

**УДК 519.81:330.322.54**

*Л. Б. Долінський*, к.е.н., доц.,

*О. В. Піскунова*, к.т.н., доц.,

*О. О. Горкун*, студент ФІСіТ,

ДВНЗ «Київський національний економічний університет  
імені Вадима Гетьмана»

## **ВИБІР ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПРОЕКТУ З МНОЖИНИ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВАРІАНТІВ ЯК ЗАДАЧА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ**

*АНОТАЦІЯ. У статті розроблено модель вибору інвестиційного проекту з множини альтернатив на основі сукупності критеріїв з використанням*

© Л. Б. Долінський, О. В. Піскунова,  
О. О. Горкун, 2013

166

*інструментарію теорії нечіткої логіки. Здійснено реалізацію моделі щодо вибору проекту для інвестування у підприємства хлібопекарської галузі.*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** *інвестиційний проект, ефективність, ризикованість, нечітка логіка, прийняття рішень, багатокритеріальна оптимізація.*

**АННОТАЦІЯ.** *В статті розроблена модель вибору інвестиційного проекту із множини альтернатив на основі сукупності критеріїв з використанням інструментарія теорії нечіткої логіки. Осуществлено реалізацію моделі по вибору проекту для інвестування підприємств хлібопекарської галузі.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *инвестиционный проект, эффективность, рискованность, нечеткая логика, принятие решений, многокритериальная оптимизация.*

**ANNOTATION.** *The article proposes a model of project selection based on multiple criteria using fuzzy logic. The model was applied to the project selection for investing in bakery industry enterprises.*

**KEY WORDS:** *investment project, efficiency, riskiness, fuzzy logic, decision making, multi-criteria optimization.*

## **Вступ**

**Постановка проблеми.** Інвестиційний проект характеризується значною кількістю параметрів (розмір вкладень і надходжень, їх часовий горизонт та ін.), які визначають його ефективність і привабливість для інвестора. Досить рідко з усієї множини можливих варіантів можна обрати проект, що був би кращим одночасно за всіма характеристиками (домінував над рештою проектів). Тому на практиці особа, що приймає рішення (ОПР), стикається з проблемою вибору певного проекту для інвестування на основі багатьох критеріїв. При цьому таке рішення, як правило, не може бути однозначно найкращим, оскільки обраний варіант за певними критеріями все ж гірший від альтернатив. Прийняття ж рішення щодо інвестування лише за одним критерієм є штучним спрощенням реальної ситуації і може призводити до негативних або навіть катастрофічних наслідків.

Проблема ускладнюється ще й тим, що реалізація інвестиційного проекту відбувається в умовах невизначеності, обумовленої, зокрема, мінливістю ринкової кон'юнктури, конфліктністю суб'єктів господарювання, неповнотою та асиметрією наявної у них інформації та ін. Це зумовлює неможливість точного передбачення результатів проекту та його ефективності. Тому при прийнятті

рішень щодо інвестування необхідно також враховувати різноманітні ризики, пов'язані з можливістю відхилень реальних результатів за проектом від очікуваних.

Таким чином, вибір інвестиційного проекту з множини альтернативних варіантів за багатьма критеріями є складною задачею, для вирішення якої доцільно скористатись інструментарієм економіко-математичного моделювання, зокрема, методами багатокритеріальної оптимізації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існує значна кількість праць, присвячених питанням прийняття інвестиційних рішень, зокрема досліджень, що торкаються проблеми багатокритеріальності та невизначеності у процесі вибору інвестиційного проекту з множини альтернативних варіантів [1, 4, 7, 8, 11].

У праці [1] пропонується відразу два способи вибору інвестиційного проекту з множини альтернатив. Перший спосіб [1, с. 419—426] базується на використанні запропонованого авторами ігрового розпливчастого методу аналізу ієрархій для порівняння проектів із відомими значеннями кількох показників ефективності. Другий [1, с. 426—434] представляє собою алгоритм, на кожному кроці якого відбувається відсіювання проектів, що не відповідають допустимим значенням ступеня ризику, а на завершальному етапі здійснюється вибір проекту за скоригованим на величину ризику показником ефективності.

У роботі [8] розглядається питання вибору інвестиційного проекту лише за одним показником ефективності, який вважається випадковою величиною із відомим законом розподілу. Для визначення оптимального варіанту капіталовкладень пропонується максимізувати очікувану корисність наслідків від інвестування. Очікувана корисність розраховується як математичне сподівання корисності, що знаходиться за ймовірними значеннями показника ефективності за допомогою функції корисності. Також вибір проекту пропонується здійснювати або шляхом оптимізації показника ефективності при накладенні обмежень на показники міри ризику, або навпаки, шляхом мінімізації показника міри ризику із обмеженням на значення показника ефективності.

