

УДК 502.5:519.2

В.О. Кучер

## Оптимізація розподілу інвестицій за етапами виконання проектів спільної реалізації

*. У даній роботі розроблено інтегральну оцінку інвестиційних проектів спільної реалізації, що ґрунтуються на «механізмах гнучкості» Кіотського протоколу, а також запропоновано метод вибору оптимального варіанту реалізації технологічних інновацій.*

**Ключові слова:** *Кіотський протокол, «гнучкі» механізми Угоди, проекти спільної реалізації, нормалізовані Кіото-рівні, нечіткі множини, функція приналежності, дефазифікація, нечітке математичне програмування.*

*In this work, integral estimation of the investments' joint implementation projects based on flexible Kyoto mechanisms is elaborated, as well as the method to choose an optimal way to realise the technological innovations is introduced.*

**Keywords:** *Kyoto Agreement, Flexible Kyoto mechanisms, joint implementation project, normalised Kyoto-level, uzzy set, function of belonging, phasification, fuzzy mathematical programming.*

**Вступ.** Кіотський протокол — міжнародний документ, що був ухвалений в Кіото (Японія) у грудні 1997 року в доповнення до Рамкової Конвенції ООН щодо зміни клімату (РКЗК) [1]. Протокол зобов'язує розвинені країни та країни з перехідною економікою скоротити або стабілізувати викиди парникових газів у 2008-2012 роках порівняно з 1990 роком.

Кіотський протокол передбачає економічні механізми, так звані механізми гнучкості. До таких механізмів належать:

- торгівля квотами на викиди парникових газів;

- механізм чистого розвитку (МЧР);
- проекти спільної реалізації (ПСР).

Проекти спільної реалізації надають можливість країні, що має труднощі у виконанні своїх кількісних зобов'язань за Кіотською Угодою, здійснювати інвестиції в реалізацію проектів в іншій країні. Одиниці скорочення викидів, що отримані внаслідок реалізації таких проектів, можуть бути передані стороні, що здійснює інвестиції, у зарахування її зобов'язань. За програмою спільних проектів зекономлені за рахунок технічної кооперації одиниці викидів реєструються у Clearing House.

У жовтні 2006 було успішно «включено» на міжнародному рівні механізм проектів Спільної реалізації.

Основна частина проектів (за обсягами скорочених викидів) припадає на Китай, де створено просту та ефективну систему затвердження, моніторингу та керування проектами.

Україна може виграти від участі у виконанні проектів спільної реалізації, оскільки економіка України є дуже неефективною з точки зору використання енергії, тобто, набагато простішим є досягнення зниження викидів в Україні, а ніж у розвинених країнах.

У квітні цього року відбулося підписання Меморандуму між урядом України та урядом Японії щодо співробітництва у впровадженні Рамкової конвенції ООН щодо зміни клімату та Кіотського протоколу до неї.

Підписання Меморандуму відкриває можливості отримання Україною нових інвестицій для впровадження природно-безпечних технологій за допомогою проектів спільної реалізації.

Під час виконання проектів спільної реалізації, що є спрямованими на підвищення енергетичної ефективності

та зменшення викидів парникових газів, важливою є наявність механізмів оцінки їх очікуваної ефективності. Дана робота присвячена актуальним для поточного етапу питанням: розроблено інтегральну оцінку інвестиційних проектів спільної реалізації, що базуються на „механізмах гнучкості” Кіотського протоколу, а також запропоновано метод обрання оптимального варіанту реалізації технологічних інновацій.

**Нечітко-множинна оцінка ефективності проектів та оптимізація розподілу інвестицій за етапами їх виконання.**

Реалізація проектів спільного виконання визначається відповідними технічними та фінансовими обмеженнями.

Інвестиційний проект передбачає планування у часі грошових потоків, що не можуть бути сплановані точно, оскільки немає повної визначеності щодо майбутнього стану ринку. Інструментом, який дозволяє вимірювати ступінь можливості (очікування) у такій ситуації, є теорія нечітких множин [2].

