine [Електронний ресурс] // Щорічні збори за програмою системного аналізу енергетичних технологій (ETSAP) / Університетський коледж м. Корк, Ірландія, 16–17 листопада 2010 р. Доступний з: <http://www.iea-etsap.org/web/index.asp>.
5. Pysmenna U., Trypolska G., Podolets R., Diachuk O., Tochylin V. Electricity generation technologies: solar prospects? [Електронний ресурс] // European Energy Review. – Доступний з: <http://www.europeanenergy-review.eu/data/docs/possibilities%20for%20renewable%20energy%20generation%20in%20ukraine.pdf>.
6. Advanced Local Energy Planning / [R. Jank, Th. Steidle, B. Rydén and oth.]; Edited by Reinhard Jank; International Energy Agency; Energy Conservation In Buildings And Community Systems; Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH – Karlsruhe, 2000. – 206 p.
7. Joseffson A. Community based regional energy-environmental planning / Joseffson A., Johnsson J., Wene C.O. – WP-78. – Fondazione Eni Enrico Mattei, Milano, Italy, 1994.
8. Alan S. Manne. MERGE: An Integrated Assessment Model for Global Climate Change [Електронний ресурс] / Alan S. Manne, Richard G. Richels / Stanford University, 2004. – 17 p. – Доступний з: <http://www.stanford.edu/group/MERGE/GERAD1.pdf>
9. Jae Edmonds. Second Generation Model 2004: An Overview [Електронний ресурс] / Jae Edmonds, Hugh Pitcher, Ron Sands / Joint Global Change Research Institute, 2004. – 40 p. – Доступний з: http://www.globalchange.umd.edu/data/models/SGM_2004_Overview.pdf
10. Grohnheit P.E. Economic interpretation of the EFOM model / Poul Erik Grohnheit // Energy Economics. – 1991. – Vol. 13, Issue 2 – p. 143–152.
11. Loulou R., Labriet M. ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model. Part I: Model structure [Електронний ресурс] / Richard Loulou, Maryse Labriet / Energy Technology Systems Analysis Program, 2007. – Доступний з: <http://www.etsap.org/applicationGlobal.asp>

12. Ybema J.R. Prospects for energy technology in the Netherlands / [Ybema J.R., Lako P., Gielen D.J. and oth.] – Netherlands Energy Research Foundation – ECN-C-95-002., Petten, Netherlands, 1995.
13. Vikko N. Short-term electric power production scheduling using simulated annealing algorithm / Vikko N., Lautala P. // Proceedings of the IASTED International Symposium. – ACTA Press, Anaheim, CA, USA, 1990.
14. Шапот Д.В. Методы решения задач полилинейного программирования / Шапот Д.В., Лукацкий А.М. // Журн. выч. математики и мат. физики. – 2001. – Т. 41. – № 5.
15. Bhatja R. Econometric methods for energy planning and policy / [Bhatja R., Rogner H.H., Khan A.M. Furlan G.] – Economics, modeling, planning and management of energy. – World Scientific Publishing Co., Singapore, 1990.
16. Loulou R., Goldstein G., Noble K. Documentation for the MARKAL Family of Models. Part 2: MARKAL-MACRO [Електронний ресурс] / Richard Loulou, Gary Goldstein, Ken Noble/Energy Technology Systems Analysis Program, 2004. – Доступний з: http://www.etsap.org/MrkIDoc-II_MARKALMACRO.pdf.
17. UNEP greenhouse gas abatement costing study, phase one report, UNEP collaborating centre on energy and environment, RISO National Laboratory, August, 1992.
18. Формування узгоджених прогнозів розвитку економіки та енергетики з використанням оптимізаційних моделей / Б.А. Костюковський, О.О. Максимець, А.І. Спітковський [та ін.] // Проблеми загальної енергетики. – 2008. – №18. – С. 21-23.
19. Математичні моделі процесів функціонування та розвитку теплової енергетики України в ринкових умовах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 01.05.02 [Електронний ресурс] / А.В. Борисенко; Ін-т пробл. моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова НАН України. – К., 2009. – 32 с. – Доступний з: <http://www.nbu.gov.ua/ard/2009/09bavuru.zip>.
20. Имитационное моделирование в энергетике / [Б.З. Пириашвили, М.М. Ворончук, Е.И. Чиркин и др.]; под ред. Б.З. Пириашвили. – К.: Наукова Думка, 2008. – 303 с.
21. The General Algebraic Modeling System (GAMS). Офіційний сайт. – Доступний з: <http://www.gams.com>.
22. Loulou R., Remne U., Kanudia A., Lehtila A., Goldstein G. Documentation for the TIMES Model. Part I: TIMES Concepts and Theory [Електронний ресурс] / Richard Loulou, Uwe Remne, Amit Kanudia, Antti Lehtila, Gary Goldstein / Energy Technology Systems Analysis Program, 2004. – Доступний з: <http://www.etsap.org/Docs/TIMESDoc-Intro.pdf>.
23. Сайт інформаційно-технологічної підтримки програмного забезпечення VEDA Front End [Електронний ресурс] // Офіційний сайт. – Доступний з: <http://www.kanors.com/VEDASupport/VedaFe.aspx>.
24. Сайт інформаційно-технологічної підтримки програмного забезпечення VEDA Back End. [Електронний ресурс] // Офіційний сайт. – Доступний з: <http://www.kanors.com/VEDASupport/VedaBe.aspx>.
25. Energy Technology Systems Analysis Program, ETSAP (Програми системного аналізу енергетичних технологій). [Електронний ресурс] // Офіційний сайт. Доступний з: <http://www.etsap.org/index.asp>