У працях [7, 11] для вибору інвестиційного проекту за кількома показниками ефективності пропонується здійснювати їх агрегування за допомогою нечітко-логічних висновків. У результаті вибір за кількома критеріями зводиться до вибору лише за одним критерієм. Недоліком цієї методики є неврахування невизначеності та відповідних ризиків проекту при прийнятті рішень.

Як бачимо, описана проблема користується значною увагою науковців, проте вирішення, яке б одночасно враховувало аспекти багатокритеріальності та невизначеності у процесі прийнятті рішень щодо інвестування, вона так і не дістала. До того ж, навіть розглянуті методи можуть використовуватись лише для відомих значень показників (критеріїв), за якими здійснюється вибір найкращого проекту і приймаються рішення. Водночас питання розрахунку значень цих показників є далеко не простим.

У статті [4] запропоновано модель прогнозування показників ефективності та ризикованості інвестиційного проекту на основі фінансової звітності підприємства. Дана модель базується на прогнозуванні грошових потоків від реалізації проекту за відомими інвестиційними витратами на підґрунті економетричних моделей. У праці наводиться вектор критеріїв привабливості інвестиційного проекту, який складається з показників ефективності та ризикованості проекту. Проте, оскільки, приймати обґрунтовані рішення, одночасно ураховуючи значну кількість параметрів, досить складно або інколи навіть не можливо, необхідним є подальший розвиток запропонованої методики шляхом вирішення проблеми вибору інвестиційного проекту з множини альтернатив за багатьма критеріями.

Отже, *метою* даної статті є розробка моделі вибору інвестиційного проекту з множини альтернативних варіантів за сукупністю показників ефективності в умовах невизначеності.

Досягнення поставленої мети дослідження передбачає вирішення таких *завдань*: вибір та обґрунтування показників, що характеризують ефективність і ризикованість проекту; розроблення методу вибору найпривабливішого інвестиційного проекту з множини альтернативних варіантів за визначеними показниками ефективності та ризикованості проекту.

## **1. Критерії вибору інвестиційного проекту з множини альтернативних варіантів**

Вибір певного інвестиційного проекту з множини альтернатив здійснюватимемо за показниками їх ефективності та ризикованості.

*Показники ефективності інвестиційного проекту.* Аналізуючи ефективність інвестиційних проектів, як правило враховують такі характеристики проектів: обсяг капіталовкладень  $I$ , розмір надходжень (доходів) від реалізації проекту  $CF$ , період виплат і надходжень платежів  $t$ , розмір дисконтної ставки  $r$ , величину чистого грошового потоку  $NCF$ . Зазначимо, що величина чистого грошового потоку  $NCF$  характеризує різницю між інвес-

тиційними доходами та витратами за період  $t$ :  $NCF_t = CF_t - I_t$ , і може набувати як додатних, так і від'ємних значень.

Для оцінювання ефективності інвестиційних проектів використовуються, зокрема, такі показники [1, с. 419—421]:

1. Чиста приведена (дисконтована) вартість ( $NPV$ ):

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{NCF_t}{(1+r)^t}. \quad (1)$$

2. Внутрішня норма дохідності ( $IRR$ ):

$$\sum_{t=0}^n \frac{NCF_t}{(1+IRR)^t} = 0. \quad (2)$$

3. Дисконтований період окупності ( $DPP$ ):

$$\sum_{t=0}^{DPP} \frac{NCF_t}{(1+r)^t} = 0. \quad (3)$$

4. Індекс рентабельності ( $PI$ ):

$$PI = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+r)^t}. \quad (4)$$

Проте, використання показника  $NPV$  або інших абсолютних показників для порівняння ефективності проектів має сенс лише для проектів, подібних за масштабом. Тому у випадку значних відмінностей між характеристиками капіталовкладень за різними проектами доцільно, на наш погляд, використовувати такі показники ефективності:  $Z_1 = IRR$ ,  $Z_2 = DPP$ ,  $Z_3 = PI$ .

Капіталовкладення  $I$  у відповідний момент часу  $t$  визначають особливості проекту і по суті є його детермінованими характеристиками. Ставка дисконтування  $r$  зазвичай відображає максимально можливий рівень дохідності альтернативних варіантів використання грошових коштів (банківський депозит, купівля цінних паперів і т.ін.), тобто визначається відповідно до загальної ринкової кон'юнктури та не залежить від особливостей окремого проекту. Таким чином, найбільші проблеми виникають при визначенні обсягу грошових надходжень  $CF$  від реалізації проекту. Розглядаємо ці показники як нормально розподілені випадкові величини та застосовуватимемо для їх прогнозування методи економетричного моделювання. Такий підхід детально описаний у [4, с. 154—156]. Він передбачає побудову моделей залежності обся-

гу доходів ( $Y$ ) і витрат ( $I$ ) від вартості реального капіталу, які дозволяють оцінити умовні математичні сподівання та середньоквадратичні відхилення прогнозу за заданих значень капіталовкладень.

