

О. С. Коцюба,
к. е. н., доцент, доцент кафедри стратегії підприємств, Київський національний
економічний університет імені Вадима Гетьмана

ВИБІР НАЙКРАЩОГО ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПРОЕКТУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ НА ОСНОВІ ВІДНОСНИХ ПОКАЗНИКІВ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ

О. Kotsyuba,
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of Business Strategy Chair,
Kyiv National Economic University named after Vadym Getman

SELECTING THE BEST INVESTMENT PROJECT UNDER UNCERTAINTY ON THE BASIS OF RELATIVE INDICATORS OF VARIABILITY

Велике значення в плануванні реальних інвестицій має якість інформаційно-аналітичної підтримки інвестиційних рішень, що приймаються. Нині в межах інвестиційного менеджменту пропонуються різні моделі оптимального вибору в сфері реальних інвестицій, починаючи від ситуації детермінованих вихідних даних, і завершуючи ситуаціями, коли початкові параметри аналізованих інвестиційних проектів описуються випадковими та нечіткими оцінками. В публікації досліджується інструментарій підтримки прийняття рішень щодо вибору оптимального інвестиційного проекту з множини альтернативних варіантів у ситуації ризику, спричиненого ймовірнісною невизначеністю вихідних даних. Розглянуто абсолютні показники міри ризику: дисперсію, середньоквадратичне відхилення, семіваріацію, семіквадратичне відхилення, семівідхилення. Проаналізовано кількісні показники міри ризику у відносному вираженні: коефіцієнт варіації, коефіцієнт семіваріації, коефіцієнт семівідхилення. Окремо розглянуто модифікації зазначених коефіцієнтів. На основі інструментарію модифікованих коефіцієнтів варіабельності сформульовано модель вибору найкращого інвестиційного проекту з множини альтернатив. Результати застосування моделі дають підстави констатувати її практичну спроможність.

The quality of information and analytical support of taken investment decisions has great importance when planning real investments. Now within the investment management are offered a variety of models of optimal choice in the field of real investment, starting from a situation of deterministic source data, and ending with situations where the initial parameters of the analyzed investment projects are described by random and fuzzy estimates. The paper examines the tools of decision support on the choice of optimal investment project from the variety of alternative options in a situation of risk, due to the probabilistic uncertainty of the source data. Absolute indicators of risk such as dispersion, semivariance, semideviation, and other were considered. Quantitative indicators of the degree of risk in relative terms such as coefficient of variation, coefficient of semivariation and semideviation coefficient were analyzed. The modifications of these coefficients were considered separately. On the basis of the tools modified by the coefficients of variability has been formulated the model to choose the best investment project from the set of alternatives. The results of applying the model give reasons to ascertain its practical viability.

Ключові слова: інвестиційний проект, невизначеність, ризик, сподіване значення, дисперсія, коефіцієнт варіації.

Key words: investment project, uncertainty, risk, expected value, variance, coefficient of variation.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Реальні інвестиції реалізують функції підтримання на належному рівні й розвитку операційної системи підприєм-

ства. Важливу роль щодо результативності реального інвестування відіграє якість обґрунтування інвестиційних рішень, які приймаються. Одна з ключових перешкод для ефектив-

ного здійснення цього завдання пов'язана з дестабілізуючим впливом фактору невизначеності та породженого нею ризику.

Альтернативність можливостей стосовно реального інвестування, яка є частковим проявом альтернативності використання економічних ресурсів й напрямів розвитку економічних систем, зумовлює те, що зазвичай проблема обґрунтування інвестиційного проекту постає як проблема вибору найкращого варіанта з деякої множини альтернативних інвестиційних проектів (варіантів проекту).

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На сьогоднішній проблемі вибору оптимального інвестиційного проекту в межах різних ситуацій щодо природи й градацій невизначеності параметрів економічного середовища присвячена велика кількість наукових праць. Як репрезентативні стосовно сучасного стану і тенденцій динаміки цього напрямку досліджень можна вказати роботи [1—3]. В них висвітлюються й пропонуються різні моделі оптимального вибору в сфері реальних інвестицій, починаючи від ситуації детермінованих початкових даних, і завершуючи ситуаціями, коли вихідні параметри аналізованих інвестиційних проектів описуються випадковими та нечіткими величинами. Незважаючи на ґрунтовні напрацювання за порушеною проблемою, її багатоаспектність, з одного боку, а також поява нових методів і показників для моделювання невизначеності та ризику, з другого боку, зумовлюють її відкритість для подальших продуктивних досліджень.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Отже, метою цієї роботи є розвиток інструментарію для підтримки прийняття рішення щодо вибору оптимального інвестиційного проекту з множини альтернативних варіантів в ситуації ризику внаслідок ймовірнісної (стохастичної) невизначеності вихідних даних.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

У системі абсолютних і відносних показників ступеня ризику одне з центральних місць належить показникам варіабельності, які втілюють міру ризику на основі оцінок ступеня мінливості (розсіяння, розкиду) результату (критеріального показника).

