

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рекомендації по веденню сільськогосподарського виробництва в умовах радіоактивного забруднення північних районів Житомирщини, постраждалих у результаті аварії на Чорнобильській АЕС, на період 2011–2016 рр. / М.М. Дейсан, М.П. Дідківський, Ю.І. Савченко та ін. — Коростень: Друк, 2011. — С. 4–5.
2. Гудков І.М. Протирадіаційний захист агроценозів як основний шлях забезпечення радіаційної безпеки населення на забруднених радіонуклідами територіях / І.М. Гудков // Наук. праці — Техногенна безпека: ЧДУ ім. Петра Могили. — Т. 116. — Вип. 103. — С. 18–22.
3. Рекомендації: Технологічний проект по організації сільськогосподарського виробництва на забруднених радіонуклідами територіях на прикладі ДГ «Грозинське» / В.П. Фещенко, М.Д. Кучма, В.В. Гуреля; за ред. В.П. Фещенка. — Коростень: Друк, 2010. — 60 с.
4. Рахметов Д.Б. Інтродукція кормових рослин на радіоактивно забруднених територіях / Д.Б. Рахметов, В.П. Фещенко, В.В. Гуреля // Агроекологічний журнал. — 2011. — Вересень: Спец. випуск. — С. 83–87.
5. Пристер Б.С. Проблемы прогнозирования поведения радионуклидов в системе почва — растение // В кн. «Адаптация агроэкоосферы к условиям техногенеза» / Под ред. чл.-кор. АН РТ Ильязова Р.Г. — Казань: АН РТ, 2006. — С. 78–125.

УДК 338.242.2

МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ВИБОРУ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ У СФЕРІ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОГО РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ

Н.В. Караєва

кандидат економічних наук, доцент

М.В. Березницька

здобувач

Національний технічний університет України «КПІ»

Проведено систематизацію різносторонніх методичних підходів і прийомів прийняття рішень за умов високого рівня невизначеності та конфлікту інтересів. На цій основі обґрунтовано методичні аспекти вибору стратегічних напрямів розвитку енергетики України, що мають на меті забезпечити низьковуглецевий розвиток.

Ключові слова: низьковуглецевий розвиток, енергетика, ринкова економіка, критерії прийняття рішення, конфлікт інтересів.

Тема конфлікту — не нова для соціально-економічних досліджень. Протягом тривалого часу її розглядали економісти й соціологи на макрорівні в основному в контексті поняття класової боротьби за місце в системі відносин суспільно-економічного виробництва [1]. Сучасний етап розвитку економіки будь-якої держави характеризується максимальною комерціалізацією суспільних відносин, сформованою під впливом ринкової економіки і жорсткої конкуренції, підсиленою періодичними кризовими явищами, що загострює напруження, в тому числі й еколого-економічного характеру та створює конфліктні ситуації. У ринковій економіці конфлікти спричинені розбіжністю інтересів суб'єктів господарської діяльності з метою оволодіння якомога більшою часткою ресурсів та доходів, що призводить до встановлення загальних правил гри в полі соці-

ально-економічного обміну, тобто йдеться про узгодження інтересів різних суспільних груп.

Що стосується предмету дослідження, викладеного в цій статті, то сказати, що низьковуглецевий розвиток (НР) економіки та енергетики є базовою складовою концепції «зеленої економіки» та сталого розвитку будь-якої держави в ХХІ ст. НР в умовах сьогодення набуває статусу стратегії, що узгоджує пріоритети в сфері зміни клімату з цілями суспільно-економічного розвитку. Для України проблема НР підприємств енергетичної галузі вкрай актуальна, враховуючи значний рівень екодеструктивного впливу енергетики на довкілля. При цьому важливу роль відіграє механізм інвестиційного забезпечення, оскільки власних коштів у держави недостатньо ні для фінансування поточних потреб підприємств, ні для їх НР. Крім того, ефективність рішень

НР енергетики повинні оцінюватися за багатьма, як правило, суперечливими критеріями, зокрема: надійність функціонування енергосистем — екологічні вимоги — економічна ефективність — соціальна стабільність. Суперечливість критеріїв визначається конфліктом інтересів суб'єктів енергетичного ринку (ЕР) — енергетичних компаній, споживачів, інвесторів, громадських організацій, державних і регіональних органів влади, що є джерелом екологічних і фінансово-економічних загроз та ризиків у сучасних умовах розвитку енергетики. У цих умовах практичні завдання багатокритеріального аналізу розглядаються на основі використання різних неформальних процедур з урахуванням групової експертної оцінки, у наслідок чого спочатку відбираються декілька найкращих варіантів, з яких потім здійснюється остаточний неформальний вибір. При використанні такого підходу природним є прагнення кожного з експертів врахувати інтерес того чи іншого «гравця» ЕР і, таким чином, спростити проблему вибору за рахунок апріорної мінімізації кількості критеріїв, що може призвести до формування й реалізації неефективного (неоптимального) механізму НР електроенергетики.