Зазначимо, що цей підхід є придатним для аналізу проектів, які передбачають вкладення інвестицій у вже існуючі підприємства для розширення їх виробництва. У випадку, коли застосування економетричних моделей для прогнозування результатів реалізації проекту є неможливим, доцільно використовувати експертні методи прогнозування. Тоді розроблена методика потребує певних модифікацій.

Показники:  $Z_1 = IRR$ ,  $Z_2 = DPP$ ,  $Z_3 = PI$  визначаються відповідно рівняннями (2), (3) і (4) та, оскільки залежать від випадкових величин, також будуть випадковими величинами. Оцінювання характеристик розподілів  $M(Z_i)$ ,  $\sigma(Z_i)$  показників  $Z_i$  можна здійснювати з використанням статистичного моделювання за методом Монте-Карло [4, с. 159].

**Урахування об'єктивно-суб'єктивної структури ризику.** В якості міри (критеріальних значень) показників ефективності проектів можна розглядати математичні сподівання цих показників. Проте фактичні значення показників ефективності після здійснення інвестиційного проекту будуть деякими реалізаціями випадкових величин  $Z_i$  і можуть відхилитися від оцінених значень математичних сподівань  $M(Z_i)$ . Тому, обираючи критеріальні значення показників ефективності, доцільно враховувати ризик, пов'язаний з такими відхиленнями. В якості міри ризику можна розглядати, зокрема, середньоквадратичні відхилення  $\sigma(Z_i)$ , які характеризують об'єктивно існуючу невизначеність умов реалізації проекту. Водночас, оскільки ризик має об'єктивно-суб'єктивну структуру, то є сенс враховувати також і ставлення ОПР до ризику. Для цього у праці [1, с. 184] пропонується використовувати скориговані на ризик і ставлення до нього ОПР (модифіковані) математичні сподівання показників ефективності:

$$B_i^+ = M(Z_i) - k \cdot \sigma(Z_i); \quad (5)$$

$$B_i^- = M(Z_i) + k \cdot \sigma(Z_i), \quad (6)$$

де  $B^+$ ,  $B^-$  — міри показників ефективності з додатним (прагнуть максимізувати) і від'ємним (прагнуть мінімізувати) інгредієнтом відповідно;  $k$  — параметр, що демонструє ставлення суб'єкта до ризику (ціна ризику).

Тоді з урахуванням виразів (5) і (6) можемо визначити міри обраних показників ефективності проекту:

$$IRR' = M(Z_1) - k_1 \cdot \sigma(Z_1); \quad (7)$$

$$DPP' = M(Z_2) + k_2 \cdot \sigma(Z_2); \quad (8)$$

$$PI' = M(Z_3) - k_3 \cdot \sigma(Z_3). \quad (9)$$

У праці [2, с. 17—18] зазначається, що є сенс визначати параметр  $k$  на основі значень ентропії Шеннона та ймовірності реалізації небажаних значень показника ефективності. Ми пропонуємо також враховувати суму вкладених коштів за проектом, оскільки, чим більшою є грошова сума, тим меншим є бажання нею ризикувати.

**Показники ризику некоректного оцінювання характеристик розподілу показників ефективності інвестиційних проектів.** Коректність оцінювання характеристик розподілу показників ефективності проектів за даними вибірки залежить від статистичної якості побудованих моделей регресії, яка визначається шляхом перевірки виконання припущень класичної моделі лінійної регресії, зокрема правильності специфікації моделі. Статистичні гіпотези, за допомогою яких здійснюється така перевірка, відхиляються або приймаються не однозначно, а з певною ймовірністю, внаслідок чого виникає ризик прийняти невірну гіпотезу або відхилити вірну та отримати некоректний прогноз на підґрунті побудованої економетричної моделі. В якості показників ризику, пов'язаного з некоректністю моделей, можуть розглядатися значення статистичних параметрів, за допомогою яких гіпотези щодо залишків моделі.

Вектор, що характеризує ризик некоректної побудови регресійної моделі, може мати, зокрема, такі складові: коефіцієнт детермінації ( $R^2$ ), розрахункове значення статистики Дарбіна—Уотсона ( $d$ ); відношення розмаху залишків до середньоквадратичного відхилення залишків за  $RS$ -критерієм ( $RS$ ) і т. ін. [4, с. 158]. До уже наведених величин можна додати й інші, проте необхідно дотримуватись співвідношення між інформативністю та наочністю результатів перевірки моделі.

