

ІНСТИТУТУ ЗАГАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НАН УКРАЇНИ 25 РОКІВ

В умовах розбудови української держави однією з необхідних складових її розвитку є енергетична політика. Визначення стану функціонування енергетики та перспектив її розвитку завжди були актуальними. Для країни була потрібна наукова установа, що займалася б загальними проблемами розвитку її паливно-енергетичного комплексу, прогнозуванням та розробленням паливно-енергетичних балансів, проблемами підвищення енергоефективності при виробництві, перетворенні та використанні паливно-енергетичних ресурсів, розробленням проблем енергетичної політики. Наукової організації для розв'язання проблем перспективного розвитку паливно-енергетичного комплексу в Україні не було не тільки у складі НАН України, але й серед галузевих інститутів держави. Зазначені проблеми розв'язувались виключно на рівні центральних органів управління колишнього СРСР.

Створення такого інституту у складі НАН України відповідало інтересам України в частині підвищення її енергетичної та економічної безпеки, якісному та оперативному вирішенню ключових проблем функціонування та розвитку національної енергетики за умов перехідної та усталеної економіки, інтеграції України до світових енергетичних ринків та низки інших важливих проблем державного значення.

Однією із сторін практичної діяльності нового інституту повинно було стати систематичне розроблення та підготовка для державних органів влади науково-обґрунтованих рекомендацій та пропозицій з питань структурної політики розвитку енергетики, нормативно-правових проблем її функціонування та розвитку, підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів.

Для вирішення сукупності зазначених проблем у складі НАН України було створено інститут відповідного профілю.

У 1988 р. відповідно до Постанови Бюро Президії АН УРСР від 07.04.1988 р. № 138 на базі Відділення проблем перетворення і використання електроенергії Інституту електродинаміки АН УРСР, Відділень системних досліджень в енергетиці та високотемпературного перетворення енергії Інституту проблем моделювання в енергетиці АН УРСР і Комплексу теплотрії в

енергетиці Інституту технічної теплофізики АН УРСР було створено **Інститут проблем енергозбереження АН УРСР (ІПЕ АН УРСР)** зі Спеціальним конструкторсько-технологічним бюро з експериментальним виробництвом (СКТБ з ЕВ ІПЕ АН УРСР).

ІПЕ АН УРСР були визначені такі напрями наукових досліджень:

- розроблення наукових основ енергозбереження при перетворенні, розподілі та використанні електроенергії, створення енергозберігаючих електротехнологій;
- дослідження процесів перетворення теплової енергії, спрямованих на теплозбереження та економію паливно-енергетичних ресурсів;
- дослідження міжгалузевих та регіональних проблем паливно-енергетичного комплексу, розроблення техніко-економічних проблем енергозбереження.

У 1988 р. до структури ІПЕ АН УРСР входили науково-дослідні підрозділи:

1. Відділ оптимізації систем енергетики (№ 1).
2. Відділ електроенергетичних об'єктів і систем, до складу якого входили лабораторія системного аналізу технічних рішень та лабораторія засобів підготовки даних і побудови математичних моделей (№ 2).
3. Відділ теплоенергетичних процесів і систем з лабораторією математичного моделювання енерготехнологічних об'єктів (№ 3).
4. Відділ оптимізації енергоспоживання та енергозбереження з лабораторією прогнозування енергоспоживання (№ 4).
5. Відділ теплотрії і теплозбереження з лабораторією теплотричних мостів (№ 5).
6. Відділ моделювання та оптимізації систем з напівпровідниковими перетворювачами електроенергії з лабораторією автономних систем перетворення електроенергії (№ 6).

Директором ІПЕ АН УРСР було обрано члена-кореспондента АН УРСР Тонкаля В.Ю.

До найбільш вагомих результатів роботи ІПЕ НАН України слід віднести розроблення та введення у дію схваленою Постановою Кабінету Міністрів України від 14.02.1997 № 148 **Комплексу державну програму енергозбереження України.**

Разом з тим виклики, які постали перед енергетичним комплексом України після прого-

лошення її незалежності, вимагали нових підходів та рішень, які не обмежувалися б лише проблемами енергозбереження. Зокрема, вкрай необхідною постала проблема довгострокового прогнозування розвитку енергетики країни, її енергетичних комплексів, їх структурного розвитку, прогнозування науково-технологічного прогресу в енергетиці та дослідження проблем управління енергетичними системами й комплексами в нових економічних, політичних та міжнародних умовах.

Постановою Президії НАН України від 26.02.1997 р. № 83 ШЕ НАН України було реорганізовано в Інститут загальної енергетики НАН України (ІЗЕ НАН України), якому були визначені такі напрями наукових досліджень:

- наукові основи прогнозування розвитку енергетики та енергоспоживання, системний аналіз та оптимізація структури енергокомплексу, галузевих і регіональних систем енергетики та паливно-енергетичних балансів, створення інформаційних та програмних засобів прогнозування;

- дослідження проблем структурного розвитку енергетики України, ключових напрямів розвитку її паливно-енергетичного комплексу з урахуванням екологічних вимог, формування паливно-енергетичних балансів і оптимізації обсягів імпорту-експорту паливно-енергетичних ресурсів;

- системний аналіз та прогнозування науково-технічного прогресу в енергетиці, дослідження основних напрямів підвищення енергоефективності та енергозбереження, прогнозування та реалізація потенціалу енергозбереження;

- наукові основи управління енергетикою в нових економічних умовах, формування нормативно-правової бази та економічного середовища для функціонування і розвитку енергетики.

Директором Інституту загальної енергетики НАН України було обрано члена-кореспондента НАН України М.М. Кулика.

Через природні обмеження щодо обсягу статті ювілейного змісту із усього розмаїття здобутків Інституту протягом його 25-річної творчої діяльності виділимо окремо лише ті, що мають пріоритет і світове визнання у фундаментальній царині, та окремо ті, що забезпечили вирішення наріжних проблем становлення, формування і розвитку енергетики України після набуття нею державності.

Фундаментальні дослідження Інституту

Газотранспортні системи (ГТС). Ще з 50-х років минулого століття Україна відіграла

визначну роль у забезпеченні природним газом населення і економіки СРСР. У період до середини 70-тих років вона видобувала більше 75 млрд м³ природного газу і експортувала його до Російської Федерації і інших республік. Після освоєння нафтогазових родовищ Західного Сибіру Україна перетворилась у основного транзитера природного газу у Західну Європу, обсяги транзиту сягали 115–120 млрд м³ щорічно. Протяжність газотранспортних систем становила біля 3000 км, кількість ниток – до 10, діаметр трубопроводів – переважно 1420 мм. Кількість компресорних станцій – більше 30. Перехідні процеси, що виникали у таких гігантських просторових системах при тих чи інших збуреннях, тривають до 7 діб і більше. На рис. 1 надана типова триниткова ділянка ГТС обмежена двома компресорними станціями (КС). Перехідні процеси у кожному із трубопроводів між вузлами 1,6 описуються рівняннями Нав'є-Стокса (1)–(3), а в компресорних станціях – нелінійними алгебраїчними рівняннями.

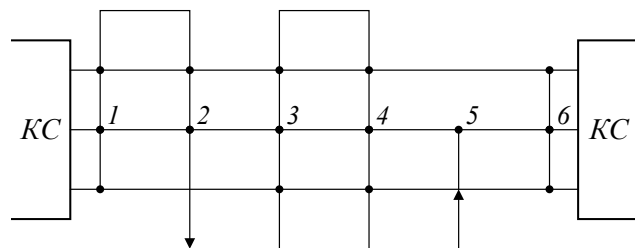


Рис. 1. Лінійна ділянка магістрального газопроводу

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(P + \rho v^2) = -\rho \left(\frac{\lambda v |v|}{2D} + g \frac{dh}{dx} \right), \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \rho v \left(E + \frac{P}{\rho} \right) = \frac{4K(T_{sp} - T)}{D} - \rho v g \frac{dh}{dx}, \quad (3)$$

де ρ , v , P , T – щільність, швидкість руху, тиск і температура газу відповідно; t , x – часова і просторова координати; λ – коефіцієнт гідравлічного опору; D – діаметр труби; K – коефіцієнт теплопередачі від труби до ґрунту; T_{sp} – температура ґрунту; h – висота залягання труби; E – повна енергія одиниці маси.