Вивченню теоретико-методичних аспектів багатокритеріального вибору рішень з розвитку енергетики, в тому числі електроенергетики, присвячено достатньо наукових праць зарубіжних та вітчизняних учених. Наприклад, Р.Л. Кини [2, 3] пропонує застосовувати функцію корисності з аналізом її додатків; Д.А. Арзамасцев [4] виступає за те, щоб засновувати вирішення багатокритеріальної проблеми на скаляризації векторного критерію. Ю.Б. Гук, П.П. Долгов, В.Р. Окорочков [5] додатково розглядають множини Парето. Н.И. Воропай, Є.Ю. Іванова, В.В. Труфанов [6, 7] показали можливість застосування теорії корисності для завдань розвитку електроенергетики. Кравченко В. [8] пропонує гібридний метод підтримки та прийняття рішень в управлінні економічними

об'єктами за умов невизначеності на підставі комбінування експертних методів і методів нечіткої логіки. Г.Ф. Ковальов, Є.В. Сеннова, М.Б. Чельцов [9, 10] розглядають проблему обґрунтування рішень як багатокритеріальну ігрову задачу з використанням вектора Шеплі. Багатоаспектність прийняття рішень НР електроенергетики потребує дослідження методології поєднання методів багатокритеріального аналізу.

Метою дослідження було обґрунтування методичних аспектів вибору рішень низьковуглецевого розвитку енергетики в умовах конфлікту інтересів суб'єктів відносин.

Упровадження рішень низьковуглецевого розвитку електроенергетики є регулюванням суперечностей суб'єктів енергетичного ринку, що потребує розроблення стратегії діяльності та прийняття рішень в умовах ризикованої ситуації. Для прийняття оптимальних рішень в умовах невизначеності використовують математичні моделі; для прикладу, розглянемо теорію ігор як один із засобів зазначеної формалізації [11].

Суть математичної теорії гри полягає у встановленні принципів поведінки з наступною перевіркою можливості існування ситуацій за цими принципами та розробленням методів знаходження таких ситуацій. Розв'язати гру означає знайти оптимальну стратегію для кожного з гравців (суб'єктів ЕР), тобто таку стратегію, яка за багаторазового повторення гри максимізує можливий середній виграш чи мінімізує програш. Для такої гри (парної гри з нульовою сумою) оптимальні стратегії знаходять за принципом мінімаксу, коли стратегія гравця в разі її повторення не впливає на виграш іншого учасника. Критеріями оптимальності є гарантований результат, критерій оптимізму/песимізму, мінімаксного ризику Севіджа, критерій узагальнюючого максимізму Гурвіца. Визначальним є комплексне використання критеріїв залежно від соціально-психологічних умов прийняття рішень суб'єктами ЕР (табл. 1).

Таблиця 1

Вибір критеріїв за соціально-психологічними умовами прийняття рішень

Схильність до ризику суб'єктів ЕР	Рівень відповідальності		
	Високий	Середній	Низький
Не схильний	Критерії: Вальда, Гермеєра, Севіджа, Гурвіца–Севіджа	Критерій Гурвіца	Критерії: крайньої обережності, Бернуллі–Лапласа, компромісу за Гурвіцем для виграшу
Схильний	Критерій ЕХТ	Критерії: Гурвіца, Байєса, Ходжеса–Лемана	Критерії: компромісу за Гурвіцем для ризику, крайнього оптимізму, добутку

Для аналізу економічних ситуацій, оцінювання ефективності прийняття рішень і вибору альтернатив, у яких ризик пов'язаний із сукупністю невизначених факторів середовища (природи), використовують клас ігор з природою. Ризик гри зумовлено випадковим станом середовища або вибором характеру дій протилежної сторони чи імовірнісним проявом функції корисності.