**Формування вектору критеріїв для вибору інвестиційного проекту.**

З урахуванням вищесказаного вектор критеріїв, за якими буде прийматися рішення щодо вибору інвестиційного проекту, можна представити таким чином:

$$S = \{S_1, S_2\}, \quad (10)$$

де  $S_1$  — вектор мір показників ефективності, скоригованих на ризик і ставлення до нього ОПП;  $S_2$  — вектор мір ризику некоректного оцінювання характеристик розподілу показників ефективності за даними вибірки.

Відповідно вектор  $S_1$  складається із скоригованих на ризик і ставлення до нього ОПП математичних сподівань показників ефективності:

$$S_1 = \{IRR', DPP', PI'\}. \quad (11)$$

У свою чергу  $S_2$  є вектором мір ризику некоректності моделей прогнозування і має вигляд:

$$S_2 = \{R_Y^2, R_V^2, d_Y, d_V, RS_Y, RS_V\}, \quad (12)$$

де  $R_Y^2, R_V^2$  — коефіцієнти детермінації моделей прогнозування доходів і витрат;  $d_Y, d_V$  — показники статистики Дарбіна—Уотсона лінеаризованих моделей прогнозування;  $RS_Y, RS_V$  — показники відношення розмаху залишків до середньоквадратичного відхилення залишків лінеаризованих моделей прогнозування.

Вектор (10) можна представити таким чином:

$$S = \{IRR', DPP', PI', R_Y^2, R_V^2, d_Y, d_V, RS_Y, RS_V\}. \quad (13)$$

Слід додати, що крім обраних нами показників, які знаходяться за допомогою економетричних моделей, на остаточне рішення щодо вибору інвестиційного проекту можуть також впливати різноманітні експертні оцінки. У такому разі вектор (13) набуде вигляду  $S = \{S_1, S_2, S_3\}$ , де  $S_3$  — вектор експертних (суб'єктивних) оцінок. Проте ми не претендуємо на охоплення усіх нюансів і складових інвестиційного процесу, тому питання щодо визначення експертних оцінок та їх урахування у моделі у даній статті не розглядаються.

## 2. Модель вибору інвестиційного проекту на основі багатьох критеріїв

**Психологія вибору та її моделювання.** Для вибору інвестиційного проекту з множини альтернатив ми спиратимемось на методологічний підхід, за яким рішення приймаються на основі порівняння та максимізації корисності (цінності, привабливості), яку становлять для ОПП результати від прийняття конкретного рішення. Використовуючи вектор на кшталт (13), ми тим самим



підтримуємо думку одних із авторів теорії корисності [10] про те, що корисність у загальному випадку є векторною величиною. Тому можна спробувати звести вектор значень критеріїв до деякого інтегрального показника.

У літературі з теорії прийняття рішень досить поширеним є підхід, за яким корисність визначається за допомогою багатовимірних функцій корисності (функцій цінності, функцій переваги) [6, с. 80]. Тобто, корисність того чи того рішення визначається алгебраїчно залежно від значень критеріїв, притаманних обраній альтернативі. Однак такий спосіб не завжди є прийнятним з точки зору опису людської поведінки під час прийняття рішень.

Вважаємо проблематичним використання традиційних математичних методів, які ефективно використовуються при дослідженні механічних систем, до моделювання поведінки людини, оскільки процесу людського мислення притаманна нечіткість. Така позиція з часом отримує все більшого визнання, наслідком чого є поширення використання теорії нечіткої логіки при моделюванні процесів, пов'язаних з розумовою активністю людини, зокрема, і прийняттям рішень [5]. Тому для вирішення задачі вибору інвестиційного проекту з множини альтернатив будемо використовувати інструментарій нечіткої логіки, а саме — нечіткого висновку.

**Нечіткі висновки для вибору інвестиційного проекту з множини альтернатив.** Пропонуємо послідовність етапів для моделювання процесу прийняття рішень щодо інвестування на підґрунті теорії нечіткої логіки:

Етап 1 (Визначення лінгвістичних змінних та їх термів). Оскільки ми вже маємо набір параметрів, — складових вектора (13) — що впливають на результат рішення щодо вибору інвестиційного проекту, то нам залишається лише визначити відповідні лінгвістичні змінні та їх терми.

Визначені на базі вектора (13) лінгвістичні змінні наведено у табл. 1. З метою спрощення усі лінгвістичні змінні будуть мати три терми.