Розглянемо чисту сучасну цінність інвестицій (NPV – Net Present Value). Для проектів, що нами досліджуються, співвідношення для NPV можна представити у вигляді:

$$NPV = - \sum_{n=0}^N \frac{I_{n,t_{n+1}}}{(1+r_n)^n} + \sum_{n=0}^N (e_{n,t_{n+1}} \cdot \frac{I_{n,t_{n+1}}}{(1+r_n)^n} \cdot \frac{P_n}{(1+r_n)^n}) + \frac{C}{(1+r_{N+1})^{N+1}}, \quad (1)$$

при цьому такі обмеження, що фінансові інвестиції не будуть перевищувати бюджет сторони, що здійснює інвестиції, а також, що сторони учасники не перевищуватимуть нормалізованого Кіото-рівня щодо викидів ПГ, враховуються під час обчислення кількості планових періодів інвестиційного процесу:

$$N = \min \left\{ \max \left\{ 0, \operatorname{sign} \left[ 1 - \operatorname{sign} \left[ \left( I^* - \sum_{n=0}^K I_{t_n, t_{n+1}} \right) \left( I^* - \sum_{n=0}^{K+1} I_{t_n, t_{n+1}} \right) \right] \right] \right\} K \right\},$$

$$\max \left\{ 0, \operatorname{sign} \left[ 1 - \operatorname{sign} \left[ \left( E^* - E_0 - \sum_{n=0}^L e_{t_n, t_{n+1}} \cdot I_{t_n, t_{n+1}} \right) \left( E^* - E_0 - \sum_{n=0}^{L+1} e_{t_n, t_{n+1}} \cdot I_{t_n, t_{n+1}} \right) \right] \right] \right\} L \right\}$$

У наведених співвідношеннях застосовано такі позначення:  $I^*$  - бюджет сторони, що здійснює інвестиції;  $I_{t_n, t_{n+1}}$  - обсяг інвестицій  $n$ -ого періоду, що забезпечує перехід від технологічного рівня  $t_n$  на початку  $n$ -ого періоду до рівня  $t_{n+1}$  на початку наступного періоду;  $e_{t_n, t_{n+1}}$  - параметр ефективності інновацій;  $r_n$  - ставка дисконтування;  $P_n$  - ціна за одиницю скорочених викидів;  $C$  - ліквідаційна вартість чистих активів, що утворилася під час інвестиційного процесу;  $E^*$  - нормалізований Кіото-рівень викидів ПГ;  $E_0$  - рівень викидів ПГ на початковий момент.

Частина з наведених параметрів мають властивість «розмитості», тобто їх точне заплановане значення є невідомим. Отже в якості вихідних даних доречним є застосування трикутних нечітких чисел, функції приналежності яких мають трикутний вигляд, та які моделюють вираз такого виду «параметр  $A$  приблизно дорівнює  $\bar{a}$  та однозначно знаходиться в діапазоні  $[a_{\min}, a_{\max}]$ ».

У загальному випадку під нечітким числом розуміють нечітку підмножину універсальної множини дійсних чисел, що має нормальну та опуклу функцію приналежності [3]. Такий опис дозволяє розробнику інвестиційного проекту взяти в якості вихідної інформації інтервал параметру  $[a_{\min}, a_{\max}]$  та найбільш очікуване значення  $\bar{a}$ , тоді відповідне трикутне число  $A = [a_{\min}, \bar{a}, a_{\max}]$  є побудованим. Далі будемо називати параметри  $a_{\min}, \bar{a}, a_{\max}$  значущими точками трикутного нечіткого числа  $A$ .

У тому випадку, якщо який-небудь з параметрів  $A$  є відомим майже точно або є однозначно заданим, тоді нечітке число  $A$  вироджується в дійсне число  $A$  з виконанням умови  $a_{\min} = \bar{a} = a_{\max}$ .

Таким чином, задача інвестиційного вибору в наведеній вище постановці є процесом прийняття рішень у розмитих умовах, коли рішення досягається злиттям цілей та обмежень.

Для того, щоб перетворити формулу (1) до вигляду, що буде придатним для застосування нечітких вихідних даних, застосуємо сегментний спосіб.