При вимірюванні ризику в абсолютному вираженні як класичний в межах зазначеного методологічного напрямку виступає дисперсійний підхід [1; 2; 4].

Змістовно дисперсія відображає ступінь розсіяння значень випадкової величини навколо її математичного сподівання. У формальному аспекті дисперсія (варіація) випадкової величини являє собою математичне сподівання квадрата відхилення цієї величини від її математичного сподівання (сподіваного значення), тобто розглядуваний показник розраховується за формулою:

$$V(X) = M[(X - M(X))^2] \quad (1)$$

де X — випадкова величина; $V(X)$ — дисперсія випадкової величини X ; $M(X)$ — математичне сподівання випадкової величини X .

Якщо добути арифметичний квадратний корінь з дисперсії, то в результаті цього буде отримано ще одну важливу характеристику міри розсіяння значень випадкової величини, відому під назвою середньоквадратичного (стандартного) відхилення:

$$\sigma(X) = \sqrt{V(X)} = \sqrt{M[(X - M(X))^2]} \quad (2)$$

де $\sigma(X)$ — середньоквадратичне відхилення випадкової величини X .

У разі оцінювання ризику в межах розглядуваного методологічного напрямку у відносному вираженні використовується коефіцієнт варіації [1; 2; 4], який являє собою відношення середньоквадратичного відхилення економічного показника до його сподіваного значення:

$$CV(X) = \frac{\sigma(X)}{M(X)} \quad (3)$$

де $CV(X)$ — коефіцієнт варіації випадкової величини X .

У формулі (3) передбачається, що економічний показник (чи його характеристика), який описується випадковою величиною X , має додатний (позитивний) інгредієнт ($X = X^+$). Нагадаємо [1; 2; 4], що економічний показник (або його характеристика) має додатний інгредієнт, якщо в межах проблемної ситуації, яка підлягає вирішенню, він оптимізується в напрямі максимуму (формально цей факт фіксується рівністю: $X = X^+$). Якщо ж бажаним є мінімальне значення показника, то це означає, що він має від'ємний (негативний) інгредієнт (в цьому разі пишуть: $X = X^-$).

Розрахункова схема, відображена у формулі (3), припускає тлумачення коефіцієнта варіації як міри розсіяння, тобто величини ризику відхилень, значень економічного показника (критерію), що припадає на одиницю його сподіваного рівня. При цьому передбачається, що аналізований економічний показник оптимізується в напрямі максимуму ($X = X^+$). Чим меншою є величина $CV(X)$ для проекту, тим меншим питомим (відносним) ризиком він обтяжений, тобто коефіцієнт варіації має негативний інгредієнт ($CV(X^+) = CV^-(X^+)$).

У межах наукової школи проф. В.В. Вітлінського набув розвитку узагальнений підхід до вимірювання ризику за допомогою абсолютних і відносних показників варіабельності, за якого [1; 2; 4]:

1) як центр групування значень досліджуваного економічного показника (критерію) окрім математичного сподівання може прийматися мода ($Mo(X)$), медіана ($Me(X)$), зважене середньогометричне ($G(X)$), нормативний рівень ($Z_F(X)$), яким може бути задане зацікавленою особою (суб'єктом прийняття рішення, експертом) якесь цільове або порогове (критичне) значення. В подальшому викладенні позначатимемо довільний центр групування з наведених його варіантів через Z , $Z = Z(X)$;

2) поряд з використанням показників, які ґрунтуються на однаковому трактуванні додатних і від'ємних відхилень значень аналізованого економічного показника відносно центра групування, великий акцент робиться на показниках варіабельності, які враховують лише несприятливі (небажані) відхилення, що можуть бути як в менший, так і в більший бік від обраної бази, залежно від знака інгредієнта розглядуваного критерію.

У системі окресленої вище методології представлені раніше вимірники ступеня ризику на основі абсолютних показників варіабельності доповнюються показниками, які спираються на припущення, що ризик передусім визначається несприятливими для суб'єкта економічної діяльності ефектами, й відповідно до цього, враховують лише несприятливі відхилення від обраної бази Z . Це семіваріація й семіквадратичне відхилення.

Для дискретної випадкової величини семіваріацію слід обчислювати за формулою [1, с. 94—95]:

$$SV_Z(X) = \sum_{j=1}^m \gamma_j p_j (x_j - Z(X))^2 \quad (4)$$

$$\gamma_j = \begin{cases} 0, & \text{у разі сприятливого відхилення відносно } Z \\ 1, & \text{у разі несприятливого відхилення відносно } Z^+, \quad j = \overline{1, m} \end{cases} \quad (5)$$

де $SV_Z(X)$ — семіваріація випадкової величини X відносно центра групування Z ; m — кількість значень випадкової величини X ; γ_j — індикатор несприятливих відхилень значень випадкової величини X від бази співставлення Z ; x_j —

значення випадкової величини; P_j — ймовірність реалізації значення x_j в межах випадкової величини X .