Етап 2 (Визначення функцій належності). Для задання функцій належності значень базових змінних відповідним нечітким термам використовуватимемо гаусову функцію належності. Її аналітична форма запису така:

$$\mu_A(x) = \exp\left[-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right].$$

## ЛІНГВІСТИЧНІ ЗМІННІ ДЛЯ ФАКТОРІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Позначення та назва змінної	Базова змінна	Множина термів
$X_{11}$ — скоригована внутрішня норма дохідності	$IRR'$	низька (Н), середня (С), висока (В)
$X_{12}$ — скоригований дисконтований період окупності	$DPP'$	незначний (НЗ), середній (С), значний (З)
$X_{13}$ — скоригований індекс рентабельності	$PI'$	низький (Н), середній (С), високий (В)
$X_{211}, X_{221}$ — точність за критерієм $R^2$	$R_Y^2, R_V^2$	низька (Н), середня (С), висока (В)
$X_{212}, X_{222}$ — адекватність за критерієм Дарбіна—Уотсона	$d_Y, d_V$	низька (Н), середня (С), висока (В)
$X_{213}, X_{223}$ — адекватність за $RS$ -критерієм	$RS_Y, RS_V$	низька (Н), середня (С), висока (В)
$X_{21}, X_{22}$ — якість моделей прогнозування доходів та витрат	$x_{21}, x_{22}$	низька (Н), середня (С), висока (В)
$X_1$ — узагальнена ефективність	$x_1$	низька (Н), середня (С), висока (В)
$X_2$ — ризикованість прогнозу	$x_2$	низька (Н), середня (С), висока (В)
$U$ — корисність	$u$ (від $-10$ до $10$ ютилів)	від'ємна (ВК), нейтральна (НК), додатна (ДК)

Графік цієї функції при  $m = 5$ ,  $\sigma = 1,5$  наведено на рис. 1. Параметри  $m$  і  $\sigma$  гаусової функції належності для використаних лінгвістичних змінних із визначеною універсальною множиною подано у табл. 2.

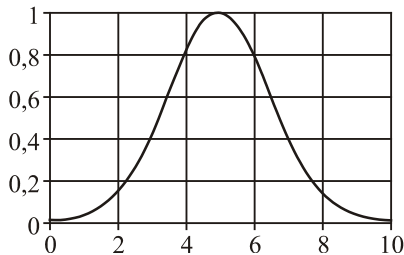


Рис. 1. Графік гаусової функції належності для  $m = 5$ ,  $\sigma = 1,5$

**ПАРАМЕТРИ ГАУСОВОЇ ФУНКЦІЇ НАЛЕЖНОСТІ ЗМІННИХ  
ІЗ ВИЗНАЧЕНОЮ УНІВЕРСАЛЬНОЮ МНОЖИНОЮ**

Змінна	Терм						Універсальна множина
	Н (ВК)		С (НК)		В (ДК)		
	$m$	$\sigma$	$m$	$\sigma$	$m$	$\sigma$	
$X_{211}, X_{221}$	0	0,4	0,65	0,15	1	0,2	[0, 1]
$X_{21}, X_{22}$	0	2,5	5	1,5	10	2,5	[0, 10]
$X_1$	0	2,5	5	1,5	10	2,5	[0, 10]
$X_2$	0	2,5	5	1,5	10	2,5	[0, 10]
$U$	-10	5	0	3	10	5	[-10, 10]

Решту функцій належності задамо графічно (рис. 2 — рис. 4а). Зауважимо, що за межами відображених інтервалів функція належності для крайніх термів дорівнюватиме 1.

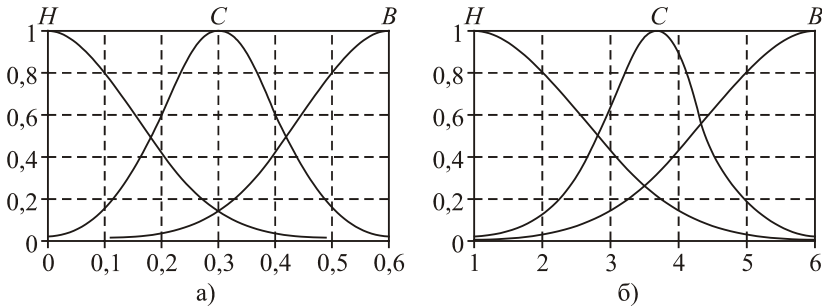


Рис. 2. Графіки функцій належності  
для лінгвістичних змінних  $X_{11}$  (а),  $X_{12}$  (б)

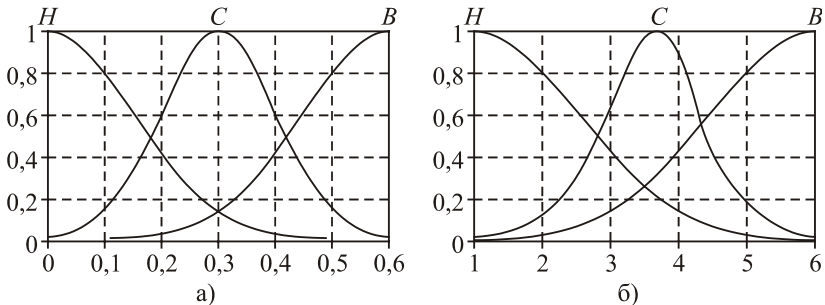


Рис. 3. Графіки функцій належності для лінгвістичних змінних  
 $X_{13}$  (а) та  $X_{212}, X_{222}$  (б)