Під функцією корисності (F) розуміють деяку числову функцію i , визначену на безлічі можливих результатів (у нашому випадку — рішень), таку, що якщо результат (рішення) « a » не менш переважний, ніж результат (рішення) « b », то $F(a) > F(b)$. Побудувати єдину функцію переваги для всіх матриць (а отже, і для всіх критеріїв) одночасно неможливо, тому що елементи, які складають матриці, мають різні одиниці виміру і невідомі ціннісні співвідношення між критеріями. Процес знаходження багатокритеріальної функції корисності зводиться до знаходження складових її функцій корисності для кожного критерію виду $f_k(x_y^k), k = \overline{1, K}$ та оцінювання ваги $\lambda^k, k = \overline{1, K}$ для зіставлення відносної важливості критеріїв. Усі дослідження в цій праці пропонуються для адитивної функції корисності вигляду, формула 1:

$$F_{ij} = \sum_{k=1}^K \lambda^k f^k(x_y^k), \quad (1)$$

Якщо в основі вибору переваги використовується імовірнісна ідеологія, і, отже, оцінюються суб'єктивні ймовірності реалізації тих чи інших методів, тоді, згідно з положеннями теорії корисності [11, 12], вибір здійснюється на розрахунку очікуваної корисності кожного варіанта у вигляді:

$$E_i^p = \sum_{j=1}^J p_j F_{ij}, i = \overline{1, I}, \quad (2)$$

де індекс p відображає вірогідну ідеологію, закладену у відношення переваги.

Перевага за варіантом з вищою чисельною оцінкою очікуваної корисності.

За реальних умов будь-який єдиний метод не вирішує докорінно проблеми вибору, тому для суб'єктів ЕР бажано мати набір методів. Альтернативою є експертні методи, зокрема:

– DEMATEL (*Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory*) — розраховує непрямі зв'язки між змінними на основі оцінки прямих для структуризації складних проблем [13, 14] у спосіб зіставлення причинно-наслідкових зв'язків між парами елементів [15]. Змінна «причина» має значно більший вплив на інші змінні порівняно з впливом на неї саму [16];

– МІС-МАС (*Matrice d'Impacts Croisé-Multiplication Appliquée à un Classement*) фран-

цузьких вчених Дюперра і Годе (Duperrin und Godet) [17]. Метод використовується для ідентифікації незалежних і залежних змінних;

– аналіз ієрархій Томаса Сааті (АНР — *Analytic Hierarchy Process*) на «неструктурованому прийнятті рішень» (*Non-structured Decision Making*) [18, 19]. Метод дає змогу враховувати «людський фактор» при підготовці прийняття рішення, що є найбільш вживаним у практиці методів оброблення і формалізації експертних суджень і ґрунтується на врахуванні висновків експертів за фундаментальною шкалою «формалізованих» і «неформалізованих» критеріїв.

Вибір такого інструменту зумовлений тим, що ідея методу Сааті полягає в обов'язковій умові «фокусування» або «сходження» до чогось єдиного стосовно висновків експертів і дій численних суб'єктів складного процесу управління, що досліджується. Розв'язання проблеми є встановленням пріоритетів критеріїв відбору методів на основі узгодження цілей суб'єктів ЕР та розрахунком індексу узгодженості (I_y) і відношення узгодженості (B_y).

Загалом, у процесі прийняття рішення щодо вибору пріоритетних рішень з використанням АНР можна виділити етапи: 1) декомпозиція проблеми; 2) формалізація проблеми; 3) застосування до формалізованої задачі АНР; 4) вибір методів на основі визначення пріоритетів відповідних критеріїв.

Перший етап передбачає структурування проблеми у вигляді ієрархії або мережі. Кожен із критеріїв (I рівень ієрархії) може розподілятися на субкритерії (II рівень ієрархії), за якими слідує рівень альтернатив (III рівень ієрархії). Ієрархія вважається повною, якщо кожен елемент заданого рівня є критерієм елементів нижчого рівня. Тобто необхідно будувати ієрархію відповідно до мети управління, з розумінням критеріїв та варіантами вибору за інтересами суб'єктів ЕР.

Другий етап. Після ієрархічного або цільового відтворення проблеми (тобто реалізації першого етапу) виникає питання: як установити пріоритети критеріїв і оцінити кожну з альтернатив за критеріями, виявивши найважливішу з них? У АНР елементи задачі порівнюються попарно стосовно їхнього впливу («ваги», або «інтенсивності») на загальну для них характеристику. Зокрема, на основі фундаментальної шкали відносної важливості критеріїв будується позитивна матриця парних порівнянь (судження) і, якщо вона виявиться узгодженою (згідно з інтересами різних суб'єктів ЕР), то розраховується вектор пріоритетів.