26. Remme U. Overview of TIMES: Parameters, Primal Variables & Equations [Електронний ресурс] // Uwe Remme / ETSAP Workshop, 2007. – Доступний з: http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/pb_pdf/Remme_Overview_TIMES_2007.pdf.
27. The energy technology data source [Електронний ресурс] / Energy Technology Systems Analysis Program. – Офіційний сайт. – Доступний з: <http://www.etsap.org/E-techDS/>.
28. Gargiulo M. Getting started with TIMES-VEDA [Електронний ресурс] // Maurizio Gargiulo / Energy Technology Systems Analysis. – Version 2.7. – May 2009. – Program. – Доступний з: <http://www.etsap.org/documentation.asp>.
29. Дячук А.А., Подолець Р.З. Моделирование энергетической системы Украины: 36. наук. праць ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова НАН України. Спеціальний випуск "Моделювання та інформаційні технології". – К., 2010. – Т.2. – С. 14–22.
30. Loulou R., Remne U., Kanudia A., Lehtila A., Goldstein G. Documentation for the TIMES Model. Part II: Reference manual [Електронний ресурс] / Richard Loulou, Uwe Remne, Amit Kanudia, Antti Lehtila, Gary Goldstein / Energy Technology Systems Analysis Program, 2004. – Доступний з: <http://www.etsap.org/Docs/TIMESDoc-Details.pdf>.
31. Model MESSAGE Command Line User Manual Version 0.18 [Електронний ресурс]. – Доступний з: http://www.iiasa.ac.at/Research/ECS/docs/MESSAGE_man018.pdf.
32. Lehtila A. TIMES Objective Function Formulations [Електронний ресурс] // Antti Lehtila / Energy Technology Systems Analysis Program, 2008. – Доступний з: <http://www.etsap.org/Docs/TIMES-Objective-Variants.pdf>.
33. Loulou R., Lehtila A. Stochastic Programming and Tradeoff Analysis in TIMES [Електронний ресурс] // Richard Loulou, Antti Lehtila / Energy Technology Systems Analysis Program, 2007. – Доступний з: <http://www.etsap.org/Docs/TIMES-Stochastic.pdf>.
34. Loulou R., Remne U., Kanudia A., Lehtila A., Goldstein G. Documentation for the TIMES Model. Part III: GAMS Implementation [Електронний ресурс] / Richard Loulou, Uwe Remne, Amit Kanudia, Antti Lehtila, Gary Goldstein / Energy Technology Systems Analysis Program, 2004. – Доступний з: <http://www.etsap.org/Docs/TIMESDoc-GAMS.pdf>.
35. Podolets R., Diachuk O., Oleksandrenko Y. Practical validity of input parameters in the case of TIMES-Ukraine model [Електронний ресурс] // International Energy Workshop – 2009 / Фонд Джорджіо Ціні, острів св. Джоржія Маггіоре, Венеція, Італія, 17–19 червня 2009 р. Доступний з: <http://www.iccgov.org/iew2009/speakersdocs/presentazioni/19.06.2009/Parallel7/Roman%20PODOLETS.pdf>.