Якщо конкретизувати значення знака інгредієнта економічного показника, то формула індикатора несприятливих відхилень набуде вигляду [1, с. 95]:

$$\text{для } X = X^+; \gamma_j = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x_j \geq Z \\ 1, & \text{якщо } x_j < Z \end{cases}; \text{ для } X = X^-; \gamma_j = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x_j \leq Z \\ 1, & \text{якщо } x_j > Z \end{cases} \quad (6-7).$$

З урахуванням потреби у вимірності ризикових відхилень економічних показників поряд з семіваріацією звертаються до семіквадратичного відхилення (SSV_z), яке обчислюється як арифметичний квадратний корінь з семіваріації [1, с. 95]:

$$SSV_z(X) = \sqrt{SV_z(X)} \quad (8).$$

Згідно з співвідношеннями (4—5) семіваріація відображає зважену суму квадратів несприятливих відхилень в межах повного діапазону відхилень. У цьому контексті у працях [1; 4] пропонується модифікована семіваріація (MSV_z), яка являє собою суму квадратів несприятливих відхилень, зважену (нормовану) на множині лише несприятливих значень аналізованого економічного показника (див. з цього приводу також [5]). Формула для її обчислення має вигляд [1, с. 96]:

$$MSV_z(X) = \frac{1}{P_z^-} SV_z(X) \quad (9).$$

Параметр P_z^- у формулі (9) виражає співвідношення [1, с. 96]:

$$P_z^- = \sum_{j=1}^m \gamma_j p_j \quad (10).$$

Добування арифметичного квадратного кореня з модифікованої семіваріації дозволяє одержати модифіковане семіквадратичне відхилення ($MSSV_z$) (стосовно його прототипу див. [5, с. 68]):

$$MSSV_z(X) = \sqrt{MSV_z(X)} \quad (11).$$

Аналогічний до семіквадратичного відхилення аналітичний потенціал має показник семівідхилення (семідевіації) [6], який можна подати формулою.

У разі дискретного представлення випадкової величини:

$$SeD_z(X) = \begin{cases} \sum_{j=1}^m \gamma_j p_j (Z(X) - x_j), & \text{якщо } X = X^+ \\ \sum_{j=1}^m \gamma_j p_j (x_j - Z(X)), & \text{якщо } X = X^- \end{cases} \quad (12),$$

де $SeD_z(X)$ — семівідхилення значень випадкової величини X відносно Z .

У ситуації неперервної випадкової величини:

$$SeD_z(X) = \begin{cases} \int_Z^Z (Z(X) - x) f(x) dx, & \text{якщо } X = X^+ \\ \int_{-\infty}^{+\infty} (x - Z(X)) f(x) dx, & \text{якщо } X = X^- \end{cases} \quad (13),$$

де x — значення випадкової величини X ; $f(x)$ — щільність ймовірності випадкової величини X в точці x .

Так само, як і в разі семіваріації, можна сформулювати модифіковане семівідхилення ($MSeD_z$):

$$MSeD_z(X) = \frac{1}{P_z^-} SeD_z(X) \quad (14).$$

Для неперервної ситуації параметр P_z^- слід обчислювати за допомогою співвідношень: $P_z^- = \int_{-\infty}^Z f(x) dx$, якщо $X = X^+$,

і $P_z^- = \int_Z^{+\infty} f(x) dx$, якщо $X = X^-$.

Оцінки ступеня ризику на основі розглянутих вище показників у відносному вираженні реалізуються у коефіцієн-

тах семіваріації (CSV_z) [2, с. 172], модифікованої семіваріації ($CMSV_z$) (стосовно його прототипу див. [5, с. 76]), а також семівідхилення ($CSeD_z$) і модифікованого семівідхилення ($CMSeD_z$):

$$CSV_z(X) = \frac{SSV_z(X)}{Z(X)}, \quad CMSV_z(X) = \frac{MSSV_z(X)}{Z(X)} \quad (15-16),$$

$$CSeD_z(X) = \frac{SeD_z(X)}{Z(X)}, \quad CMSeD_z(X) = \frac{MSeD_z(X)}{Z(X)} \quad (17-18).$$

Як і в разі коефіцієнта варіації, застосування наведених відносних показників варіабельності обмежується економічними показниками з позитивним інгредієнтом ($X = X^+$).

У роботах [1; 4] пропонується модифікації коефіцієнтів варіації (CV_m^z) та семіваріації (CSV_m^z), розрахункові вирази яких в узагальненій версії можна подати в такий спосіб:

$$CV_m^z(X) = \begin{cases} \frac{\sigma_z(X)}{Z(X) - Z_0}, & \text{якщо } X = X^+ \\ \frac{\sigma_z(X)}{Z_0 - Z(X)}, & \text{якщо } X = X^- \end{cases},$$

$$CSV_m^z(X) = \begin{cases} \frac{SSV_z(X)}{Z(X) - Z_0}, & \text{якщо } X = X^+ \\ \frac{SSV_z(X)}{Z_0 - Z(X)}, & \text{якщо } X = X^- \end{cases}, \quad (19-20),$$

де Z_0 — фіксоване (порогове) значення економічного показника.