Газотранспортні системи за своїми просторовими показниками і математичною розмірністю (кількість невідомих параметрів крупної ГТС сягає 15–20 тисяч) є надвеликими енергетичними системами. Аналіз і керування їх режимами дуже ускладнюється тим, що перехідні процеси в них

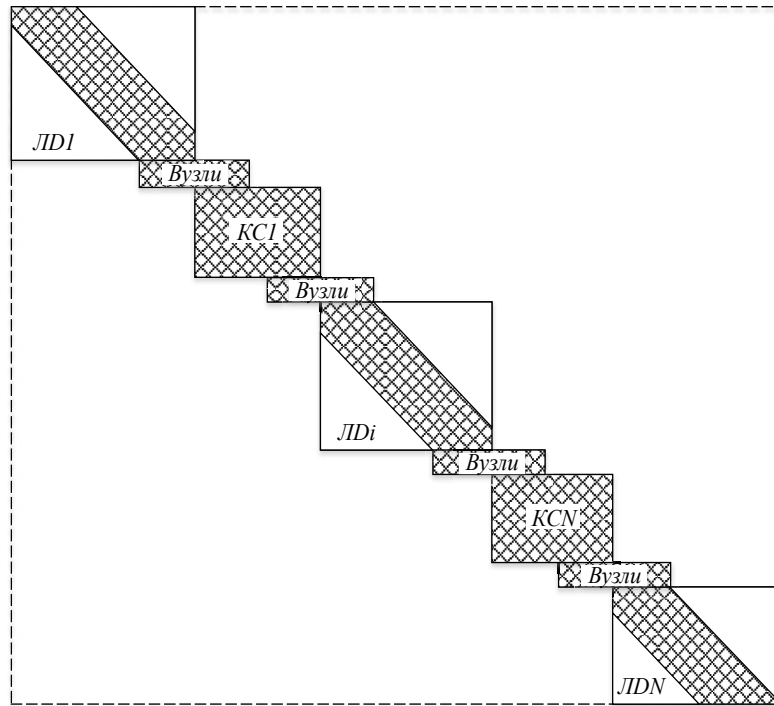


Рис. 2. Структура алгебраїзованої моделі ГТС

описуються рівняннями у частинних похідних. Тому ще у 80-х роках минулого століття серед фахівців провідних наукових установ і потужних фірм нафтогазового профілю світу панівною була оцінка, що при тодішньому стані обчислювальної математики і комп'ютерної техніки проблему прикладного аналізу нестационарних режимів ГТС вирішити неможливо.

Фахівці Інституту, які в той час працювали у складі ІПЕ НАН України, вирішили цю проблему наступним чином. До рівнянь (1)–(3) були застосовані неявні методи кінцево-різницевої алгебраїзації. Це забезпечило абсолютну стійкість обчислювального процесу. Структура алгебраїзованої моделі ГТС наведена на рис. 2.

Загальна матриця нелінійної алгебраїчної системи рівнянь за рис. 2 має біля $4 \cdot 10^8$ елементів, тому для знаходження рішень необхідно було застосовувати спеціальні методи. Оскільки матриця має стрічкову структуру із заповненістю значно меншою за 1%, була використана технологія ігнорування нульових елементів матриці. Окрім того, був застосований метод екстраполяції до межі, який при надвеликих розмірностях системи забезпечив високу точність отримуваних рішень. апробація цих результатів під час виконання міжнародних контрактів та на міжнародних конференціях показала, що ця проблема була вирішена Інститутом вперше у світі. У процесі цих досліджень були розроблені програмно-орієн-

товані комплекси «Прогноз» та «Динаміка», які були використані, зокрема, при експертизі математичного забезпечення системи автоматизації газопроводу «Уренгой-Ужгород» (розробка французької фірми ТОМСОН-ЦСФ) і в системах управління низки інших крупних ГТС (М. Кулик, О. Услонцев).

Оптимізація перспективної структури об'єднаних енергосистем (ОЕС). Обґрунтування доцільних до реалізації рішень з розвитку електроенергетики передбачає формування варіантів розвитку структури генеруючих потужностей в умовах конкурентного ринку при сталому функціонуванні електроенергетичної системи за критерієм мінімізації загальносистемної вартості виробництва електроенергії:

$$\sum_{t=1}^T \left[\sum_{k \in K} \left(C_k^c X_{kt} + \sum_{s \in S} \sum_{d \in D} \sum_{f \in F} C_{ksf}^v Y_{ksdft} \delta_{sd} \right) \right] \rightarrow \min, \quad (4)$$

де C_k^c , C_{ksf}^v – відповідно умовно-постійні та умовно-змінні складові середньозваженої за життєвий цикл вартості виробництва електроенергії технологією k ; X_{kt} , Y_{ksdft} – відповідно встановлена потужність технології k з множини K технологій, що розглядаються при моделюванні, та їх потужність, що використовується при покритті z зони графіка електричного навантаження (ГЕН) доби d сезону s етапу t прогнозного періоду $l \div T$; δ_{sd} – кількість характерних днів відповідного сезону.

Потужність, що фактично використовується при покритті ГЕН, обмежується встановленою потужністю з урахування її готовності до несення навантаження та використанням у режимах змінного навантаження f

$$\begin{aligned} Y_{ksdzt} &\leq \eta_{ks} X_{kt}, \\ Y_{ksdzt} &= \sum_{f \in F} a_{kzf} Y_{kfsdt}, \end{aligned} \quad (5)$$

де η_{ks} – коефіцієнт готовності (доступності) потужності; a_{kzf} – коефіцієнт використання встановленої потужності у z зоні ГЕН режиму f .

Баланси покриття характерних ГЕН для кожного етапу розрахункового періоду

$$\sum_{k \in K} (1 - \beta_{kt}) Y_{ksdzt} = P_{sdzt}, \quad (6)$$

де β_{kt} – споживання електроенергії на власні потреби, P_{sdzt} – навантаження відповідної зони z доби d сезону s ГЕН.

Баланс виробництва-споживання електроенергії для кожного етапу розрахункового періоду

$$\sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \sum_{d \in D} \sum_{z \in Z} (1 - \beta_{kt}) Y_{ksdzt} H_{sdzt} \delta_{sdt} \geq W_t, \quad (7)$$

де H_{sdzt} – тривалість z зони характерної доби d сезону s відповідного ГЕН; W_t – потреба в електроенергії етапу t прогнозного періоду.

Загальносистемні обмеження на викиди забруднюючих речовин та парникових газів:

$$\sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} \sum_{d \in D} \sum_{f \in F} \sum_{z \in Z} b_{kp'p} Y_{ksdft} \delta_{sd} \leq O_{p't}, \quad (8)$$

де $O_{p't}$ – цільові для певного етапу t загальносистемні обмеження на обсяги викидів забруднюючої речовини або парникових газів p' .

Критерій оптимізаційної задачі з урахуванням штрафних санкцій за наднормативні обсяги викидів в разі невиконання екологічних вимог:

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^T \left[\sum_{k \in K} \left(C_k^c X_{kt} + \sum_{s \in S} \sum_{d \in D} \sum_{f \in F} \sum_{z \in Z} C_{ksdfz}^{mv} Y_{ksdft} \delta_{sd} \right) + \right. \\ \left. + \sum_{p' \in P'} \left(C_{p't}^p O_{p't} + (C_{p't}^p + C_{p't}^n) O_{p't}^n \right) \right] \rightarrow \min, \quad (9) \end{aligned}$$

де C_{ksdfz}^{mv} – умовно-змінна складова собівартості виробництва електроенергії без урахування платежів за валові викиди забруднювачів; $C_{p't}^p$ – платежі за нормативні обсяги викидів; $C_{p't}^n$ – штрафи за наднормативні обсяги викидів; $O_{p't}^p$ – обсяги нормативних викидів; $O_{p't}^n$ – обсяги наднормативних викидів.

До екологічних обмежень, що мають значний вплив на функціонування та розвиток генеруючих потужностей ОЕС України, відносяться

зобов'язання щодо виконання екологічних директив ЄС як Сторони Енергетичного співтовариства, а також курс на низьковуглецевий розвиток для виконання умов Паризької Угоди до Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату.

Важливий вплив на розвиток функціонування ТЕС та ТЕЦ в ОЕС України є виконання Національного плану скорочення викидів (НПСВ) забруднюючих речовин від великих спалювальних установок.

Виходячи з поточної ситуації щодо реалізації основних заходів НПСВ, потреби у значних обсягах інвестицій з одночасною невідомістю джерел їх надходження, основним сценарієм розвитку теплової енергетики є наступний. Існуючі енергоблоки ТЕС, які вже пройшли реконструкцію з подовженням експлуатаційного терміну на 20 років, після його закінчення будуть виводитись з роботи. Інші існуючі енергоблоки ТЕС будуть виводитись з експлуатації у рік, визначений у НПСВ. За цим сценарієм потужність існуючих ТЕС скорочується до 13,6 ГВт на рівні 2025 р., до 9,4 ГВт у 2030 р., до 4,0 ГВт у 2035 р. Використання існуючих газомазутних енергоблоків в умовах діючого ринку електричної енергії є недоцільним, тому їх потужності у сценарних розрахунках не розглядаються. Подальший розвиток ТЕЦ на вичерпаному паливі передбачає оптимізацію їх потужності відповідно до рівня теплових навантажень, маловитратну реконструкцію вугільних ТЕЦ з подальшим їх зняттям з експлуатації по досягненні граничного ресурсу фізичного зносу обладнання, реконструкцію газомазутних ТЕЦ на базі впровадженням новітніх технологій комбінованого виробництва тепла та електричної енергії.