СПИСОК РИСУНКІВ

Рис. 1. Блок-схема енергетичної системи.....	9
Рис. 2. Зв'язок енерго-економічних та моделей енергетичних систем	17
Рис. 3. Користувачі моделей TIMES	22
Рис. 4. Формування енергетичного потоку.....	25
Рис. 5. Категорії потреб (енергетичних попитів)	
Рис. 6. Структура матеріальних потоків у металургії (2005 рік)	29
Рис. 7. Структура сектора видобутку нафти і природного газу (2005 рік).....	
Рис. 8. Структура сектора виробництва вугільної продукції (2005 рік)	35
Рис. 9. Блок-схема процесу виробництва нафтопродуктів.....	36
Рис. 10. Структура сектора виробництва біопалива	38
Рис. 11. Структура сектора виробництва і постачання електроенергії та тепла (2005 рік)	
Рис. 12. Структура сектора виробництва і постачання електроенергії та тепла.....	43
Рис. 13. Блок-схема процесу виробництва сталі.....	45
Рис. 14. Блок-схема процесу виробництва цементу	47
Рис. 15. Блок-схема процесу виробництва скла.....	48
Рис. 16. Блок-схема процесу виробництва вапна	49
Рис. 17. Блок-схема процесу виробництва паперу	49
Рис. 18. Блок-схема процесу виробництва аміаку.....	50
Рис. 19. Блок-схема процесу виробництва алюмінію.....	51
Рис. 20. Структура інших енергетичних попитів	52
Рис. 21. Основний та супутній (умовний) енергетичний попит в промисловості.....	53
Рис. 22. Структура транспортного сектора	
Рис. 23. Структура споживачів у транспортному секторі у 2005 році.....	57
Рис. 24. Структура задоволення попиту населення, комерційного та бюджетного секторів	59
Рис. 25. Структура споживання енергії в сільському господарстві у 2005 р.....	60
Рис. 26. Розширена структура сільського господарства	61
Рис. 27. Часовий горизонт і типи років в моделі.....	62
Рис. 28. Дерево часових періодів	63

Рис. 29. Динамічність сімейства моделей TIMES	65
Рис. 30. Старіння технологій	66
Рис. 31. Базова структура енергетичної системи	68
Рис. 32. Сценарії зовнішнього середовища для ТЕЦ.....	70
Рис. 33. Період прогнозування.....	72
Рис. 34. ІТ-ландшафт інформаційно-аналітичної системи для формування прогнозного енергетичного балансу на базі моделі "TIMES-Україна"	74
Рис. 35. Генерування моделі TIMES.....	75
Рис. 36. Основні параметри системи.....	76
Рис. 37. Фрагмент балансової сторінки шаблону з вхідними даними для сектора промисловості.....	77
Рис. 38. Програмна оболонка (навігатор) VEDA-FE	78
Рис. 39. Редактор-оглядач даних, які були включені до моделі.....	79
Рис. 40. БСЕС-навігатор VEDA Front End	80
Рис. 41. Перетоки в моделі TIMES-MACRO	81
Рис. 42. Фрагмент програмного коду моделі "TIMES-Україна"	84
Рис. 43. Програмна оболонка VEDA Back End	85
Рис. 44. Форма табличного звіту: первинне постачання.....	87
Рис. 45. Таблиця "умовного імпорту".....	87
Рис. 46. Зведена таблиця енергетичних балансів України на 2005–2030 роки	88
Рис. 47. Порівняння результатів прогнозування за різними сценаріями розвитку..	89
Рис. 48. Видобування основних видів викопних енергоресурсів.....	99
Рис. 49. Динаміка імпорту основних видів енергетичних ресурсів	100
Рис. 50. Динаміка загального первинного постачання основних видів енергоресурсів.....	100
Рис. 51. Попит на електроенергію за секторами	101
Рис. 52. Виробництво електроенергії за типами генерації	102
Рис. 53. Попит на тепло за секторами.....	102
Рис. 54. Відпуск тепла за видами підприємств.....	103
Рис. 55. Кінцеве споживання енергії та палива	103
Рис. 56. Кінцеве споживання енергоресурсів за секторами	104
Рис. 57. Споживання палива та енергії промисловістю	104
Рис. 58. Споживання палива та енергії населенням	105
Рис. 59. Споживання палива та енергії бюджетним та комерційним секторами.....	106