У формулах (19—20) передбачається, що $Z(X) > Z_0$ для $X = X^+$ і $Z_0 > Z(X)$ для $X = X^-$. Модифіковані коефіцієнти варіації та семіваріації (в межах узагальненої версії) позбавлені обмеження щодо знака інгредієнта економічного показника, яким обтяжені їх прототипи. Репрезентовані показники припускають таку економічну інтерпретацію: це величина ризику, що припадає на одиницю приросту (для $X = X^+$) або економії (для $X = X^-$) міри результативності (ефективності) даного рішення (альтернативи). Варто також додати, що розглядувані коефіцієнти мають негативний інгредієнт.

Аналогічно до представленого можна сформулювати модифікацію коефіцієнта семівідхилення ($CSeD_m^z$), а також модифікації коефіцієнтів модифікованої семіваріації ($CMSV_m^z$) і модифікованого семівідхилення ($CMSeD_m^z$):

$$CSeD_m^z(X) = \begin{cases} \frac{SeD_z(X)}{Z(X) - Z_0}, & \text{якщо } X = X^+ \\ \frac{SeD_z(X)}{Z_0 - Z(X)}, & \text{якщо } X = X^- \end{cases} \quad (21),$$

$$CMSV_m^z(X) = \begin{cases} \frac{MSSV_z(X)}{Z(X) - Z_0}, & \text{якщо } X = X^+ \\ \frac{MSSV_z(X)}{Z_0 - Z(X)}, & \text{якщо } X = X^- \end{cases}$$

$$CMSeD_m^z(X) = \begin{cases} \frac{MSeD_z(X)}{Z(X) - Z_0}, & \text{якщо } X = X^+ \\ \frac{MSeD_z(X)}{Z_0 - Z(X)}, & \text{якщо } X = X^- \end{cases} \quad (22-23).$$

Як і в разі попередніх модифікацій наведені коефіцієнти мають негативний інгредієнт.

У межах безпосереднього аналізу задачі вибору найкращого інвестиційного проекту на основі відносних показників варіабельності, що проводиться нижче, обмежимося використанням центрів групування можливих значень критеріального економічного показника (показників), які визначаються на об'єктивній основі: $M(X)$, $Mo(X)$, $Me(X)$, $G(X)$. Тобто порівняно з попереднім аналізом з розгляду в ролі центра групування виключається нормативний рівень ($Z_f(X)$) критеріального економічного показника (показ-

ників). Позначатимемо довільний центр групування з наведеного скороченого набору через Z^* , $Z^* = Z^*(X)$. Також для потреб подальшого дослідження серед представлених вище відносних показників (коефіцієнтів) варіабельності як базовим аналітичним засобом скористаємося інструментарієм їх модифікованих версій, враховуючи універсальність останніх стосовно знака інгредієнта критеріального економічного показника (показників), за яким вони знаходяться. Введемо для модифікованих коефіцієнтів варіабельності узагальнене позначення: MCV_{Z^*} , $MCV_{Z^*} = MCV_{Z^*}(X)$, $MCV_{Z^*} \in \{CV_m^{Z^*}, CSV_m^{Z^*}, CSeD_m^{Z^*}, CMSV_m^{Z^*}, CMSeD_m^{Z^*}\}$.

Отже, ґрунтуючись на апараті модифікованих коефіцієнтів варіабельності, спробуємо сформулювати модель раціонального вибору інвестиційного проекту з множини альтернатив. Спочатку зафіксуємо вихідну умову досліджуваної задачі.

Нехай суб'єкт економічної діяльності розглядає сукупність з n інвестиційних проектів (варіантів проекту), з яких може або має бути реалізований лише один. Початкові кількісні параметри інвестиційних проектів описуються випадковими величинами. Потрібно вибрати найкращий інвестиційний проект з наявних альтернатив.

Згідно з сучасною методологією інвестиційного менеджменту оцінювання економічної привабливості (ефективності) інвестиційного проекту в загальному випадку ґрунтується на аналізі набору показників (часткових критеріїв), які розраховуються на основі його грошових потоків і відображають економічний ефект, доходність, термін окупності проекту, що визначаються як в статистиці (без процедури дисконтування), так і в динаміці (з дисконтуванням). Відповідно до цього, задача визначення найкращої інвестиційної альтернативи являє собою задачу з багатьма критеріями, що має ієрархічну структуру з домінантним видом ієрархії.

Виходячи із викладеного, структура задач оптимального інвестиційного вибору в ситуації ймовірнісної (стохастичної) невизначеності вихідних даних в межах використання модифікованих коефіцієнтів варіабельності може бути подана в такий спосіб:

Рівень 0: $RP_i, i = \overline{1, n}$ — узагальнений (інтегрований) критерій ризикованості (питомого ризику) i -го інвестиційного проекту з ймовірнісними даними. Символом n позначено число проектів у сукупності, з якої здійснюється остаточний вибір найкращого проекту.