З цією метою чинимо так: для фіксованого рівня приналежності  $\alpha$ , за кожним з нечітких чисел вихідних даних визначаємо інтервали достовірності, що йому відповідають:  $[r_{n1}, r_{n2}]$ ;  $[P_{n1}, P_{n2}]$ ;  $[C_1, C_2]$ . Від операцій з нечіткими числами переходимо до операцій з їх інтервалами достовірності, які виражаються операціями з границями інтервалів. Підставляючи границі інтервалів

нечітких чисел вихідних даних у співвідношення для  $NPV$  та застосовуючи низку операцій над нечіткими числами, отримуємо результуюче нечітке число  $NPV$  :

$$[NPV_1, NPV_2] = \left[ - \sum_{n=0}^N \frac{I_{t_n, t_{n+1}}}{(1+r_{n2})^n} + \sum_{n=0}^N \frac{e_{t_n, t_{n+1}} I_{t_n, t_{n+1}} P_{n1}}{(1+r_{n2})^{2n}} + \frac{C_1}{(1+r_{N+1,2})^{N+1}}, \right. \\ \left. - \sum_{n=0}^N \frac{I_{t_n, t_{n+1}}}{(1+r_{n1})^n} + \sum_{n=0}^N \frac{e_{t_n, t_{n+1}} I_{t_n, t_{n+1}} P_{n2}}{(1+r_{n1})^{2n}} + \frac{C_2}{(1+r_{N+1,1})^{N+1}} \right]$$

Розрахунки за значущими точками нечітких чисел вихідних даних можуть дозволити привести функцію приналежності  $\mu_{NPV}$  нечіткого числа  $NPV$  до трикутного вигляду, або можна апроксимувати цю функцію ламаною кривою.

Інвестиційний проект визнається ефективним, коли  $NPV$  є більшою за певний проектний рівень  $G$  (у найбільш поширеному випадку  $G = 0$ ).

Скористаємося дефазифікацією нечіткої множини, наприклад, за методом центру тяжіння: дефазифікація цим методом здійснюється за формулою:

$$c = \frac{\int_{a_{\min}}^{a_{\max}} x \times \mu_A(x) dx}{\int_{a_{\min}}^{a_{\max}} \mu_A(x) dx}$$

Таким чином перейдемо до звичайного кількісного значення для нечіткої множини – найбільш очікуваного значення чистої сучасної цінності інвестицій.

Проте, проект спільного виконання може виявитися економічно привабливим навіть з від'ємними показниками ефективності, оскільки витрати на скорочення викидів 1 т

«парникових газів» в країнах з перехідною економікою є значно нижчими за ті, що в розвинених країнах, крім того, рівень штрафних санкцій до країн, викиди яких перевищують Кіото-рівень, є високим.

У викладеному вище обмеження того, що фінансові інвестиції не перевищуватимуть бюджет сторони, що інвестує, та обмеження того, що сторони учасники не перевищать нормалізований Кіото-рівень по викидах ПГ, враховуються під час обчислення кількості планових періодів інвестиційного процесу.

Однією з проблем під час реалізації спільних проектів є вибір оптимальної схеми розміщення інвестицій, що спрямовані на максимально можливу економію одиниць викидів. У даній роботі в цьому напрямку розв'язується задача оптимізації розподілу інвестицій за етапами виконання проекту як задача нечіткого математичного програмування [4]. Постановка задачі передбачає оптимізацію розподілу інвестицій по етапах виконання проекту, що забезпечуватиме максимальний ефект *NPV* за обмежень на нормалізовані Кіото-рівні по викидах й на бюджет сторони, що здійснює інвестиції.

Маємо цільову функцію (1) з нечіткими параметрами:  
*NPV* → max на заданій множині допустимих альтернатив:

$$\sum_n I_{t_n, t_{n+1}} \leq I^*; \sum_n e_{t_n, t_{n+1}} I_{t_n, t_{n+1}} \leq E^* - E_0; I_{t_n, t_{n+1}} \geq 0.$$

Трикутні нечіткі числа, що застосовуються в якості вихідних даних нечітко-множинної оцінки проектів спільної реалізації, дозволяють вказати інтервали значень нечітких коефіцієнтів цільової функції задачі НМП:  
 $r_n, P_n, C.$