Розвиток атомних потужностей передбачає продовження терміну понадпроектної експлуатації існуючих енергоблоків АЕС на 30 років та добудову з 2026 р. 2 енергоблоків Хмельницької АЕС – 1000 і 1100 МВт.

Розвиток гідроенергетики передбачає завершення реабілітації ГЕС Дніпровського каскаду; будівництво Каховської ГЕС-2; введення в експлуатацію 3-го гідроагрегату Ташлицької ГАЕС генераторною потужністю 150 МВт та 4-го гідроагрегату Дністровської ГАЕС генераторною потужністю 324 МВт.

Ключове значення на формування перспективної структури генеруючих потужностей ОЕС України має розвиток відновлюваної енергетики. Потужність існуючих ВЕС та СЕС збережеться до 2040 р. і складе для ВЕС з урахуванням добудови вже розпочатих проектів 2,3 ГВт, для СЕС – 6,1 ГВт.

Результати сценарних розрахунків прогнозу структури генеруючих потужностей ОЕС України та основні показники її функціонування на період до 2040 р. з урахуванням зазначених умов і обмежень наведено у табл. 1.

Наведена математична модель і проблемно-орієнтований обчислювальний комплекс є унікальним явищем у науково-енергетичному середовищі України. Цей інструментарій регулярно, на постійній основі використовується, зо-

крема, при виконанні різноманітних завдань, які Інститут виконує за дорученнями центральних органів державної влади (Т. Нечасва).

Оптимізація технологічного розвитку вугільної галузі України. Надійне забезпечення споживачів вугільною продукцією в умовах дефіциту вугілля різних марок є, на сьогоднішній день, однією з ключових проблем підтримання функціонування паливно-енергетичного комплексу. В умовах загострення зовнішньоекономіч-

Таблиця 1. Показники прогнозу структури ОЕС України на період до 2040 р.

	При помірному зростанні потужностей ВЕС та СЕС				При швидкому зростанні потужностей ВЕС та СЕС			
	2025	2030	2035	2040	2025	2030	2035	2040
Необхідна потужність, ГВт, в тому числі	49,7	51,2	54,1	55,6	50,0	53,2	56,0	59,1
АЕС	13,8	14,8	14,8	15,9	13,8	14,8	14,8	15,9
ТЕС вугільні, з них:	13,6	13,6	12,7	11,7	13,6	12,1	11,2	9,9
- ТЕС нові	0,0	4,2	8,7	11,7	0,0	2,7	7,2	9,9
- ТЕС реконструйовані	5,4	5,2	2,6	0,0	5,4	5,2	2,6	0,0
ТЕС газові	0,0	0,0	1,5	1,5	0,2	1,4	2,9	2,9
ТЕЦ вугільні	1,3	1,1	0,5	0,0	1,3	1,1	0,5	0,0
ТЕЦ газові	3,5	2,4	1,7	1,7	3,5	2,4	1,7	1,7
ВЕС	2,9	3,9	5,0	6,0	2,9	4,3	6,0	8,0
СЕС	6,8	7,7	8,6	9,5	6,8	7,8	9,2	11,0
ГЕС та ГАЕС	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
АБ	0,9	0,9	2,5	2,5	1,0	2,4	2,9	2,9
Виробництво електроенергії, млрд кВт·год, в тому числі:	160,3	169,8	189,7	193,0	160,4	170,0	190,0	193,3
АЕС	85,0	91,5	93,4	100,3	84,9	91,1	92,9	97,8
ТЕС	48,0	46,4	60,0	52,0	47,9	45,4	56,4	46,2
ГЕС і ГАЕС	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9
ВЕС і СЕС	17,0	21,4	25,9	30,3	17,1	22,9	30,0	38,6
АБ	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9
ГАЕС закачування	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
заряджання АБ	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	1,0	0,9
Споживання вугілля, млн т	21,3	20,7	24,9	20,6	21,0	19,0	21,9	16,6
Споживання природного газу, млрд м³	1,7	1,3	1,9	1,8	1,8	2,0	2,7	2,6
Викиди SO₂, млн т	792,5	539,6	307,5	36,6	783,0	578,5	310,7	28,9
Викиди NO_x, тис. т	89,1	66,7	56,1	33,8	89,1	68,0	53,2	29,3
Викиди пилу, тис. т	32,2	18,6	9,4	2,1	33,3	20,9	9,6	1,8
Викиди ПГ, млн т CO₂-екв.	47,5	46,2	57,9	49,6	47,2	43,7	52,6	41,8
Кумулятивні інвестиції, млрд \$	3,0	13,0	25,5	36,6	3,5	15,8	27,9	40,6

ної та військової ситуації основним напрямом посилення енергетичної безпеки України є збільшення обсягів видобутку вугілля на контрольованих територіях. Проте сучасний технічний і технологічний стан вуглевидобувних підприємств вкрай незадовільний і потребує їх докорінної модернізації.

Враховуючи це, в Інституті було розроблено математичну модель оптимізації технологічного розвитку вугільної промисловості, яка, на відміну від загальногалузевих балансових оптимізаційних моделей, що використовують економічні показники, орієнтована на підвищення виробничої ефективності виділених підсистем галузі за критерієм їх загальної продуктивності. Модель, побудована як задача змішано-цілочисельного програмування, дозволяє визначити оптимальну за критерієм максимізації обсягу власного видобутку множину варіантів технічного переобладнання лав шахт:

$$\sum_{j=1}^{N_{III}} \sum_{v_j=1}^{V_j} x_{v_j}^{прог} \cdot \xi_{v_j} \rightarrow \max, \quad (10)$$

за умов збільшення прогнозової виробничої потужності шахти:

$$\sum_{v_j=1}^{V_j} x_{v_j}^{прог} \cdot \xi_{v_j} - X_j^{ном} \geq 0 \Big|_{j=1, N_{III}}, \quad (11)$$

обмеження прогнозової виробничої потужності шахти її мінімальним та максимальним значенням, що визначаються вихідною множиною варіантів переобладнання:

$$\sum_{v_j=1}^{V_j} x_{v_j}^{прог} \cdot \xi_{v_j} - \bar{X}_j^{мін} \geq 0 \Big|_{j=1, N_{III}}, \quad (12)$$

$$\sum_{v_j=1}^{V_j} x_{v_j}^{прог} \cdot \xi_{v_j} - \bar{X}_j^{макс} \leq 0 \Big|_{j=1, N_{III}}, \quad (13)$$

конкурентоздатності вугільної промисловості на світовому ринку вугілля, що виражається меншою загальною вартістю вугілля власного видобутку відносно вартості імпортованого вугілля відповідних марок та показників якості:

$$\Delta_K^{max} = \sum_{j=1}^{N_{III}} \left((1 + R_j^{прог}) \cdot S_j^{* прог, мін} - \bar{C}_{p,j} \right) \times \sum_{v_j=1}^{V_j} x_{v_j}^{прог} \cdot \xi_{v_j} \leq 0, \quad (14)$$

обмеженого обсягу капіталовкладень у переобладнання шахти j :

$$\sum_{v_j=1}^{V_j} K_{v_j}^T \cdot \xi_{v_j} \leq K_j^T, \quad (15)$$

обмеженого обсягу капіталовкладень у переобладнання всіх шахт галузі:

$$\sum_{j=1}^{N_{III}} \sum_{v_j=1}^{V_j} K_{v_j}^T \cdot \xi_{v_j} \leq K_{\Sigma}^T. \quad (16)$$

У моделі (10)–(16): $x_{v_j}^{прог}$ – прогнозна виробнича потужність лави при здійсненні реконструкції або технічного переоснащення за варіантом v_j , т/рік; ξ_{v_j} – бінарні змінні використання варіанта v_j технологічного переобладнання шахти j ; $X_j^{ном}$ – поточна виробнича потужність шахти j , т/рік; $\bar{X}_j^{мін}$, $\bar{X}_j^{макс}$ – мінімальна та максимальна виробничі потужності шахти j після переобладнання в множині допустимих варіантів переоснащення, т/рік; N_{III} – число шахт розглядуваної групи; Δ_K^{max} – максимально досяжна в допустимій множині варіантів переобладнання конкурентна різниця вартостей вугілля власного видобутку та імпортованого зі співставними споживчими характеристиками, грн; $R_j^{прог}$ – прогнозна рентабельність шахти j ; $S_j^{* прог, мін}$ – прогнозна собівартість вугільної продукції шахти j , грн/т; $\bar{C}_{p,j}$ – прогнозне значення ціни на імпортоване зі світового ринку вугілля, вид та споживчі характеристики якого є співставними із відповідними показниками вугілля, що видобувається шахтою j , грн/т; $K_{v_j}^T$ – обсяг інвестицій у варіанті v_j реконструкції або технічного переоснащення шахти j за період інвестування T , грн; K_j^T – граничний обсяг інвестицій у реконструкцію або технічне переоснащення шахти j , за період T , грн; K_{Σ}^T – загальний обсяг інвестицій в реконструкцію або технічне переоснащення за період інвестування T , грн; V_j – число варіантів реконструкції (технічного переоснащення) шахти j .