Рівень 1: $MCV_{Z^*}(X_{li}), l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n}$ — модифікований коефіцієнт варіабельності відносно Z^* випадкової величини l -го часткового критерію привабливості i -го інвестиційного проекту ($MCV_{Z^*} \in \{CV_m^{Z^*}, CSV_m^{Z^*}, CSeD_m^{Z^*}, CMSV_m^{Z^*}, CMSeD_m^{Z^*}\}$). Символом L позначено число часткових критеріїв, за допомогою яких здійснюється вибір інвестиційного проекту.

Рівень 2: $AV_{Z^*}(X_{li}), l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n}$ — абсолютний показник варіабельності відносно Z^* випадкової величини i -го часткового критерію привабливості l -го інвестиційного проекту, на якому ґрунтується відповідний модифікований коефіцієнт варіабельності $MCV_{Z^*}(X_{li})$, тобто це чисельник даного коефіцієнта ($AV_{Z^*} \in \{\sigma_{Z^*}, SSV_{Z^*}, SeD_{Z^*}, MSSV_{Z^*}, MSeD_{Z^*}\}$); $Z^*(X_{li}), l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n}$ — центр групування значень випадкової величини l -го часткового критерію привабливості i -го інвестиційного проекту ($Z^* \in \{M, Mo, Me, G\}$).

ґрунтуючись на представленій структурі, можна сформулювати модель вибору інвестиційного проекту, яка передбачає виконання таких кроків:

1. Спочатку на основі заданих у ймовірнісній формі вихідних фінансово-економічних параметрів інвестиційних проектів первинної сукупності визначаються випадкові величини їх результуючих оціночних (критеріальних) показ-

ників: $X_{li}, l = \overline{1, L}, q = \overline{1, Q}$, де Q — кількість проектів у початковій сукупності.

2. Для знайдених на попередньому кроці випадкових величин критеріальних показників $X_{li}, l = \overline{1, L}, q = \overline{1, Q}$ визначаються їх центри групування $Z^*(X_{li}), l = \overline{1, L}, q = \overline{1, Q}$. З вихідної множини інвестиційних альтернатив виключаються проекти, для яких зазначені центри групування не відповідають заданим суб'єктом прийняття рішення нормативам. Після цього залишається сукупність проектів, на основі якої має здійснюватися остаточний вибір найкращого проекту (називатимемо її релевантною). Таким чином, для інвестиційних проектів релевантної сукупності (множини) виконується умова: $Z^*(X_{li}) \geq Z_F^{(i)}$, якщо $X_{li} = X_{li}^+$, $i Z^*(X_{li}) \leq Z_F^{(i)}$, якщо $X_{li} = X_{li}^-$, $l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n}$, де $Z_F^{(i)}$ — нормативний рівень (норматив) для l -го часткового критерію привабливості реальних інвестицій. З міркувань зручності подальшого викладення перенумеруємо інвестиційні проекти релевантної множини, припустивши, що $X_{li} = X_{li}, i = \overline{1, n}$.

3. Для випадкових величин показників ефективності проектів в межах релевантної сукупності $X_{li}, l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n}$ визначаються абсолютні показники варіабельності $AV_{Z^*}(X_{li}), l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n}$, які відповідають обраному суб'єктом прийняття рішення варіанту модифікованого коефіцієнта варіабельності.

4. На основі знайдених раніше аналітичних характеристик для часткових критеріїв привабливості проектів релевантної множини розраховуються значення заданого суб'єктом прийняття рішення модифікованого коефіцієнта варіабельності $MCV_{Z^*}(X_{li}), l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n}$. Відповідні розрахункові формули мають вигляд:

$$MCV_{Z^*}(X_{li}) = \begin{cases} \frac{AV_{Z^*}(X_{li})}{Z^*(X_{li}) - Z_0^{(i)}}, \text{ якщо } X_{li} = X_{li}^+ \\ \frac{AV_{Z^*}(X_{li})}{Z_0^{(i)} - Z^*(X_{li})}, \text{ якщо } X_{li} = X_{li}^- \end{cases}, l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n} \quad (24);$$

$$Z_0^{(i)} = \begin{cases} \min\{Z^*(X_{li}) - AV_{Z^*}(X_{li}) | i = \overline{1, n}\}, \text{ якщо } X_{li} = X_{li}^+ \\ \max\{Z^*(X_{li}) + AV_{Z^*}(X_{li}) | i = \overline{1, n}\}, \text{ якщо } X_{li} = X_{li}^- \end{cases}, l = \overline{1, L} \quad (25).$$