Третій етап полягає у визначенні вектора пріоритетів, що передбачає обчислення безлічі власних векторів (w) для кожної ма-

триці та нормалізацію результатів, що визначає вектор пріоритетів. Одним із ефективних шляхів визначення власних векторів є геометричне середнє. Ця величина в якості загальної оцінки суджень дає найбільш правильний результат, коли задача полягає в знаходженні маргінальних відхилень величини власних векторів пріоритетів. Це дає змогу визначити величину вектора пріоритетів коли результати обчислення позитивної матриці судження свідчать про її неузгодженість. У загальному випадку будь-яка матриця не узгоджена з причини суб'єктивності експертів, а АНР дає можливість оцінити міру узгодженості інтересів суб'єктів ЕР. Разом з матрицею судження маємо міру оцінки ступеня відхилення від узгодженості. Узгодженість додатної оберненосиметричної матриці еквівалентна вимозі рівності її максимального власного значення та порядку даної матриці. Отриманий результат множиться на компоненту нормалізованого вектора пріоритетів. Сума цих чисел (λ_{\max})

відображає пропорційність переваг. Тобто, чим ближче ця величина до n (кількості об'єктів і видів дій у матриці порівнянь), тим більш узгоджені судження. Варто зауважити, що $\lambda_{\max} \geq n$. Відхилення від узгодження виражається I_y , де $I_y = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$. При цьому V_y визначає, наскільки точно I_y відображає узгодженість суджень. Для визначення V_y необхідно віднести I_y до випадкового індекса (V_I) узгодженості (тобто, $V_y = I_y/V_I$).

Четвертий етап АНР полягає в тому, що I_y , отриманого з матриці судження, множиться на пріоритет властивості, відносно якого велось порівняння і до цього числа додаються аналогічні результати для всієї ієрархії.

Розглянемо модельний приклад застосування вищезазначених методичних положень щодо використання АНР при виборі програм інвестування в модернізацію різних типів енерготехнологій (табл. 2).

Згідно з даними табл. 2, критеріями пріоритетів вибору є тип палива, розмір інвести-

Таблиця 2

Основні характеристики наявних та перспективних енерготехнологій [20]

Енерготехнології	Тип палива	Інвестиційні кошти, дол. США-кВт	Собівартість електроенергії, центів США-кВт-год	ККД-нетто, %
Паротурбінні ТЕС із хімічною абсорбцією вихідних газів	Вугілля	1850	6,79	31
Паротурбінні ТЕС із суперкритичними параметрами пари	Вугілля	1675	5,7	42
Паротурбінні ТЕС із внутрішньоцикловою газифікацією вугілля	Вугілля	2100	6,73	38
Гібридні парогазові ТЕС	Вугілля	2100	6	56
ТЕС із внутрішньоцикловою газифікацією на водовугільній суміші	Вугілля	1620	3,35	25
ПГУ з ЦКШ (КСД) із сіркоочисткою	Низько-сорт. вуг.	1400	5,26	39
ГТУ з хімічною абсорбцією	Газ	800	5,73	47
ГТУ з хімічною абсорбцією відхідних газів та спалюванні в кисні	Газ	1200	5,39	66
ТЕС на біомасі	Біомаса	226	7,6	33
Великі ГЕС	ВДЕ	2500	8	95
Малі ГЕС	ВДЕ	800	6	70
Геотермальні електростанції	ВДЕ	5084	30,8	70
СЕС (Фв)	ВДЕ	5400	50	36,9
ВЕС	ВДЕ	1370	3,6	40
АЕС (враховуючи зняття з експлуатації)	Ядерне пал.	2500	6	34
АЕС (подовження експлуатації)	Ядерне пал.	390	6	34

Вхідні параметри матриці судження по відношенню до критерію «Собівартість»

Критерій — «Собівартість»	ПГУ	Гібридна парогозова установка	ТЕС на біомасі	ВЕС
ПГУ	1	1/3	1/7	1/7
Гібридна парогоз. установка	3	1	1/5	1/5
ТЕС на біомасі	7	5	1	1
ВЕС	7	5	1	1

цій, собівартість електроенергії та коефіцієнт корисної дії (ККД).

Як приклад, розрахуємо I_y та B_y для матриці за критерієм «Собівартість», вхідні параметри якої представлено в табл. 3.