За результатами розрахунків визначено ефективні технології та оптимальну комплектацію очисних комплексів для переоснащення державних шахт за умови проведення їх модернізації. Порівняння результатів впровадження прогресивних технологій видобутку вугілля на державних шахтах представлено в табл. 2.

У результаті впровадження прогресивних технологій видобутку вугілля на державних шахтах України можливе закриття 8 нерентабельних шахт, при цьому обсяг видобутку зросте утричі, до 18,8 млн т. Замість 89 лав знадобиться 47 лав, оснащених технікою нового технічного рівня (НТР). Зольність видобутого вугілля зменшиться на 6%. Розрахункова собівартість 1 т готової вугільної продукції зменшиться в 2,2 рази. На модернізацію державного шахтного фонду до 2025 р. необхідно залучити близько 5 млрд грн інвестиційних коштів, з яких 3,1 млрд грн на придбання видобувного обладнання.

Таблиця 2. Результати впровадження прогресивних технологій видобутку вугілля на державних шахтах

Показник	До модернізації (2017 р.)	Після модернізації (2025 р.)
Кількість шахт, од.	33	25
Кількість лав (у т.ч НТР), од.	89 (39)	47 (47)
Обсяг видобутку, тис. т	6447	18810
Середня зольність видобутого вугілля, %	37	31
Середня розрахункова собівартість 1 т готової вугільної продукції, грн/т	5547	2519

Враховуючи потенціал видобутку вугілля державними шахтами розроблено прогноз розвитку вугільної галузі на контрольованій українською владою території на період до 2040 р. (табл. 3).

Для будівництва нових шахт необхідно 100–110 млрд грн. Для відродження буровугільної промисловості необхідно 3 роки і залучення до 5 млрд грн.

Наведена модель і відповідний програмний комплекс є унікальними в Україні і постійно використовуються при виконанні завдань вищих органів державної влади. Зокрема, одним із останніх таких завдань було розроблення аналітичної доповіді «Оцінка та прогнози стосовно реформування вітчизняної вугільної галузі» на запит Комітету з питань енергетики та житлово-комунальних послуг Верховної Ради України від 19.02.2020 р. за № 04-17/24-113 (Макаров В.М., Перов М.О.).

Розвиток методології Top-Down та Bottom-Up з використанням функцій ризику стосовно систем із багатозначністю рішень

Взаємопроникнення технологій Top-Down та Bottom-Up – стратегій (TD – BU) обробки інформації, що використовуються, зокрема, у численних та різноманітних задачах управління та організації, дає можливість дослідникам використовувати сильні сторони обох підходів.

Більшість запропонованих методів синтезу Top-Down і Bottom-Up як цілісної методології є комбінацією аналізу складових частин аналізованих ієрархічних систем з ітераційними процедурами і характеризуються значними трудовитратами і проблемами збіжності, що виникають при цьому. Незважаючи на зазначені складнощі, дослідники постійно звертаються до використання методології TD – BU для аналізу, оптимізації чи синтезу систем та структур ієрархічної природи, що вказує на високу актуальність удосконалення цієї методології.

Однак існує широкий клас важливих систем і об'єктів, до яких, згідно з їхньою природою, повинна була б бути застосована методологія TD-BU, але це неможливо було здійснити з використанням існуючих моделей TD-BU. До цього класу задач, у першу чергу, відносяться одночасне прогнозування обсягів виробництва як на рівні країни, так і на рівнях галузей усіх видів енергоресурсів, іншої продукції та послуг, попит на них в усіх секторах економіки, у соціальній сфері та в країні в цілому і багато інших. Для таких систем та об'єктів ключовою проблемою є розбіжність (невідповідність) показників для верхнього та їх суми для нижнього ієрархічних рівнів. Тобто, вихідною інформацією є вектор прогнозних функцій f , сформований на заданому інтервалі часу з використанням відомих методів прогнозування

Таблиця 3. Розподіл прогнозних обсягів видобутку до 2040 р. між підприємствами вугільної галузі, тис. т

Підприємства	2020 (факт)	2025	2030	2035	2040
Контрольовані українською владою території, у т.ч.:	28820	47055	54635	61200	59700
Державні шахти	6003	18810	21745	23550	23550
Приватні шахти	22817	25965	24435	19600	18100
Буровугільний комплекс	–	1425	1900	2280	2280
Шахти-новобудови	–	855	6555	15770	15770

$$f = [f_1, f_2, f_i, f_n]', \quad (17)$$

де f_1 – прогноз Т-рівня, f_i ; $i = \overline{2, n}$ – прогнози рівня Down, причому

$$f_1 - \sum_{i=2}^n f_i = r \neq 0. \quad (18)$$

Необхідно знайти рішення

$$x = [x_a, x_2, x_i, x_n]', \quad (19)$$

де

$$x_a = f_1, x_i = f_i, i = \overline{2, n} \quad (20)$$

та

$$x_a - \sum_{i=2}^n x_i = 0. \quad (21)$$

Оскільки система (19)–(21) є перевизначеною, рішення було сформовано з використанням функції ризику, утвореної по методу найменших квадратів. Доведено, що рішення (19) може бути визначене з нульовим ризиком, якщо використати наступний алгоритм (комплексний метод).

1. Вихідна система (19)–(21) розмірністю n агрегується у систему розмірністю $m = 2$.

2. Показник верхнього рівня x_a при цьому визначається як

$$x_a = f_1 - r/2. \quad (22)$$

3. Проводиться дезагрегування системи з розмірністю $m = 2$ у вихідну систему з розмірністю

n . При цьому виконуються такі операції. Визначаються секторальні коригуючі коефіцієнти

$$\mu_i = f_i / f_s, f_s = \sum_{i=2}^n f_i, i = \overline{2, n}. \quad (23)$$

4. Розраховуються величини секторальних корекцій

$$p_i = \mu_i r / 2, i = \overline{2, n}. \quad (24)$$

5. Визначаються секторальні рішення

$$\bar{x}_i = f_i + p_i, i = \overline{2, n}. \quad (25)$$

У табл. 4 наведено послідовність і результати застосування комплексного методу стосовно корекції реального прогнозу споживання електричної енергії в Україні на віддалену перспективу.

Вихідною інформацією для корекції прогнозу споживання електроенергії в Україні на рівні 2040 р. були реальні дані, наведені у колонці «До застосування TD–BU». Ці дані були отримані шляхом використання прогнозних макропоказників (електроємність та обсяги виробництва валового внутрішнього продукту, TOP-рівень) і визначенням попиту на електроенергію в секторах економіки на основі прогнозної електроємності секторального виробництва та прогнозів його обсягів. Зазначені показники визначались з використанням методів виявлення залежностей. Сума показників секторально-

Таблиця 4. Прогноз споживання електроенергії в Україні у 2040 р. (МВт·год) комплексним методом

№	Сектор	Показник	До застосування TD–BU	Коефіцієнт корекції	Корекція	Після застосування TD–BU
1	2		3	4	5	6
	Україна, TOP		225288	–1	–19930,5	205357,5
	Україна, DOWN		185427	1	19930,5	205357,2
1	Сільське господарство і ін.		4851	0,02616	521,4	5372,4
2	Добувна промисловість		11772	0,06349	1265,4	13037,4
3	Переробна промисловість		28207	0,15212	3031,8	31238,8
4	Виробництво та розподілення електроенергії, газу, тепла, води і ін.		45515	0,24546	4892,1	50407,1
5	Інша промисловість		17577	0,09479	1889,2	19466,2
6	Транспорт		11881	0,06407	1276,9	13157,9
7	Інші сектори		31577	0,17029	3394	34971
8	Населення		34047	0,18361	3659,4	37706,4

го попиту на електроенергію (DOWN-рівень) є меншою за показник TOP-рівня на величину $r = 39861$ МВт·год, що становить біля 18% від значення TOP-рівня, і тому весь вектор попиту цієї колонки потребує корекції.

Корекція проводилась згідно комплексного методу (22)–(25). У колонці 6, рядок «Україна, TOP» наведений показник $x_a = 205357,5$, а в рядку «Україна, DOWN» – показник 205357,2, що є сумою показників секторів 1–8. Тобто, вимога (21) задовольняється у шести десятинних знаках. У поєднанні із тим, що усі ці показники мають нульовий ризик, цей факт забезпечує достатню надійність результатів.