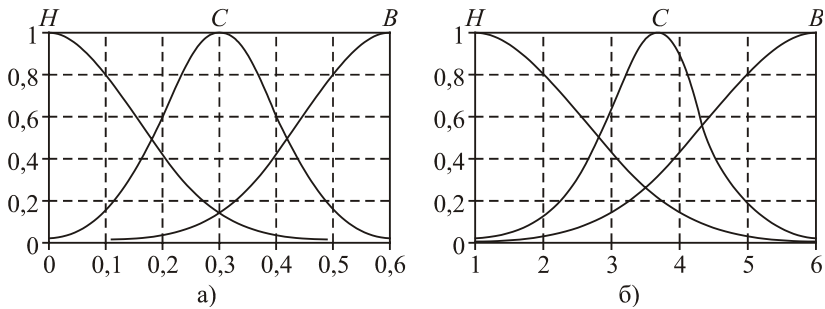


Рис. 4. Графіки функцій належності для лінгвістичних змінних  $X_{213}$ ,  $X_{223}$  (а) та  $U$  (б)

Етап 3 (Формування бази правил). Оскільки ми маємо досить значну кількість входних параметрів, що впливають на прийняття рішення, то доцільно використати проміжні нечіткі висновки. Це дозволить скоротити кількість умов в окремих нечітких правилах, а відтак спростить роботу із побудови бази знань. Тим паче, що у реальному житті нам для здійснення певних висновків зручніше спочатку з усієї множини фактів сформулювати проміжні умовиводи, а вже на їх основі — загальний висновок.

Таким чином, можна виділити такі підсистеми нечіткого висновку:  $f_1$  — визначення узагальненої ефективності ( $X_1$ );  $f_{21}$ ,  $f_{22}$  — визначення якості моделей прогнозування доходів і витрат ( $X_{21}$ ,  $X_{22}$ );  $f_2$  — визначення ризикованості прогнозу ( $X_2$ );  $f_U$  — визначення корисності ( $U$ ). Загальну схему здійснення нечітких висновків для визначення корисності проекту з урахуванням проміжних змінних представлено на рис. 5.

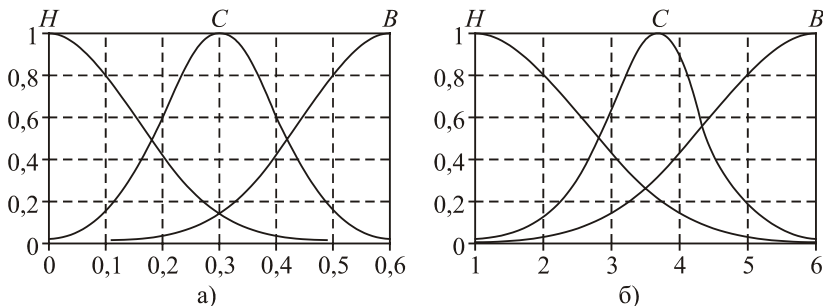


Рис. 5. Схема проведення нечіткого висновку щодо корисності проекту

На цій схемі відображено, яким чином розподіляються входи та виходи підсистем нечіткого висновку  $f_1$ ,  $f_{21}$ ,  $f_{22}$ ,  $f_2$ ,  $f_U$ . Наприк-

лад, входом підсистеми  $f_U$  є змінні  $X_1$  та  $X_2$ , а виходом —  $U$ . Таким чином, реалізація нечітких правил підсистеми  $f_U$  дозволяє на основі значень узагальненої ефективності та ризикованості прогнозу отримати значення корисності проекту.

У найпростішому випадку нечітке правило може бути записано у такій формі [11, с. 181]:

**ПРАВИЛО <#>:** ЯКЩО « $\beta_1 \in \alpha'$ », ТО « $\beta_2 \in \alpha''$ ».

У цьому правилі вираз « $\beta_1 \in \alpha'$ » представляє собою умову правила, а нечітке твердження « $\beta_2 \in \alpha''$ » — нечіткий вивід правила;  $\beta_1, \beta_2$  — лінгвістичні змінні,  $\alpha', \alpha''$  — їх терми. Правила можуть бути складнішими та містити операції «ТА» і «АБО» для поєднання різних умов.