Визначимо суму кожного j -того стовпця матриці: $S_j = w_{1j} + w_{2j} + w_{3j} + \dots + w_{nj} = 1, 2, 3, \dots, n$. Отриманий результат помножимо на j -ту компоненту нормалізованого вектора пріоритетів: $P_j = S_j \cdot X_{2j}, j = 1, 2, 3, \dots, n$.

Сума чисел P_j відображає пропорціональність переваг. Чим ближче ця величина до n (числу об'єктів і видів дій в матриці порівнянь), тим більш узгоджені судження: $\lambda_{\max} = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n = 4,0479918$. При цьому відхилення від узгодження (тобто I_y) дорівнює: $I_y = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = 0,0159973$.

Відношення узгодженості (B_y) дорівнює: $B_y = I_y/B_I = 1,777473\%$ (значення $B_y < 1$ є найбільш прийнятним).

Результат розрахунку свідчить, що узгодженість матриці знаходиться в межах допустимих значень.

Аналогічно розраховуються матриці другого рівня ієрархії для критеріїв — «інвестиції», «тип палива» та «ККД».

Результати розрахунку величини вектора пріоритетів матриці судження другого рівня ієрархії наведено в табл. 4.

Для визначення пріоритетів (критеріїв відбору альтернативних енерготехнологій) необхідно локальні пріоритети (III рівень ієрархії) перемножити на пріоритет відповідного критерію на вищому рівні (тобто II рівня ієрархії) і знайти суми за кожним елементом згідно з критеріями, на які впливає цей елемент.

Позначимо через:

X_{3j} — пріоритет j -того елемента третього рівня;

X_{3ki} — i -тий елемент вектора пріоритетів k -тої матриці суджень, розташованої на третьому рівні;

X_{2k} — k -тий елемент вектору пріоритетів матриці суджень, розташованої на другому рівні.

Тоді пріоритет j -того елемента третього рівня визначається як:

$$\begin{aligned} X_1 &= X_{311} \cdot X_{21} + X_{321} \cdot X_{22} + X_{331} \cdot X_{23} + \dots + X_{3n1} \cdot X_{2n}; \\ X_2 &= X_{312} \cdot X_{21} + X_{322} \cdot X_{22} + X_{332} \cdot X_{23} + \dots + X_{3n2} \cdot X_{2n}; \\ X_3 &= X_{313} \cdot X_{21} + X_{323} \cdot X_{22} + X_{333} \cdot X_{23} + \dots + X_{3n3} \cdot X_{2n}; \end{aligned}$$

$$X_n = X_{31n} \cdot X_{21} + X_{32n} \cdot X_{22} + X_{33n} \cdot X_{23} + \dots + X_{3nn} \cdot X_{2n}.$$

Результати розрахунку величин пріоритетів («ваги») матриці судження третього рівня наведено в табл. 5.

Пріоритети альтернатив, значення яких наведено в табл. 5, розраховано так (для ПГУ — X_1): $X_1 = X_{311} \cdot X_{21} + X_{321} \cdot X_{22} + X_{331} \cdot X_{23} + \dots + X_{3n1} \cdot X_{2n}; = 0,06 \cdot 0,07 + 0,63 \cdot 0,06 + 0,15 \cdot 0,05 + 0,16 \cdot 0,42 = 0,12$.

Аналогічно було розраховано пріоритети для інших альтернатив.

З огляду на викладене, можна констатувати, що АНР є ефективним інструментом вирішення задач багатокритеріального аналізу при виборі найбільш оптимальних методів та інструментів НР електроенергетики.

Однак формування структури моделі прийняття рішення в методі аналізу ієрархії — досить трудомісткий процес. Тому, наприклад, у сучасній енергетичній практиці також застосовуються модифікаційний АНР. У праці [21] для заповнення матриць парних порівнянь не використовується шкала відносної важливості критеріїв. При порівнянні з елементами другого рівня ієрархії використовуються вага критеріїв $\lambda^k, k = 1, K$, для порівняння елементів третього рівня — значення функцій корисності $f_k(x_y^k), k = 1, K$. Таким чином, здійснюється модифікація методу аналізу ієрархій шляхом використання значень ваги і функцій корисності. При цьому вагові коефіцієнти можуть оцінюватися за декількома методами оцінювання вагових коефіцієнтів багатокритеріальної адитивної функції корисності [2, 3, 11, 12]. Як правило, вони ґрунтуються на використанні точок рівної корисності. Згідно з [7], загальний принцип алгоритму оцінювання полягає в тому, що експерту задаються питання таким чином, щоб відповіді на них дали змогу побудувати співвідношення для визначення невідомих ва-