Дані дослідження були проведені в процесі виконання спільних робіт Комітету із системного аналізу при Президії НАН України та Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (ПІАСА) за програмою «Комплексне моделювання управління безпечним використанням продовольчих, водних і енергетичних ресурсів з метою сталого соціального, економічного і екологічного розвитку» (А. Загородній, В. Богданов, Ю. Єрмольєв, М. Кулик).

Нові точні монетарні цінові моделі у системі засобів міжгалузевого балансу (Input-Output)

Цінові моделі в теорії міжгалузевого балансу у математичному та прикладному вимірах є унікальним явищем у середовищі моделей системного аналізу. У математичному плані ці моделі є не-

довизначеними системами алгебраїчних рівнянь, розмірність яких є удвічі меншою за кількість невідомих. Досліднику в умовах поставленої задачі надається можливість (точніше, ставиться вимога) довизначити алгебраїчну систему, виходячи із її (задачі) конкретики. В іншому разі модель надає нескінченну кількість неправильних рішень.

Ще більш важливим є те, що цінові моделі, які давно і широко використовуються у складі засобів Input-Output, були введені у практику без строгого математичного обґрунтування. Тривалі, безуспішні спроби багатьох авторів побудувати математично обґрунтовані підстави адекватності існуючих цінових моделей привели до висновку, що вони (моделі) містять методичні похибки. Але, незважаючи на це, монетарні моделі рівноважних цін у поєднанні з моделями випуску Леонт'єва та Гоша отримали дуже широке і різноманітне застосування (особливо – в останній час).

Зазначені особливості засвідчують високу актуальність проблеми точності монетарних цінових моделей міжгалузевого балансу. Методологічною базою побудови монетарних моделей рівноважних цін є комплекс матриць X_{ij} , f , x , v , z , які зв'язані залежностями (26)–(29) (рис. 3).

де X_{ij} – матриця проміжного споживання у варіантній формі; f – вектор кінцевого споживання; x – вектор випуску; v – вектор доданої вартості; z – вектор витрат, зв'язані залежностями:

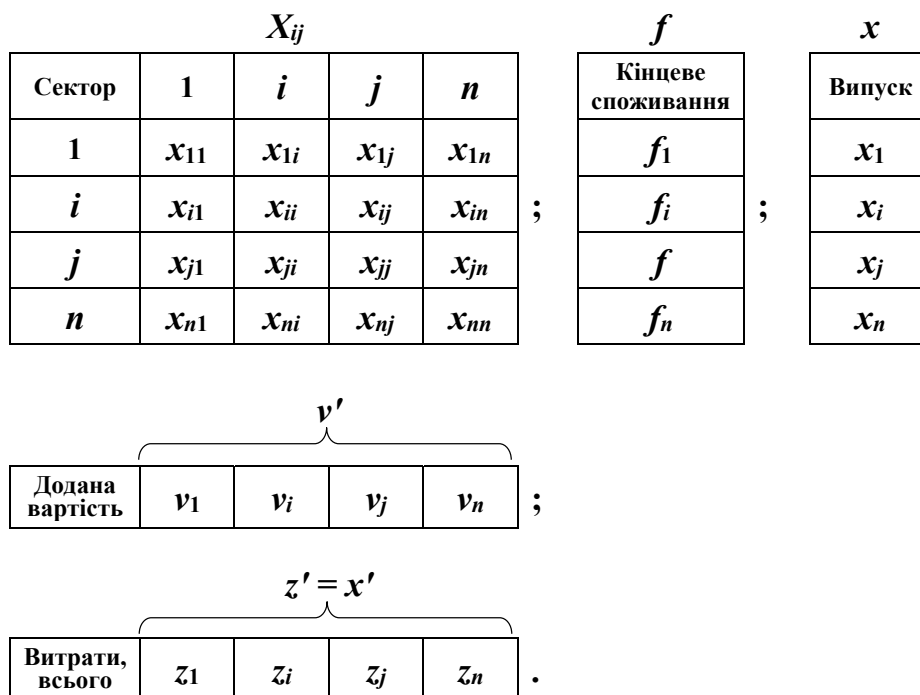


Рис. 3. Структура таблиць міжгалузевого балансу (Input-Output)

Баланс випуску

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} + f_i = x_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (26)$$

Баланс витрат

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} + v_j = z_j, \quad j = \overline{1, n}, \quad (27)$$

$$x_i = z_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (28)$$

$$\sum_{i=1}^n f_i = \sum_{j=1}^n v_j. \quad (29)$$

Теоретичними дослідженнями та цифровими експериментами доведено, що відомі насьогодні монетарні цінові моделі теорії міжгалузевого балансу не містять методичних похибок лише у деяких випадках, що є виродженими і не мають практичного значення.

При застосовуванні реалістичних даних норми похибок для відомих монетарних цінових моделей зростають катастрофічно: для цінової моделі Леонтьєва вона становила біля 83% та для моделі, сформованої на базі балансу витрат – майже 117%. За такими показниками похибок відповідні моделі необхідно класифікувати як неправильні.

Тому існуючі монетарні цінові моделі не є придатними для практичного використання за реалістичними даними.

Розроблені та всебічно досліджені в Інституті дві нові монетарні цінові моделі (цінова модель, побудована на базі балансів випуску, та відповідна їй модель індексів цін) позбавлені зазначених недоліків (табл. 5).

Математично і розрахунково доведено, що обидві нові монетарні цінові моделі задовольняють баланси випусків. Наслідком цього є те, що при їх застосуванні при цифровому моделюванні забезпечуються нульові небаланси випусків як при теоретичних, так і при реалістичних пакетах даних. На відміну від цінової моделі Леонтьєва розроблена узагальнена монетарна модель індексів цін дозволяє використовувати у ролі базового стану системи Input-Output довільний її стан, у якому забезпечені лише відповідні умови збалансованості, що значно розширює область її застосування.

Доцільно зазначити, що за всю історію розвитку монетарних моделей випуску і монетарних цінових моделей міжгалузевого балансу лише чотири із них позбавлені методичних похибок:

Таблиця 5. Центральні системи рівнянь теорії міжгалузевого балансу, що не мають методичних похибок

Задача	Модель	Авторство
Визначення випуску за даними кінцевого споживання	$(I - A)x = f,$ $a_{ij} = x_{ij} / x_j, \quad x_j - \text{випуск},$ $f - \text{кінцеве споживання}, \quad i, j = \overline{1, n}$	В. Леонтьєв
Визначення випуску за даними доданої вартості	$(I - Q)x = v,$ $q_{ij} = x_{ji} / x_j, \quad x_j - \text{випуск},$ $v - \text{додана вартість}, \quad i, j = \overline{1, n}$	А. Гош
Визначення рівноважних цін за випуском в одиницях випуску	$(I - S)p = \gamma, \quad \gamma_i = f_i / \bar{x}_i, \quad s_{ii} = \sum_{j=1}^n x_{ij} / x_i,$ $f_i - \text{кінцеве споживання},$ $\bar{x}_i - \text{випуск в одиницях випуску}, \quad i = \overline{1, n}$	Інститут загальної енергетики НАН України (М. Кулик)
Визначення індексів рівноважних цін за випуском в одиницях випуску	$\mu_i = (1 + \Delta x_i / x_i^0) / (1 + \Delta \bar{x}_i / \bar{x}_i^0),$ $x_i^0, x_i = x_i^0 + \Delta x_i - \text{монетарні випуски } i\text{-го сектору в базовому та поточному станах відповідно}$ $\bar{x}_i^0, \bar{x}_i = \bar{x}_i^0 + \Delta \bar{x}_i - \text{випуски в одиницях випуску } i\text{-го сектору в базовому та поточному станах відповідно}, \quad i = \overline{1, n}$	Інститут загальної енергетики НАН України (М. Кулик)

моделі випуску В. Леонтєва і А. Гоша, розроблені у 1953 і 1958 рр. відповідно, монетарна цінова модель за випуском в одиницях випуску та монетарна модель індексів цін за випуском в одиницях випуску, розроблені в Інституті у останні п'ять років (табл. 5) (М. Кулик).