Для підсистеми  $f_U$  може мати місце, наприклад, таке правило: «ЯКЩО *Узагальнена ефективність висока* ТА *Ризикованість прогнозу низька* ТО *Корисність додатна*». Тут «*Узагальнена ефективність*», «*Ризикованість прогнозу*», «*Корисність*» є лінгвістичними змінними, а «*висока*», «*низька*», «*додатна*» — їх термами.

Сукупність усіх нечітких правил становить базу знань, на основі якої і здійснюється нечіткий висновок. Опис усіх необхідних математичних процедур, що стосуються нечіткого висновку, можна знайти, наприклад, у [9].

Запропоновану базу знань для результируючого нечіткого висновку наведено у табл. 3.

Таблиця 3

**БАЗА ЗНАТЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОРИСНОСТІ ПРОЕКТУ**

Значення лінгвістичних змінних		Вага	Результуюча змінна
$X_1$	$X_2$	$w$	$U$
Н	×	$w_1^{BK}$	BK
С	В	$w_2^{BK}$	
В	В	$w_3^{BK}$	
С	Н	$w_1^{HK}$	HK
С	С	$w_2^{HK}$	
В	С	$w_3^{HK}$	
В	Н	$w_1^{DK}$	DK

Очевидно, що бази знань для різних ОПР можуть бути відмінними і залежати від їх уподобань.

Таким чином, для визначення корисності проекту на основі сформованої бази знань необхідно лише задати значення вхідних базових змінних. Водночас процес здійснення нечіткого висновку потребує безпосередніх зусиль від ОНР стосовно визначення вхідних параметрів, термів лінгвістичних змінних, їх функцій належності, формування бази правил. Тому вибір інвестиційного проекту з множини альтернативних варіантів не може бути повністю автоматизований, оскільки він у значній мірі спирається на суб'єктивні схильності ОНР.

### 3. Практична реалізація моделі

Розглянуто застосування запропонованої методики до інвестиційних проектів, що передбачають інвестування в реальний капітал 10 підприємств хлібопекарської галузі, для яких маємо фінансову звітність за 2002—2011 рр. (усю фінансову звітність узято із [12]). Інвестор планує вкласти відразу 1 млн грн, через рік — 500 тис. грн ( $I_0 = 1000$ ,  $I_1 = 500$ ). Проект розрахований на 6 років. Необхідно визначити підприємство, в яке найдоцільніше вкласти кошти.

Із конкретним виглядом моделей прогнозування доходів і витрат можна ознайомитись у [4, с. 163]. Для розрахунку показників за виразами (8)—(10) обрано значення ставки дисконтування  $r = 0,2$  та значення коефіцієнта схильності до ризику  $k = k_1 = k_2 = k_3 = 0,2$ .

Для реалізації нечіткого висновку використовувалось середовище MATLAB. Нечіткий висновок здійснювався за алгоритмом Мамдані із стандартними параметрами: оператори ТА і АБО реалізовувались через знаходження відповідно мінімуму та максимуму функції належності; імплікація здійснювалася за методом мінімуму; агрегація — за методом максимуму; дефазифікація — за методом центра тяжіння.

Результати проведених обчислень щодо розрахунку значень складових вектора (13), а також визначення корисності проекту на основі нечіткого логічного висновку наведено у табл. 4.

Як бачимо, інвестиційні проекти лише для двох підприємств (№ 1 і № 9) мають незначну додатну корисність, а отже, є доцільною їх реалізація. Для решти підприємств корисність реалізації проекту є від'ємною, що підтверджує незначну дохідність хлібопекарської галузі загалом, яка при врахуванні певних ризиків стає абсолютно непривабливою для інвестування.