Таблиця 4

Розрахунок величини вектора пріоритетів матриці судження другого рівня

Вид енерготехнології	ПГУ	Гібридна парогозова уст.	ТЕС на біомасі	ВЕС	Величина вектора пріоритетів
<i>Собівартість</i>					
ПГУ	1	1/3	1/7	1/7	0,05
Гібридна парогоз. уст.	3	1	1/5	1/5	0,10
ТЕС на біомасі	7	5	1	1	0,42
ВЕС	7	5	1	1	0,42
<i>Інвестиції</i>					
ПГУ	1	1/3	1/5	1/5	0,06
Гібридна парогоз. уст.	3	1	1/3	1/7	0,10
ТЕС на біомасі	5	3	1		0,20
ВЕС	5	7		1	0,65
<i>Тип палива</i>					
ПГУ	1	1/3	1/3	1/5	0,07
Гібридна парогоз. уст.	3	1	1/5	1/7	0,09
ТЕС на біомасі	3	5	1	1/5	0,22
ВЕС	5	7	5	1	0,62
<i>ККД</i>					
ПГУ	1	1	3	7	0,42
Гібридна парогоз. уст.	1	1	1/3	5	0,22
ТЕС на біомасі	1/3	3	1	7	0,32
ВЕС	1/7	1/5	1/7	1	0,05

Таблиця 5

Розрахунок величин пріоритетів («ваги») матриці судження третього рівня

Енерготехнології	Тип палива	Інвестиції	Собівартість	ККД	Величина пріоритету (X_i)
ПГУ	0,07	0,06	0,05	0,42	0,12
Гібридна паро-газ. установка	0,09	0,10	0,10	0,22	0,12
ТЕС на біомасі	0,22	0,20	0,42	0,32	0,25
ВЕС	0,62	0,65	0,42	0,05	0,52

гових коефіцієнтів. Алгоритм складається з чотирьох етапів:

1. Ранжування критеріїв за корисністю.
2. Фіксація найвищого значення корисності за одиницю для важливішого критерію, а для решти — на їхніх найгірших (нульових) рівнях.

3. Експертна оцінка величини x^*_{1k} погіршення значення найбільш важливого критерію, щоб наступний критерій набув найкращого значення замість найгіршого. Таким чином, зміна корисності найбільш важливого критерію до величини x^*_{1k} еквівалентно зміні корисності наступного критерію від нуля до одиниці, що надає співвідношення

$$(1 - f_{1k}^*)\lambda^k, \quad k = \overline{2, K}, \quad (3)$$

При цьому $\lambda_1 > \lambda_k$.

Доповнивши формулу (3) умовою

$$\sum_{k=1}^K \lambda^k = 1, \quad (4)$$

отримаємо систему лінійно незалежних рівнянь для формул (3) і (4) щодо визначення невідомих вагових коефіцієнтів.

4. Зафіксуємо два перших за важливістю критерії на їх найкращих за корисністю рівнях, що залишилися — на найгірших. За аналогією з етапом 3 складемо співвідношення, які відображають еквівалентну зміну корисності

другого критерію на величину x^*_{2k} і почергово всіх інших від нуля до одиниці:

$$(1 - f_{2k}^*)\lambda^2 = \lambda^k; k = \overline{3, K}, \quad (5)$$

Додавши умову $\sum_{k=2}^K \lambda^k = 1 - \lambda^1$, отримаємо аналогічну етапу 3 систему лінійно незалежних рівнянь для визначення невідомих вагових коефіцієнтів.

Етап 4 можна використати як тестовий. Якщо значення вагових коефіцієнтів, знайдені на цьому етапі, істотно відрізняються від попередніх етапів або змінюється порядок критеріїв, та слід звернутися до етапу 1, щоб уточнити переваги експерта.

Неформалізований підхід до багатокритеріального вибору із використанням вектора Шеплі. У праці [22] цей метод використовується при аналізі перспективних напрямів розвитку російської електроенергетичної галузі в умовах множинних інтересів суб'єктів відносин. Зокрема, існує безліч I варіантів розвитку генеруючих потужностей, безліч J сценаріїв зовнішніх умов і безліч K критеріїв оцінювання рішень з розвитку генерації, причому $K = [K_A, \dots, K_Z]$ включає підмножини критеріїв для кожного із суб'єктів відносин, зацікавлених у розвитку генеруючих потужностей.