Математична модель і проблемно-орієнтований програмно-інформаційний комплекс (ПІК) з автоматичного регулювання частоти і потужності в енергосистемах. В об'єднаних енергосистемах (ОЕС) постійно відбуваються швидкодіючі перехідні процеси, зумовлені штатними операціями (введення/виведення технологічного устаткування споживачів), аварійним вимкненням генераторів/ліній електропередавання, наявністю в ОЕС потужних вітрових (ВЕС) і сонячних (СЕС) електростанцій. Кожний із зазначених факторів у змозі змінити частоту ОЕС настільки, що вона вийде із допустимої зони. Перехідні процеси в ОЕС настільки швидкі, що людина (диспетчер) не може встигнути на них відреагувати. Тому історично одночасно з утворенням ОЕС у їх складі забезпечували роботу підсистем автоматичного регулювання частоти і потужності (АРЧП). За століття існування ОЕС структури АРЧП для нейтралізації перших двох факторів були доведені до досконалості. Однак математична модель і відповідний ПІК для дослідження процесів автоматичного регулювання частоти в ОЕС з потужними ВЕС і СЕС у поточному часі розроблені і постійно використовуються лише в Інституті загальної енергетики НАН України. Зазначена математична модель має вигляд:

$$\frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{\sum_{i=1}^I P_{zi}(t) + P_{AB}(t) - P_n(t) - P_m(t) + P_{BEC}(t) + P_{CEC}(t)}{T_c P_{\Sigma z0} \omega(t)} \omega_0^2, \quad (30)$$

$$\frac{dP_{zi}(t)}{dt} = \frac{P_{z0i} - P_{zi}(t) + B_{zi}(\omega(t) - \omega_0)}{\tau_{zi}}, \quad i = \overline{1, I}, \quad (31)$$

$$\frac{dP_n(t)}{dt} = \frac{P_{n0} - P_n(t) + C_n(\omega(t) - \omega_0)}{\tau_n}, \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_{BEC}(t)}{dt} &= \\ &= \frac{B_{BEC}(\omega(t) - \omega_0) + P_{BEC6}(v_e(t)) - P_{BEC}(t)}{T_{BEC}}, \quad (33) \end{aligned}$$

$$P_{BEC6}(v_e) = c_0 + c_1 v_e + c_2 v_e^2 + \dots + c_n v_e^n, \quad (34)$$

$$P_{CEC}(t) = \frac{1}{2} A_0 + \sum_{k=1}^M (A_k \cos k\omega_0 t + B_k \sin k\omega_0 t), \quad (35)$$

$$v_e(t) = \frac{1}{2} A_{v0} + \sum_{k=1}^N (A_{vk} \cos k\omega_0 t + B_{vk} \sin k\omega_0 t), \quad (36)$$

$$A_{vk} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{2N} \left(v_e(t_n) \cos \frac{2\pi k}{T} t_n \right), \quad k = 0, 1, \dots, N, \quad (37)$$

$$B_{vk} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{2N} \left(v_e(t_n) \sin \frac{2\pi k}{T} t_n \right), \quad k = 0, 1, \dots, N, \quad (38)$$

$$A_k = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{2M} \left(P_{CEC}(t_m) \cos \frac{2\pi k}{T} t_m \right), \quad k = 0, 1, \dots, M, \quad (39)$$

$$B_k = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^{2M} \left(P_{CEC}(t_m) \sin \frac{2\pi k}{T} t_m \right), \quad k = 0, 1, \dots, M. \quad (40)$$

Потужність регулятора системи (акумуляторна батарея $P_{AB(t)}$) формується по закону

$$\begin{aligned} P_{AB}(t) &= D_a(t) + A_{AB}(\omega_0 - \omega(t)) - \\ &- Q_{AB} \frac{d\omega(t)}{dt} + S_{AB} \int_{t_0}^{t_1} (\omega_0 - \omega(\tau)) d\tau. \quad (41) \end{aligned}$$

Система рівнянь (30)–(41) доповнюється наступними обмеженнями.

Обмеження на швидкість зміни потужності регулятора:

$$L_{ABsh} \leq \left| \frac{dP_{AB}(t)}{dt} \right| \leq L_{ABsh}, \quad t \in [t_0, t_1], \quad P_{AB} \in [P_{ABh1}, P_{ABh2}]. \quad (42)$$

Обмеження на рівень потужності АБ:

$$P_{AB \min} \leq P_{AB}(t) \leq P_{AB \max}. \quad (43)$$

Зона нечутливості:

$$\frac{dP_{AB}(t)}{dt} = const, \quad \omega(t) - \omega_0 \in [\omega_{s1}, \omega_{s2}]. \quad (44)$$

Початкові умови:

$$\begin{aligned} \{\omega(t_0) = \omega_0, P_{zi}(t_0) = P_{zi0}, P_n(t_0) = \\ = P_{n0}, P_{BEC}(t_0) = P_{BEC0}\}. \quad (45) \end{aligned}$$

Позначення: T_c – постійна часу енергосистеми, $P_{\Sigma z0}$ – сумарна номінальна потужність генераторів; $P_{zi}(t)$, $P_n(t)$, $P_{AB}(t)$, $P_{BEC}(t)$, $P_{CEC}(t)$, $P_m(t)$ – шукані змінні-функції потужностей, що відповідають генераторам, навантаженню, АБ, ВЕС, СЕС та втратам мережі відповідно; τ_{zi} , τ_n , T_{BEC} – постійні часу генераторів, навантаження та ВЕС відповідно; B_{zi} , C_n , B_{BEC} – крутизни частотних характеристик генераторів, навантаження та ВЕС відповідно; A_{AB} , Q_{AB} , S_{AB} – коефіцієнти підсилення пропорційної, диференціальної та інтегральної складових ПІД-закону для АБ; $t = [t_0, t_1]$ – інтервал часу від початку процесу до поточної точки $t = t_1$, на якому досліджуються процеси в енергосистемі; T – інтервал часу, на якому досліджуються процеси регулювання в енергосистемі; N – кількість натуральних замірів швидкості вітру v_e на всьому інтервалі часу; M – кількість

натуральних замірів сонячної електростанції на всьому інтервалі часу; A_{vk}, B_{vk}, A_k, B_k – коефіцієнти дискретного перетворення Фур’є; h – індекс, що позначає інтервали потужності АБ, в яких діє обмеження швидкості; $P_{AB\min}, P_{AB\max}$ – обмеження мінімальної і максимальної потужності АБ; $[\omega_{s1} - \omega_{s2}]$ – зона нечутливості АБ.

У моделі (30)–(45) рівняння (30) відображає загальний баланс потужності в енергосистемі; рівняння (31) – процес зміни в часі потужностей усіх генераторів; рівняння (32) – те саме для навантаження. Рівняння (33) описує потужність $P_{BEC}(t)$ як функцію часу в залежності від статичної потужності $P_{BECv}(v_g(t))$, яка визначається поліноміальною залежністю (34) від швидкості вітру $v_g(t)$. Швидкість вітру $v_g(t)$ та уставка $U(t)$ є вихідними величинами, що зумовлюють характер рішення задачі. Швидкість вітру представлена дискретним перетворенням Фур’є (ДПФ) (36)–(38). За допомогою ДПФ формується також потужність $P_{SEC}(t)$ рівняння (35), (39), (40).

Наведені математична модель та відповідний ПК «Частота-М» є унікальним явищем не тільки у вітчизняній, але й у зарубіжній науково-енергетичній сфері. Зазначені засоби практично на постійній основі використовуються для проведення наукових досліджень за

основними напрямками діяльності Інституту та при виконанні доручень і завдань від вищих органів державної влади. На рис. 4 наведено один із прикладів використання ВЕС і СЕС у складі ОЕС для вирішення практично важливої задачі покриття графіка електричних навантажень (ГЕН).

Згідно ГЕН (чорна лінія) диспетчерська служба повинна у моменти $t = 100$ °С та $t = 300$ °С збільшити потужність комплексу ВЕС + СЕС + АБ на 300 та 390 МВт відповідно, а в момент $t = 500$ °С зменшити його потужність на 500 МВт. Сумарна потужність ВЕС + СЕС (синя лінія) системою АРЧП складається із потужністю АБ (червона лінія), і їх загальна потужність строго співпадає із необхідним ГЕН. Крутизна фронтів отриманої загальної потужності із запасом забезпечує покриття реальних ГЕН (М. Кулик, І. Дрьомін, О. Згуровець).