Рис. 60. Споживання палива та енергії транспортним сектором	107
Рис. 61. Рівень сукупних викидів парникових газів.....	107
Рис. 62. Динаміка України в системі енерго-економічних координат	114
Рис. 63. Функціональні обов'язки груп ССП	117
Рис. 64. Етапи та завдання процесу ССП	118
Рис. 65. Кількість виконавців та тривалість етапів процесу ССП	119
Рис. 66а. Двоїсті оцінки (1)	124
Рис. 66б. Двоїсті оцінки (2)	125
Рис. 66в. Двоїсті оцінки (3)	126
Рис. 66г. Двоїсті оцінки (4).....	126

СПИСОК ТАБЛИЦЬ

Таблиця 1. Характеристики енергетичних моделей	18
Таблиця 2. Використання первинних енергоресурсів і кінцеве споживання енергії та палива в 2005 році	27
Таблиця 3. Виробництво первинних енергоресурсів у 2005 році	33
Таблиця 4. Споживання палива, виробництво та відпуск електроенергії та тепла електростанціями України у 2005 році.....	40
Таблиця 5. Джерела інформації щодо виробництва сталі*	46
Таблиця 6. Джерела інформації щодо виробництва цементу	47
Таблиця 7. Джерела інформації щодо виробництва скла	48
Таблиця 8. Джерела інформації щодо виробництва вапна	49
Таблиця 9. Джерела інформації щодо виробництва паперу	50
Таблиця 10. Джерела інформації щодо виробництва аміаку	51
Таблиця 11. Джерела інформації щодо виробництва алюмінію	51
Таблиця 12. Виробництво "непрофільної" продукції підприємствами металургії ..	52
Таблиця 13. Кінцеве споживання енергії в промисловості в 2005 році	54
Таблиця 14. Види енергетичного попиту в галузях промисловості	54
Таблиця 15. Статистична інформація дорожнього транспорту у 2005 р.	56
Таблиця 16. Види енергетичного попиту в транспортному секторі	57
Таблиця 17. Структура споживання палива та енергії населенням в 2005 році.....	58
Таблиця 18. Структура споживання палива та енергії комерційним та бюджетним секторами в 2005 році	60
Таблиця 19. Величина часток проміжків часу в році	64
Таблиця 20. Припущення щодо прогнозних макроекономічних показників.....	91
Таблиця 21. Кінцеве споживання енергії для виробництва промислової продукції	95
Таблиця 22. Основні умови та припущення Базового сценарію	98
Таблиця 23. Звітний енергетичний баланс України за 2005 рік	108
Таблиця 24. Прогнозний енергетичний баланс України на 2015 рік	109
Таблиця 25. Прогнозний енергетичний баланс України на 2030 рік	111
Таблиця 26. Основні змінні моделі	127
Таблиця 27. Умовні позначення енергоресурсів та продуктів виробництва	134
Таблиця 28. Умовні позначення попитів	138

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

"TIMES-Україна"	— оптимізаційна квазідинамічна економіко-математична модель енергетичної системи із заданим попитом для прогнозування енергетичного балансу України
AGEP	— макроекономічна динамічна модель типу затрати-випуск розроблена в університеті м. Ольденбурга
AMPL	— мова для створення задач математичного програмування (A Modeling Language for Mathematical Programming)
BAU	— business-as-usual
CAFÉ	— Корпоративна середня економія палива (Corporate Average Fuel Economy)
CRES	— Центр відновлюваних джерел енергії (Center For Renewable Energy Sources)
ECN	— Енергетичне агентство Нідерландів (Energy Research Centre of the Netherlands)
EFOM	— модель оптимізації енергетичних потоків (The Energy Flow Optimization Model)
EIA	— Адміністрація енергетичної інформації (Energy Information Administration)
ENPEP	— пакет програм енергетичних оцінок (Energy and Power Evaluation Program)
ETA-MACRO	— макроекономічна модель для аналізу та оцінки енергетичних технологій
ETSAP	— Програма системного аналізу енергетичних технологій (Energy Technology Systems Analysis Program)
EU	— Європейський Союз
FT-дизель	— Виробництво дизельного біопалива за допомогою синтезу Фішера-Тропша
GAMS	— загальна алгебраїчна система моделювання (General Algebraic Modeling System)
GTAP- ENERGY	— генератор моделей енергетичних систем
HTML	— мова розмітки гіпертексту (HyperText Markup Language)
IKARUS	— інструментарій для розробки стратегій зменшення викидів парникових газів (Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien)
LEAP	— пакет економічних оцінок (Local Economic Assessment Package)
LINGO	— пакет лінійного програмування
MACRO	— модель загальної рівноваги
MAED	— модель для аналізу енергетичного попиту (Model for Analysis of Energy Demand)
MARKAL	— генератор моделей енергетичних систем (Market Allocation)