Для значень модифікованого коефіцієнта варіабельності, знайдених на основі розрахункових співвідношень (24—25), справедливе наступне:

$$MCV_{Z^*}(X_{li}) \in \left[\min_{i=\overline{1, n}} MCV_{Z^*}(X_{li}), \max_{i=\overline{1, n}} MCV_{Z^*}(X_{li}) \right] =$$

$$= \left[\min_{l=\overline{1, L}} MCV_{Z^*}(X_{li}), 1 \right] \in [0, 1],$$

$$l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n}.$$

5. У загальному випадку різні часткові критерії привабливості інвестицій мають різну важливість або пріоритетність, що може враховуватися за допомогою вагових коефіцієнтів. Вагові коефіцієнти можуть бути визначені за допомогою різних методів. Поряд з іншими доцільно використовувати підхід, запропонований П.С. Фішберном [1; 7]. Його суть полягає у встановленні вагових коефіцієнтів, виходячи з системи співвідношень (ряду пріоритету), яка у якісній формі відображає взаємну перевагу або пріоритетність між об'єктами, що підлягають зважуванню.

6. На основі значень модифікованих коефіцієнтів варіабельності $MCV_{Z^*}(X_{li}), l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n}$, з урахуванням, за допомогою вагових коефіцієнтів, різної взаємної пріоритетності часткових критеріїв привабливості інвестицій, для кожного проекту релевантної множини інвестиційних альтернатив знаходиться узагальнений (інтегрований) критерій його

ризикованості ($RP_i, i = \overline{1, n}$). Якщо використати адитивну згортку, то вираз для визначення даного показника можна подати у вигляді:

$$RP_i = \sum_{l=1}^L a_l MCV_{Z^*}(X_{li}), i = \overline{1, n} \quad (26),$$

де a_l — ваговий коефіцієнт для l -го часткового критерію привабливості реальних інвестицій ($0 \leq a_l \leq 1, \sum_{l=1}^L a_l = 1$).

Найкращим серед аналізованих проектів слід вважати проект, для якого узагальнений критерій ризикованості набуває найменшого значення, при цьому $RP_i \in [0, 1], i = \overline{1, n}$.

Розглянемо застосування репрезентованої моделі на конкретних даних, взявши за основу практичну ситуацію, наведену в [8].

Проводиться тендер на спорудження терміналу біля м. N в країні M. Умовою тендеру є будівництво терміналу за час від 3 до 5 років. Три компанії, A, B і C, надали свої проекти зі своїми кошторисами та строками будівництва. Строки будівництва залежать від обставин, які мають випадковий характер. Відомі ймовірності настання цих обставин. Зазначені параметри відображені у таблиці 1.

Використовуючи відомості, що наведені в таблиці 1, а також враховуючи, що кожного місяця країна M через відсутність терміналу несе збитки в розмірі 40 000 дол., потрібно вибрати оптимальний проект (для країни M).

Зважаючи на демонстраційний характер запропонованої до розгляду ситуації, припустимо, що витрати на будівництво здійснюються одноразово. З цих же міркувань обмежимося її аналізом без врахування зміни вартості грошей у часі.

Як видно з таблиці 1, для всіх тендерних пропозицій дотримано вимогу щодо строку будівництва в межах часового проміжку від 3-х до 5-х років. Тобто всі вони підлягають подальшій оцінці.

Умова представленої проблемної ситуації припускає її розгляд як однокритеріальної, з використанням як критерію економічної привабливості проекту спорудження терміналу показника сукупних (сумарних) релевантних витрат (C_c), які складаються з витрат на будівництво (C_b) та збитків, зумовлених відсутністю терміналу протягом періоду його будівництва ($C_{зб}$). Зазначений критеріальний показник має негативний інгредієнт ($C_c = C_c^-$).

Проведемо порівняльний аналіз альтернативних проектів на основі модифікованого коефіцієнта варіації, обравши як центр групування значень сукупних релевантних витрат окремого інвестиційного проекту їх математичне сподівання. Результати розрахунку зазначеного коефіцієнта для порівнюваних альтернатив репрезентує таблиця 2.

У таблиці 2 використовуються такі умовні позначення: $M(C_c^0)$ — сподіване значення сукупних релевантних витрат для θ -го проекту; $\sigma(C_c^0)$ — середньоквадратичне відхилення випадкової величини сукупних релевантних витрат для θ -го проекту; Z_0 — порогове значення сукупних релевантних витрат щодо спорудження терміналу; $CSV_m(C_c^0)$ — модифікований коефіцієнт варіації сукупних релевантних витрат для θ -го проекту.

Згідно з даними таблиці 2 найбільш привабливим серед запропонованих є проект будівництва терміналу, що належить компанії C, для якого модифікований коефіцієнт варіації сукупних релевантних витрат набуває найменшого значення — 0,752, в той час як для пропозицій, поданих на тендер компаніями A і B, цей показник є вищим і становить відповідно 1,000 та 0,899.