Прикладні дослідження і розробки Інституту загальнодержавного значення

Інститут має значні здобутки у галузі прикладних розробок, що виконувались згідно розпоряджень і в інтересах вищих органів державного керівництва. Однією з найбільш важливих і масштабних таких розробок є створення **Енергетичної стратегії України на період до 2030 р.**

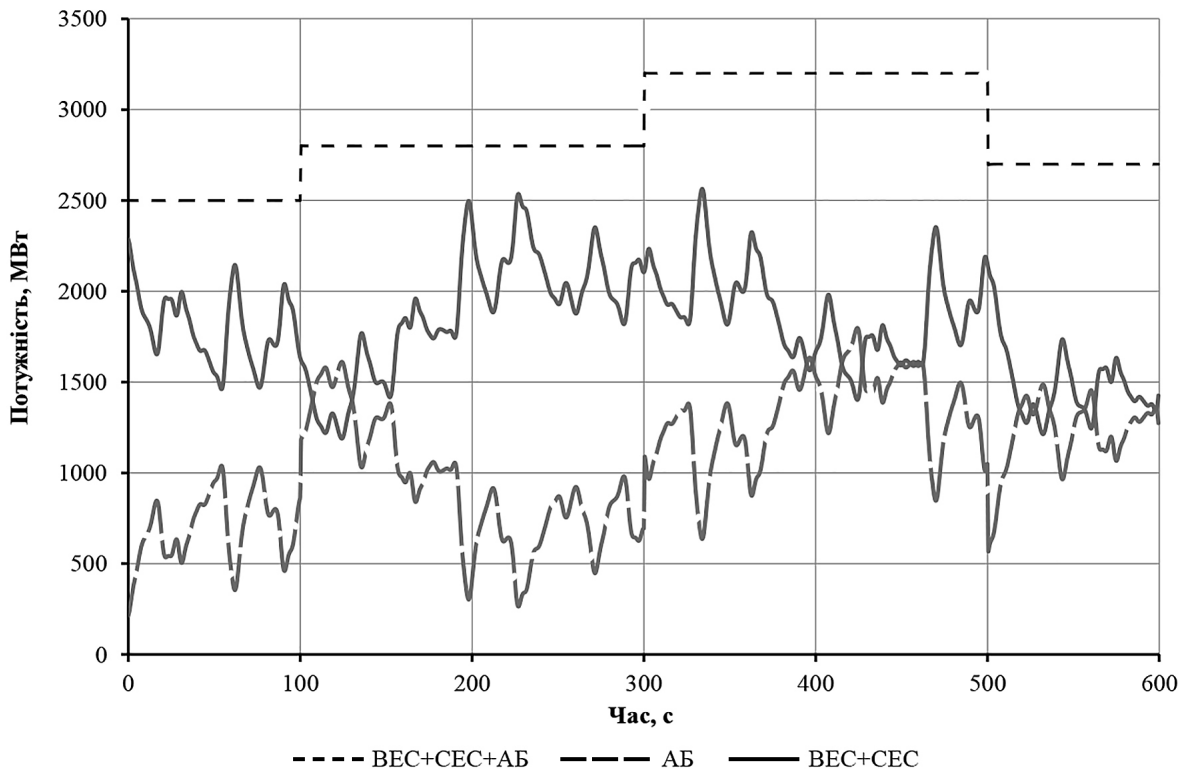


Рис. 4. Формування потужності комплексу ВЕС + СЕС + АБ для покриття добового графіка навантажень

(Енергетична стратегія). Розпорядженням Президента України (2001 р.) Інститут було визначено її головним розробником. Забезпечуючи координацію досліджень численних академічних та галузевих науково-дослідних організацій, які були залучені до виконання цього проекту, Інститут одночасно самостійно або переважно самостійно виконав розробки ключових розділів цього складного та важливого проекту (рис. 5). Енергетична стратегія була схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України (2006 р.).

Відповідно до розпорядження Президента України (1996 р.), Інститут був визначений головною організацією з розроблення **Комплексної державної програми енергозбереження України (КДПЕУ)** (рис. 6), а **М.М. Кулик** – науковим керівником цього проекту. Україна першою серед країн СНД розробила державну програму енергозбереження, терміном її дії було визначено 1996–2010 рр.

У КДПЕУ визначено загальний існуючий та перспективні потенціали енергозбережен-

ня, розроблено стратегію та пріоритети його реалізації в матеріальному виробництві та сфері послуг, створено програму першочергових та перспективних заходів і завдань з підвищення енергоефективності та освоєння практичного потенціалу енергозбереження, розроблено основні напрями реалізації державної політики енергозбереження. КДПЕУ було схвалено постановою Кабінету Міністрів України (1997 р.).

Україна як підписант Рамкової конвенції ООН про зміну клімату та Кіотського протоколу до неї повинна надавати до її Секретаріату національні повідомлення з питань зміни клімату. **Перше національне повідомлення України** щодо питань зміни клімату було розроблене у 1998 р. за участю, переважно, фахівців Інституту загальної енергетики НАН України під науковим керівництвом його директора **М. Кулика**.

У документі розроблено кадастр існуючих та майбутніх викидів та поглинання парникових газів в Україні. Установлено показники ви-



Рис. 5. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. (перша редакція, 2006 р.)

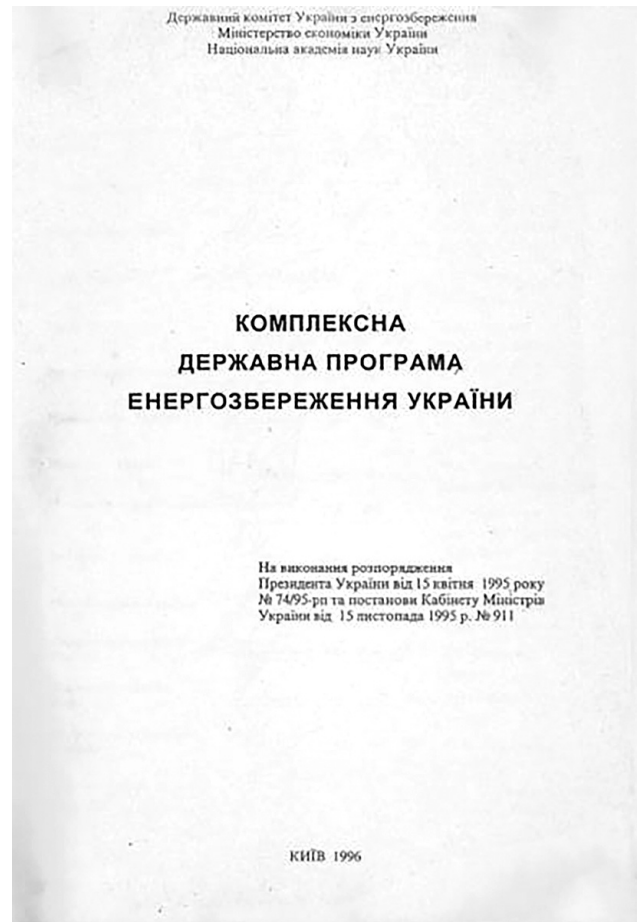


Рис. 6. Комплексна державна програма енергозбереження України (на період до 2010 р.)

кідів парникових газів об'єктами енергетики та транспорту, від промислових процесів, сільського господарства, лісового господарства та землекористування, а також викиди сміттєзвалищами та іншими відходами. Установлено сумарні по країні обсяги викидів та поглинання парникових газів. Перше національне повідомлення України щодо питань зміни клімату було прийняте Секретаріатом Рамкової конвенції ООН про зміну клімату у 1998 р.

За дорученням Державного комітету України з енергоефективності та енергозбереження Інститутом розроблено **Концепцію Державної програми підвищення енергетичної ефективності економіки та енергозбереження України (2007 р.)**, що спрямована на вирішення проблем енергетичної ефективності економіки України та посилення уваги до вирішення проблем високої енергоемності економіки країни. Розроблення такої програми було актуальним, оскільки діюча на час розроблення Концепції КДПЕУ завершувалась у 2010 р.

Починаючи з 2000 р., до складу щорічних послань Президента України до Верховної Ради України стали включати тематичні доповіді. Зміст таких доповідей та склад робочих груп з їх розроблення визначались відповідними розпорядженнями Адміністрації Президента. Згідно з такими розпорядженнями, **Інститут загальної енергетики НАН України взяв участь у розробленні тематичних доповідей з питань енергетики у складі Послань Президента України до Верховної Ради України за 2000, 2003 та 2005 рр.**

Фахівці Інституту взяли участь у підготовці тематичної доповіді «**Енергозабезпечення економіки України та енергозбереження**», яка увійшла до складу **Послання Президента України до Верховної Ради України «Про внутрішнє і зовнішнє становище України у 2000 році»** (рис. 7). У доповіді розглянуто найгостріші питання енергетичної галузі, сформульовано невідкладні завдання щодо забезпечення стабільного функціонування паливно-енергетичного комплексу країни, проаналізовано нагальні питання енергозбереження, підвищення енергетичної ефективності, досліджено головні напрями переходу галузей енергетики в стадію сталого розвитку, що в сукупності стало основою для формування основних засад Енергетичної стратегії країни.