З використанням моделей, що вирішують різні завдання обґрунтування розвитку електроенергетики, формуються K матриць розмірністю K :

$$X^k = \{x_{ij}^k\}; i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}; k = \overline{1, K}, \quad (6)$$

де x_{ij}^k — кількісна оцінка варіанта за критерієм k при реалізації сценарію j зовнішніх умов.

Отримані результати є основою для прийняття рішень з розвитку електрогенеруючих компаній у багатокритеріальній ігровій постановці. При цьому передбачається, що існують умови для розгляду кооперативної гри [23, 24]. Одним з поширених підходів є оцінка рішення гри на основі вектора Шеплі, згідно з яким загальний дохід коаліції гравців (гроші, ресурси та ін.) розподіляється між членами коаліції. Вектор Шеплі можна розглядати як зважену суму обмежених вкладів гравця всієї коаліції, в яких він бере участь.

Введемо такі позначення: $M = \{1, \dots, m\}$ — множина гравців (суб'єктів відносин); $T_i, i = \overline{1, M}$ — коаліції множини M ; 1 — число гравців у коаліції T . Тоді значення вектора Шеплі може бути представлено як [23, 24]:

$$\phi_i[v] = \sum_{\substack{T \subset M \\ i \in T}} \frac{(t-1)!(m-t)!}{m!} [v(T) - v(T \setminus \{i\})], \quad (7)$$

де $v(T)$ — характеристична функція коаліції T .

Адитивність вектора Шеплі є досить привабливою з математичної і практичної точок зору, бо робить осмисленим аналіз чутливості впливу зміни доходу коаліції, впливу приєднання або відділення членів коаліції і т. д. Але при цьому визначення характеристичної функції є основною проблемою в кооперативних ігрових задачах з використанням вектора Шеплі. Традиційно характеристична функція визначається як функція витрат. Подібний підхід був застосований у праці [25]. У більш загальному випадку можна використати функцію корисності, процедури побудови та аналізу якої для випадку багатьох критеріїв розвинену в працях [6, 7].

Труднощі в обчисленні значень вектора Шеплі при великій кількості гравців привели до введення двосторонніх оцінок Шеплі. Такі оцінки застосовуються для повністю децентралізованого і двостороннього процесу переговорів серед учасників при використанні їх оцінок. Ця оцінка також зручна і для наших завдань, оскільки дає можливість розглянути всі можливі коаліції учасників і окремого гравця у взаємодії. Двостороння оцінка Шеплі для коаліції T_i у двосторонній коаліції T визначається як:

$$\phi_{(T_i, T_j)}(T) = 0,5v(T_i) + 0,5(v(T) - V(T_j)), \quad (8)$$

Обидві T_i та T_j коаліції називаються умовами T , а $v(T)$ означає власну оцінку коаліції T .

ВИСНОВКИ

Запропоновані підходи багатокритеріального аналізу в умовах конфлікту інтересів суб'єктів ЕР сприяють упередженню суб'єктивізму при виборі альтернативних рішень забезпечення НР енергетики за рахунок раціонального поєднання формалізованих і неформалізованих підходів щодо експертних оцінок. Методичним базисом формалізованого підходу є математичні моделі теорії ігор, теорії корисності, АНР та її модифікація шляхом використання значень ваг і функцій корисності. При неформалізованому підході доцільно є застосувати методи визначення рішення кооперативної гри, зокрема на основі вектора Шеплі.