MEGRE	— Модель для оцінки регіональних і глобальних наслідків політики скорочення викидів парникових газів (A Model for Evaluating the Regional and Global Effects of GHG Reduction Policies)
MESSAGE	— модель стратегій енергозбереження та їх загального впливу на навколишнє природне середовище (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact)
MPL	— мова математичного програмування (Mathematical Programming Language)
RISO	— лабораторія енергетичного агентства Данії
SGM	— мультирегіональна модель загальної рівноваги (Second Generation Model)
STE	— система аналізу та оцінки технології (System Analysis and Technology Evaluation)
TFC	— Загальне кінцеве споживання енергії
TIMES	— генератор моделей енергетичних систем (The Integrated MARKAL-EFOM System)
TPES	— Загальне первинне постачання енергії
UCTE	— Спілка з координації передачі електроенергії (Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)
VEDA	— системне середовище (the VErsatile Data Analyst)
VEDA-BE	— системна оболонка для інтелектуального та оперативного аналізу даних
VEDA-FE	— системна оболонка для зчитування, обробки і представлення даних
VTT	— Центр технічних досліджень Фінляндії
АЕС	— атомна електростанція
Біопаливо	— паливо мінімум з 80 % вмістом (за об'ємом) матеріалів, отриманих від живих організмів, зібраних в межах десяти років перед виробництвом
БСЕС	— Базова структура енергетичної системи
ВВП	— валовий внутрішній продукт
ВЕС	— вітрова електростанція
ВН	— висока напруга
ГАЕС	— гідроакumuлююча електростанція
ГВт	— гігават
ГЕС	— гідроелектростанція
ДДІВ	— державний департамент інтелектуальної власності
Держкомстат	— Державна служба статистики України
ДКПП	— Державний класифікатор продукції та послуг
ДУ	— державна установа
ЕСУ2030	— Енергетична стратегія України на період до 2030 року
Євростат	— статистична організація Європейської Комісії
ЄДСМ	— Єдина державна система моніторингу виробництва, постачання, транспортування, споживання та оплати за паливно-енергетичні ресурси і житлово-комунальні послуги
ЄС	— Європейська Комісія
ІАС	— інформаційно-аналітична система

ІЕП	— державна установа "Інститут економіки та прогнозування Національної академії наук України"
ІТ	— інформаційні технології
КВВП	— коефіцієнт використання виробничих потужностей
КВЕД	— класифікація видів економічної діяльності
кВт	— кіловольт
КҚД	— коефіцієнт корисної дії
КМУ	— Кабінет Міністрів України
КП	— "керуючий параметр"
МВС	— Міністерство внутрішніх справ України
МЕА	— Міжнародне енергетичне агентство
МЭНЭК	— міжгалузева модель енергетики в економіці (Межотраслевая модель энергетики в экономике)
НАН	— Національна академія наук України
НН	— низька напруга;
НПЗ	— нафтопереробний завод
НПП	— номенклатура промислової продукції
ОЕСР	— Організація економічного співробітництва та розвитку
ОК	— обмеження користувача
ОРЕ	— оптовий ринок електроенергії України
ПГ	— парникові гази
ПДж	— петаджоуль
ПЕК	— паливно-енергетичний комплекс
ПЕР	— первинні енергоресурси
ПММ	— паливно-мастильні матеріали
ППВС	— Програма підтримки вугільного сектора
СН	— середня напруга;
СРСР	— Союз Радянських Соціалістичних Республік
ССП	— національна система стратегічного планування розвитку енергетики
ТЕС	— теплова електростанція
ТЕЦ	— теплоелектроцентрально

Наукове видання

Роман Здиславович Подолець

Олександр Анатолійович Дячук

**Стратегічне планування у паливно-енергетичному комплексі
на базі моделі "TIMES-Україна"**

Наукова доповідь

Редактор Т.П.Тацій

Оригінал-макет В.М.Ускова

Підписано до друку 22.04.2011 р.

Формат 70×108/16. Гарнітура Arial Narrow. Ризографія.

Обл.-вид. арк. 8,24. Ум. друк. арк. 13,125. Наклад 200 прим.

Замовлення № ____

Поліграфічна дільниця Інституту економіки та прогнозування НАН України
вул. Панаса Мирного, 26, м. Київ, 01011