Проблема нескінченної кількості цільових функцій, що виникає, розв'язується шляхом пошуку компромісного розв'язку, який перетворюватиме нескінченну множину цільових функцій у єдину компромісну цільову функцію. Наприклад, якщо обрати по одному представнику для кожного інтервалу зміни параметрів функції (1)

$$r_n = (r_{n \min}, \bar{r}_n, r_{n \max}); P_n = (P_{n \min}, \bar{P}_n, P_{n \max});$$

$C = (C_{\min}, \bar{C}, C_{\max})$ , а саме, обрати в якості представника для кожного інтервалу значення з найбільшими шансами

появи:  $\bar{r}_n, \bar{P}_n, \bar{C}$ , то таким чином перейдемо від задачі з нечіткими коефіцієнтами до задачі лінійного програмування з чіткими коефіцієнтами вигляду: максимізувати

$$\{NPV = -\sum_n \frac{I_{t_n, t_{n+1}}}{(1+\bar{r}_n)^n} + \sum_n (e_{t_n, t_{n+1}} \cdot \frac{I_{t_n, t_{n+1}} \cdot \bar{P}_n}{(1+\bar{r}_n)^n (1+\bar{r}_n)^n}) + \frac{\bar{C}}{(1+\bar{r}_{N+1})^{N+1}} /$$

$$\sum_n I_{t_n, t_{n+1}} \leq I^*, \sum_n e_{t_n, t_{n+1}} I_{t_n, t_{n+1}} \leq E^* - E_0, I_{t_n, t_{n+1}} \geq 0\}$$

Отриману задачу можна розв'язати симплексним методом.

Форми нечіткого опису вихідної інформації у досліджуваних задачах можуть бути різними, що призводить до різниць в математичних формулюваннях відповідних задач нечіткого математичного програмування.

Різноманіття задач нечіткого математичного програмування, які використовують різні види нечітких інтервалів (чисел) в якості коефіцієнтів цільових функцій



та обмежень задачі, вимагають розробки різних моделей та методів їх розв'язання.

### **Висновки.**

Україна має величезний потенціал енергозбереження й більш низький рівень витрат на впровадження енергозберігаючих технологій порівняно з багатьма розвинутими індустріальними країнами. Тому розробки, що спрямовані на оцінку привабливості реалізації проектів спільного виконання є актуальними та можуть бути корисними для заохочення інвестицій в економіку країни.

Застосування нечітких множин за умов врахування вихідної невизначеності - досить перспективний напрямок у розробці оцінок інвестиційних проектів спільної реалізації, що базуються на «механізмах гнучкості» Кіотського протоколу.

Запропонований метод оптимізації розподілу інвестицій за етапами виконання проекту, забезпечує максимальний ефект чистої сучасної цінності інвестицій за обмежень на нормалізовані Кіото-рівні по викидах та на бюджет сторони, що здійснює інвестиції.

На даний момент велика увага прикута до майбутнього, що буде після завершення першого періоду Кіотської Угоди. Наскільки можна планувати «вуглецевий» бізнес після 2012 року? Як забезпечити послідовність використання одиниць викидів та «гладкість» виконання проектів?

У червні цього року в Боні відбулася 12-денна конференція ООН по клімату. Біля 2 тисяч делегатів з 190 країн світу взяли у ній участь, та працювали над підготовкою самміту з питань клімату в Копенгагені.

Метою конференції була підготовка ґрунту для укладання нової угоди щодо скорочення викидів

парникових газів, яка має замінити Кіотський протокол щодо боротьби з глобальним потеплінням, що добігає завершення у 2012 році.

Література

1. Кіотський протокол до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй щодо зміни клімату. – Організація Об'єднаних Націй, 1998. – 25 с.
2. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
3. Леоненков А. В. Нечітке моделювання в середовищі MATLAB та fuzzyTECH. – БХВ-Петербург, 2003. - 719 с.
4. Дервянко П.М. Моделі та методи розв'язання задач нечіткого математичного програмування та його застосування у сучасних умовах: Теорія та практика. - 9. Електронна книга, обсяг файла книги в архівованому вигляді - 3.85 Мб. 2003-2008. – 208 с.