Фахівцями Інституту була підготовлена **тематична доповідь «Енергетичні ринки України: напрями розвитку і вдосконалення»**, яка увійшла до складу **Послання Президента України до Верховної Ради України «Про**

внутрішнє і зовнішнє становище України у 2003 році». У доповіді визначено напрями вирішення проблем поглиблення конкурентних засад енергетичних ринків, у тому числі подальшу демонополізацію функціонуючих у їхній структурі суб'єктів господарської діяльності; формування ефективної інфраструктури енергетичних ринків; запровадження ринкових правил діяльності, які запобігатимуть адміністративному втручанням, у тому числі підвищення рівня саморегулювання, посилення фінансової дисципліни для забезпечення проведення своєчасних розрахунків за поставлену продукцію, недопущення бартеризації, а також впровадження механізмів страхування ризиків неплатежів; удосконалення системи державного регулювання діяльності суб'єктів енергетичних ринків, у тому числі механізмів ціноутворення, контролю за діяльністю природних монополій.

Фахівці Інституту взяли участь у підготовці розділу **тематичної доповіді «Забезпечення енергетичної безпеки України»**,

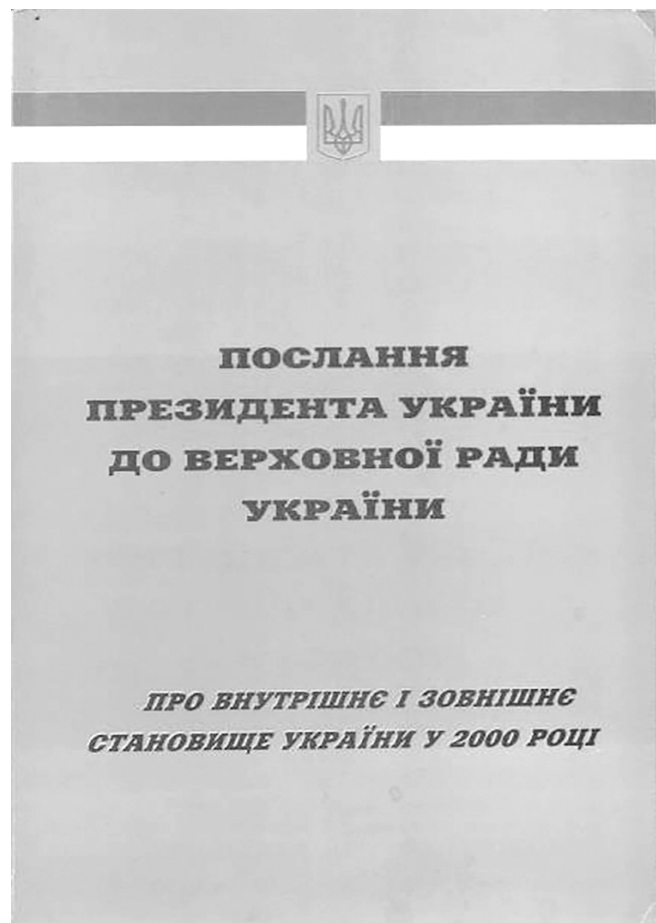


Рис. 7. Послання Президента України до Верховної Ради України за 2000 р.

який увійшов до складу **Послання Президента України до Верховної Ради України «Про внутрішнє та зовнішнє становище України у 2005 році»**. У розділі визначено головні напрями забезпечення енергетичної безпеки країни: надійне забезпечення енергетичними ресурсами потреб національного господарства й населення в об'єктивно необхідних обсягах; зниження рівня енергетичної залежності держави; надійне та ефективне функціонування й розвиток галузей і підприємств паливно-енергетичного комплексу; забезпечення на державному рівні соціального захисту робітників ПЕК та соціальної спрямованості енергетичної політики щодо енергозабезпечення населення; зменшення шкідливого впливу від діяльності об'єктів ПЕК на навколишнє середовище й населення згідно з внутрішніми та міжнародними вимогами.

Інститут працює у стані постійної співпраці з фахівцями зазначених і низки інших вищих керівних органів держави, виконуючи за їх дорученнями різноманітні дослідження державної ваги у царині розвитку енергетики країни. У період із 2006 по 2022 рр. загальна їх кількість перевищила 140 доручень. Характерні їх приклади надані у табл. 6.

Міжнародна наукова діяльність. Ця діяльність Інституту є багатогранною і досить інтенсивною. Починаючи з 2000 р. і до сьогодні

Інститут на постійній основі працює за програмами Комітету із системного аналізу при Президії НАН України. За цей більш, ніж 20-тирічний період Інститут виконав низку наукових досліджень з **Міжнародним інститутом прикладного системного аналізу (IIASA, Австрія)**.

За проектом «Environmental Comptable Systems» виконано роботи з підготовки ретроспективних та узгодження прогнозних даних по Україні для моделі прогнозування розвитку енергетичних ринків Європи, яка розроблена центром Frisch Center (Норвегія). Модель описує функціонування енергетичного ринку Західної Європи з урахуванням імпорту енергоносіїв і дає можливість обчислювати рівноважні ціни та відповідні їм обсяги виробництва й транспортування енергоресурсів.

За проектом «Transition to the New Technologies» виконано роботи з прогнозування обсягів потреби в енергетичному обладнанні з урахуванням перспективної потреби України в енергетичних ресурсах та екологічних обмежень.

У рамках спільного з IIASA проекту «Забруднення атмосферного повітря та економічний розвиток» за темою Комітету з системного аналізу при Президії НАН України «Еволюція високих технологій, моделювання та оцінка впливу технологічних змін на економічний розвиток» фахівцями Інституту виконано наукову роботу «Дослідження напрямів

Таблиця 6. Приклади доручень ІЗЕ НАН України від центральних органів державної влади

Центральний орган державної влади	Підстава для виконання доручення	Підготовлений матеріал	Кількість стор.
Головний підрозділ детективів Національного антикорупційного бюро України	Лист від 19.09.2017 № 0432-214/33277	Доповідна записка «Розрахунки прогнозованої оптової ринкової ціни електричної енергії»	20
Рада національної безпеки і оборони України	Лист від 12.07.2021 № 538/14-05/2-21	Матеріали для розгляду питання «Про заходи з нейтралізації загроз в енергетичній сфері»	8
Комітет з питань енергетики та житлово-комунальних послуг Верховної Ради України	Лист від 19.02.2020 № 04-17/24-113	Аналітична записка «Оцінка та прогнози стосовно реформування вітчизняної вугільної галузі»	52
Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг	Запит від 23.03.2020 № 3216/17.4/7-20	Аналітична записка «Інформація щодо поточного стану та прогнозованих напрямів розвитку вугільної промисловості»	71

та показників розвитку енергетики України в контексті скорочення викидів парникових газів у перспективі за 2012 р. (пост-Київський період)». У роботі удосконалено методи та засоби прогнозування розвитку енергетики для забезпечення врахування обмежень на викиди парникових газів у перспективі та оцінки їх впливу на напрямки розвитку ПЕК країни. Розроблено та досліджено альтернативні сценарії розвитку галузей економіки та ПЕК України в контексті забезпечення виконання потенційних зобов'язань країни стосовно викидів ПГ у період до 2030 р. з урахуванням вірогідності суттєвого зростання жорсткості означених зобов'язань у перспективі.

За спільним проектом НАН України та ПАСА «Комплексне моделювання управління безпечним використанням продовольчих, водних і енергетичних ресурсів з метою сталого соціального, економічного і екологічного розвитку» фахівцями Інституту виконано роботу «Дослідження процесів розвитку енергетики в умовах невизначеності інформації та зростаючих екологічних вимог щодо викидів шкідливих речовин і парникових газів» для дослідження процесів розвитку енергетики в умовах невизначеності інформації та зростаючих екологічних вимог щодо викидів шкідливих речовин і парникових газів вперше розроблено систему оптимізаційних та імітаційних математичних моделей, застосування яких здійснюється узгоджено в межах окремо сформованого сценарію зміни зовнішніх умов функціонуван-

ня енергетики. Для отримання робастних рішень у моделях секторального рівня та рівня окремого енергетичного підприємства застосовуються стохастичні змінні, які описують зміни зовнішніх умов. Запропонована система математичних моделей була успішно використана для формування стратегічних напрямів розвитку національної енергетики України на період до 2035 р.

Фахівці Інституту підготували прогнозні дані про Україну для використання їх як вихідних у модель RAINS, яка розроблена та впроваджується ПАСА в межах проекту Transboundary Air Pollutions.

Результати зазначених робіт були презентовані в ПАСА на систематичних робочих зустрічах фахівців ПАСА та НАН України, що задіяні в реалізації виконання зазначених проектів, протягом 2000–2017 рр.

Інститут підтримує постійні творчі зв'язки з Польською академією наук, енергетичними інститутами Вірменії, Литви, Молдови, Секретаріатом Рамкової конвенції ООН «Про зміну клімату».

Співробітники Інституту беруть участь у міжнародному науково-технічному співробітництві, у тому числі, в роботі міжнародних конференцій, з'їздів та семінарів, присвячених широкому колу проблем загальної енергетики, що проходили як в Україні, так і за її межами, а також безпосередню участь у складі робочих груп з виконання спільних досліджень за міжнародними проектами.