До такого самого результату призводить порівняння розглядуваних альтернативних проектів на основі модифікованого коефіцієнта семіваріації з використанням моди як центра групування сукупних релевантних витрат. Значення

Таблиця 1. Економічні параметри альтернативних варіантів будівництва терміналу

Компанія і вартість будівництва, дол.	Строк будівництва	Ймовірність
A, 3 400 000	3 роки	0,5
	3 роки і 3 місяця	0,3
	3 роки і 6 місяців	0,2
B, 2 930 000	3 роки і 2 місяця	0,3
	4 роки	0,5
	4 роки і 5 місяців	0,2
C, 2 550 000	4 роки	0,1
	4 роки і 6 місяців	0,4
	5 років	0,5

даного коефіцієнта для тендерних пропозицій A, B і C дорівнює відповідно 1,000, 0,772 та 0,000. Тобто в цьому разі перевага проекту C над іншими проектами виявляється істотно більшою, ніж за попереднього підходу (зацікавленому читачеві ми пропонуємо здійснити аналіз структури цього факту).

Запропонована модель може бути адаптована для ситуації, коли поряд з вимогою мінімального питомого ризику для часткових критеріїв привабливості (ефективності) інвестицій, з урахуванням встановлених для них нормативів, суб'єкт прийняття рішення прагне максимізувати загальний економічний ефект (ефективність) від реалізації інвестиційного проекту. В даному разі інтегрований критерій для вибору найкращого варіанта реального інвестування може бути поданий в такий спосіб (без зниження рівня загальності в межах формулювання зазначеного інтегрованого показника як міра ризику використовується семіквадратичне відхилення й відповідно модифікований коефіцієнт семіваріації, при цьому припускається, що випадкові величини часткових критеріїв ефективності інвестицій мають дискретну форму представлення):

$$SP_i = \sum_{l=1}^L a_l (b_{l1} {}^H Z^*(X_{li}) + b_{l2} {}^H CSV_m^{Z^*}(X_{li})), i = \overline{1, n} \quad (27);$$

$${}^H Z^*(X_{li}) = \begin{cases} \frac{Z^*(X_{li}) - Z_{\min l}}{Z_{\max l} - Z_{\min l}}, & \text{якщо } X_{li} = X_{li}^+ \\ \frac{Z_{\max l} - Z^*(X_{li})}{Z_{\max l} - Z_{\min l}}, & \text{якщо } X_{li} = X_{li}^- \end{cases}$$

$${}^H CSV_m^{Z^*}(X_{li}) = 1 - CSV_m^{Z^*}(X_{li}) \quad (28—29);$$

$$l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n},$$

$$Z_{\min l} = \min\{Z^*(X_{li}) - SSV_{Z^*}^{(-)}(X_{li}) \mid i = \overline{1, n}\},$$

$$Z_{\max l} = \max\{Z^*(X_{li}) + SSV_{Z^*}^{(+)}(X_{li}) \mid i = \overline{1, n}\} \quad (30—31);$$

$$l = \overline{1, L},$$

$$SSV_{Z^*}^{(-)}(X_{li}) = \sqrt{\sum_{j=1}^{m_j} \alpha_{li}^{(j)} P_{li}^{(j)} (x_{li}^{(j)} - Z^*(X_{li}))^2},$$

$$SSV_{Z^*}^{(+)}(X_{li}) = \sqrt{\sum_{j=1}^{m_j} \beta_{li}^{(j)} P_{li}^{(j)} (x_{li}^{(j)} - Z^*(X_{li}))^2} \quad (32—33);$$

$$l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n},$$

$$\alpha_{li}^{(j)} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x_{li}^{(j)} \geq Z^*(X_{li}) \\ 1, & \text{якщо } x_{li}^{(j)} < Z^*(X_{li}) \end{cases}, \beta_{li}^{(j)} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x_{li}^{(j)} \leq Z^*(X_{li}) \\ 1, & \text{якщо } x_{li}^{(j)} > Z^*(X_{li}) \end{cases} \quad (34—35);$$

$$l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_{li}},$$

$$CSV_m^{Z^*}(X_{li}) = \begin{cases} \frac{SSV_{Z^*}^{(-)}(X_{li})}{Z^*(X_{li}) - Z_0^{(i)}}, & \text{якщо } X_{li} = X_{li}^+ \\ \frac{SSV_{Z^*}^{(+)}(X_{li})}{Z_0^{(i)} - Z^*(X_{li})}, & \text{якщо } X_{li} = X_{li}^-, l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n} \end{cases} \quad (36);$$

Таблиця 2. Результати розрахунку модифікованого коефіцієнта варіації для альтернативних проектів спорудження терміналу