Подальшого наукового дослідження потребують методичні підходи щодо оптимального поєднання формалізованих і неформалізованих методів багатокритеріального аналізу в задачах розроблення ефективних механізмів забезпечення НР енергетики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шнипко О.С. Конкуренентоспроможність України в умовах глобалізації / О.С. Шнипко; НАН України; Ін-т екон. та прогнозування. — К.: Експрес, 2009. — 456 с.
2. Кини Р. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р. Кини, Х. Райфа. — М.: Радио и связь, 1981. — 329 с.
3. Кини Р.Л. Размещение энергетических объектов: выбор решений / Р.Л. Кини. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 320 с.
4. Арзамасцев Д.А. Модели оптимизации развития энергосистем / Д.А. Арзамасцев, В.А. Липес, А.Л. Мызин. — М.: Высш. шк., 1987. — 306 с.
5. Комплексный анализ технических решений в электроэнергетике / Ю.Б. Гук, П.П. Долгов, В.Р. Окооров и др. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 264 с.
6. Воропай Н.И. Метод многокритериального анализа решений для задач анализа вариантов развития ЭЭС / Н.И. Воропай, Е.Ю. Иванова, В.В. Труфанов // Изв. РАН, Энергетика, 1998. — № 6. — С. 32–38.
7. Ivanova E.Yu. Method of multi-criteria analysis of decisions of choosing the power system expansion options / E.Yu. Ivanova // The 13th PSCC Proc. Trondheim. Norway. June 29 July 3. 1999. — Vol. 1. — P. 770–776.
8. Кравченко В. Гібридний метод підтримки та прийняття управлінських рішень на основі обробки експертних суджень і нечіткої логіки / В. Кравченко // Формування ринкової економіки в Україні. — 2012. — Вип. 27. — С. 165–168.
9. Надежность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы / Г.Ф. Ковалев, Е.В. Сенова, М.Б. Чельцов и др.; под ред. Н.И. Воропая. — Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1999. — 434 с.
10. Энергетика России в XXI веке: Развитие, функционирование, управление // Сб. докладов Всерос. конф. 12–15 сент. 2005 г., Иркутск, Россия. — Иркутск: ИСЭМ СО РАН. — 2005. — 956 с.
11. Нейман Дж. Теория игр и экономическое поведение / Дж. фон Нейман, О. Моргенштейн. — М.: Наука, 1970. — 425 с.
12. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. / П. Фишберн. — М.: Наука, 1978. — 352 с.
13. Fontela E. The DEMATEL observer / E. Fontela, A. Gabus. — Geneva: Battelle Institute, Geneva Research Center, 1976.
14. Chung-Wei L. Identification of a threshold value for the DEMATEL method using the maximum mean deentropy algorithm to find critical services provided by a semiconductor intellectual property mall. / L. Chung-Wei, and T. Gwo-Hshung. // Expert Syst. Appl. — 2009, 8(1). — P. 981–989.
15. Amiri M. Developing a DEMATEL method to prioritize distribution centers in supply chain / M. Amiri, J. S. Sadaghiyani, N. Payani, M. Shafieezadeh // Management Science Letters. — 2011. — Vol. 1. — P. 279–288.
16. Irajpour A. Evaluation of the most effective criteria in green supply chain management in automotive industries using FUZZY DEMATEL method / A. Irajpour, M. Hajimirza, Alavi M. Golsefid and etc. // Journal of Basic and Applied Scientific Research. — 2012. — Vol. 2. — No. 9. — P. 8952–8961.
17. Duperrin J.C. Methode de hierarchisation des elements d'un systeme. / Jean-Claude Duperrin, Michel Godet. — Rapport Economique du CEA-R-4541, Paris, 1973. — P. 45–41.
18. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. — М.: Радио и связь, 1993. — 278 с.
19. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. / Т. Саати, К. Керис — М.: Радио и связь, 1991. — 224 с.
20. Письменна У.Є. Порівняльні оцінки конкурентоспроможності технологій виробництва електроенергії у світлі забезпечення енергетичної безпеки України / У.Є. Письменна, Г.С. Трипольська, Р.З. Подолець, О.А. Дячук / Праці II-го наук.-практ. семінару з міжнар. участю «Економічна безпека держави і науково-технологічні аспекти її забезпечення», м. Київ, 21–22 жовт. 2010 р. / Відпов. ред. Є.М. Письменний, Н.В. Караєва — Черкаси: Видавець Чабаненко Ю.А., 2010. — С. 278–289.
21. Энергетическая безопасность России / В.В. Бушуев, Н.И. Воропай, А.М. Мастепанов, Ю.К. Шафраник и др.. — Новосибирск: Наука. Сибирская издат. фирма РАН, 1998. — 302 с.
22. Воропай Н.И. Иерархическое моделирование при обосновании развития электроэнергетических систем / Н.И. Воропай // Exponenta Pro. Математика в приложениях. — 2003. — № 4(4). — С. 24–27.
23. Оуэн Г. Теория игр / Г. Оуэн: Пер. с англ. И.Н. Врублевской, Г.Н. Дюбина, А.Н. Ляпунова / Под ред. А.А. Корбута — М.: Мир, 1971. — 322 с.
24. Мулен Э. Кооперативное принятие решений. Системы и модели. / Э. Мулен — М.: Мир, 1991. — 164 с.
25. Wu F.F., Contreras J. Coalition Formation in Transmission Expansion Planning / F.F. Wu, J. Contreras // IEEE Trans. Power Syst, 1999. — V. 14, No.3. — P. 1144–1151.