Таблиця 4

## ОБЧИСЛЕНІ ЗНАЧЕННЯ ВХІДНИХ ТА ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ НЕЧІТКОГО ВИСНОВКУ

№	Назва підприємства	$IRR'$	$DPP'$	$PI'$	$R^2_{\gamma}$	$R^2_{\nu}$	$d_{\gamma}$	$d_{\nu}$	$RS_{\gamma}$	$RS_{\nu}$	$x_i$	$x_{2i}$	$x_2$	$u$
1	ПАТ «Овруцький хлібозавод»	36,0 %	4,25	1,67	0,80	0,74	1,90	1,92	2,77	2,63	5,46	5,82	4,00	0,43
2	ПАТ «Клівхліб»	531,1 %	4,16	-2,26	0,96	0,96	1,43	1,50	3,26	3,24	2,58	6,93	3,75	-3,40
3	ПрАТ «Черкаський комбінат хлібопродуктів»	0,5 %	9,63	-0,20	0,93	0,95	1,98	1,96	2,69	2,80	2,01	7,49	3,40	-4,61
4	ПАТ «Полтавський хлібокомбінат»	49,8 %	5,96	0,12	0,53	0,34	1,67	1,40	2,67	2,82	2,06	4,68	4,98	-4,51
5	ПАТ «Поліссяхліб»	0,0 %	10,00	-0,71	0,86	0,87	0,88	0,79	2,68	2,66	2,00	5,99	4,52	-4,62
6	ПрАТ «Дніпропетровський хлібозавод № 9»	-0,8 %	9,82	-0,83	0,96	0,96	1,30	1,28	2,92	2,92	2,00	7,46	3,27	-4,62
7	ПАТ «Запорізький хлібозавод №5»	56,8 %	5,59	-0,73	0,89	0,82	1,30	1,32	3,04	2,92	2,09	6,53	3,79	-4,46
8	ПАТ «Ніжинський хліб»	9,4 %	8,14	0,44	0,90	0,90	1,73	1,87	2,22	2,20	2,05	4,83	5,07	-4,54
9	ПАТ «Новоград-Волинський хлібозавод»	80,1 %	2,62	3,09	0,79	0,77	1,61	1,63	2,87	2,83	7,66	6,10	4,42	0,59
10	ПАТ «Сімферопольський комбінат хлібопродуктів»	0,2 %	9,82	-0,13	0,65	0,63	0,94	1,10	2,87	2,64	2,00	4,67	5,00	-4,62

Звичайно, решта підприємств, інвестиційні проекти для яких з-поміж інших мають більшу корисність, також можуть бути розглянуті. Проте прийняття остаточного рішення все ж потребує комплексного аналізу підприємства та його фінансового стану. Крім того, як зазначалося, на вибір інвестиційного проекту може впливати і експертний аналіз (експертні оцінки).

**Висновки.** Розроблено модель вибору інвестиційного проекту з множини альтернативних варіантів, що спирається на результати економетричного моделювання ефективності інвестування на основі щорічної фінансової звітності підприємства, в яке планується здійснити капіталовкладення, з урахуванням невизначеності. У якості показників, що впливають на корисність проекту, обрано міри показників ефективності, що враховують наявні ризики і ставлення до них з боку ОПР, та показники статистичної якості прогнозу.

Багатокритеріальна задача вибору інвестиційного проекту вирішується за допомогою нечітких висновків. Рішення щодо інвестування приймається на основі загальної корисності проекту.

Розглянута модель призначена для аналізу проектів, що передбачають капіталовкладення у вже існуючі підприємства для розширення їх виробництва. Модель також може бути корисною і в інших випадках за умови наявності прогнозу результатів реалізації проекту та здійснення деяких модифікацій.

На основі розробленої моделі був проведений аналіз ефективності реальних інвестицій у підприємства хлібопекарської галузі.

Подальший розвиток запропонованої методики може бути здійснений шляхом її програмної реалізації у комплексі з іншими засобами інвестиційного аналізу.

### **Література**

1. Вітлінський В. В., Великоіваненко Г. І. Ризикологія в економіці та підприємстві: Монографія. — К.: КНЕУ, 2004. — 480 с.
2. Вітлінський В. В. Урахування об'єктивно-суб'єктивної структури ризику в моделюванні економічних систем // Моделювання та інформаційні системи в економіці. — 2010. — Вип. 81. — С. 12—21.
3. Грін В. Економетричний аналіз / Пер. з англ. Р. Ткачука та А. Олійника. — К.: Основи, 2005. — 1107 с.
4. Долінський Л. Б., Піскунова О. В., Горкун О. О. Прогнозування ефективності та ризикованості реальних інвестицій на основі фінансової звітності підприємства // Моделювання та інформаційні системи в економіці. — 2012. — Вип. 87. — С. 150—166.
5. Заде Л. А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. / Математика сегодня (Сборник статей. Пер. с англ.). — М.: Знание, 1974.



6. Кини Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения — М.: Радио и связь, 1981. — 560 с.

7. Клебан Ю. В. Розробка моделі оцінки ефективності інвестицій із застосуванням нечіткої логіки // Моделювання та інформаційні системи в економіці. — 2011. — Вип. 84. — С. 149—161.

8. Кошечкин С. А. Концепция риска инвестиционного проекта. <http://www.cfin.ru/finanalysis/koshechkin.shtml>

9. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.

10. Нейман Дж. фон, Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. — М.: Наука, 1970. — 708 с.

11. Семененко М. Г., Лесина Т. В. Оценка эффективности инвестиционных проектов на основе нечеткой логики. [http://mas.exponenta.ru/literature/Sem\\_2.pdf](http://mas.exponenta.ru/literature/Sem_2.pdf)

12. Офіційний сайт Державної установи «Агентство з розвитку інфраструктури фондового ринку України». <http://www.smida.gov.ua>

Стаття надійшла до редакції 17.04.2013 р.