Компанія	$M(C_c^\theta), \theta = A, B, C$	$\sigma(C_c^\theta), \theta = A, B, C$	$M(C_c^\theta) + \sigma(C_c^\theta), \theta = A, B, C$	$Z_0 - M(C_c^\theta), \theta = A, B, C$	$CV_m(C_c^\theta), \theta = A, B, C$
A	4 924 000	93 723,00	5 017 723,00	93 723	1,000
B	4 770 000	222 710,57	4 992 710,57	247 723	0,899
C	4 806 000	159 197,99	4 965 197,99	211 723	0,752
Z_0	-	-	5 017 723,00	-	-

$$Z_0^{(l)} = \begin{cases} \min\{Z^*(X_{li}) - SSV_{Z^*}(X_{li}) \mid i = \overline{1, n}\}, \text{ якщо } X_{li} = X_{li}^+ \\ \max\{Z^*(X_{li}) + SSV_{Z^*}(X_{li}) \mid i = \overline{1, n}\}, \text{ якщо } X_{li} = X_{li}^- \end{cases} = \begin{cases} Z_{\min l}, \text{ якщо } X_{li} = X_{li}^+ \\ Z_{\max l}, \text{ якщо } X_{li} = X_{li}^- \end{cases} \quad (37);$$

$$l = \overline{1, L},$$

де SP_i — узагальнений (інтегрований) критерій привабливості (ефективності) i -го інвестиційного проекту; $CSV_m^{Z^*}(X_{li}), SSV_{Z^*}(X_{li})$ — значення відповідно модифікованого коефіцієнта семіваріації і семіквадратичного відхилення для випадкової величини l -го часткового критерію привабливості i -го інвестиційного проекту; ${}^H CSV_m^{Z^*}(X_{li}), {}^H Z^*(X_{li})$ — нормалізоване значення відповідно модифікованого коефіцієнта семіваріації і центра групування для випадкової величини l -го часткового критерію привабливості i -го інвестиційного проекту; $SSV_{Z^*}^{(-)}(X_{li}), SSV_{Z^*}^{(+)}(X_{li})$ — відповідно від'ємне (негативне) і додатне (позитивне) семіквадратичне відхилення [9] випадкової величини l -го часткового критерію привабливості i -го інвестиційного проекту відносно центра групування $Z^*(X_{li})$; b_{l1}, b_{l2} — ваговий коефіцієнт для відповідно центра групування і модифікованого коефіцієнта семіваріації в межах l -го часткового критерію привабливості реальних інвестицій ($0 \leq b_{l1} \leq 1, 0 \leq b_{l2} \leq 1, b_{l1} + b_{l2} = 1$); $\alpha_{li}^{(j)}, \beta_{li}^{(j)}$ — індикатор відповідно від'ємних і додатних відхилень значень випадкової величини l -го часткового критерію привабливості i -го інвестиційного проекту від бази співставлення $Z^*(X_{li})$; $x_{li}^{(j)}$ — значення випадкової величини l -го часткового критерію привабливості i -го інвестиційного проекту; $p_{li}^{(j)}$ — ймовірність реалізації значення $x_{li}^{(j)}$ в межах випадкової величини X_{li} ; m_{li} — кількість значень випадкової величини X_{li} .

Найкращим серед порівнюваних проектів слід вважати проект, для якого узагальнений критерій привабливості набуває найбільшого значення, при цьому $SP_i \in [0, 1], i = \overline{1, n}$.

ВИСНОВКИ

У цілому результати представленого дослідження дають підстави констатувати, що нині апарат ризикології містить в своєму складі арсенал інструментальних засобів, які дозволяють здійснювати обґрунтовану аналітичну підтримку прийняття рішення в тій чи іншій ситуації інвестиційного проектування, обтяженій невизначеністю вихідних даних. Разом з тим складність та багатаспектність феноменів невизначеності та ризику, як в цілому, так і стосовно задач інвестиційного менеджменту, визначають потребу в подальших наукових розвідках за зазначеною проблематикою. При цьому як одне з найбільш актуальних слід розцінювати завдання формування цілісної методології економічного аналізу реальних інвестицій в умовах невизначеності і зумовленою нею ризику.

Література:

1. Економічний ризик: ігрові моделі: навч. посібник / [В.В. Вітлінський, П.І. Верченко, А.В. Сігал, Я.С. Наконечний]; ред. В.В. Вітлінський. — К.: КНЕУ, 2002. — 446 с.
2. Вітлінський В.В. Ризикологія в економіці та підприємстві: монографія / В.В. Вітлінський, Г.І. Великоіваненко. — К.: КНЕУ, 2004. — 480 с.
3. Гареев Т.Ф. Формирование комплексной оценки инноваций на основе нечетко-интервальных описаний: дис... канд. экон. наук: спец. 08.00.05 / Гареев Тимур Фанилович. — Казань, 2009. — 268 с.
4. Верченко П.І. Багатокритеріальність і динаміка економічного ризику (моделі та методи): монографія / П.І. Верченко. — К.: КНЕУ, 2006. — 272 с.
5. Вітлінський В.В. Аналіз, моделювання та управління економічним ризиком: навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц. / В.В. Вітлінський, П.І. Верченко. — К.: КНЕУ, 2000. — 292 с.
6. Подиновский В.В. Среднее полуотклонение как информация для принятия решений в условиях риска / В.В. Подиновский // Научно-техническая информация. — Серия 2: Информационные процессы и системы. — № 5. — 2006. — С. 26—30.
7. Фишберн П.С. Теория полезности для принятия решений / П.С. Фишберн. — М.: Наука, 1978. — 352 с.
8. Ризикологія: навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисц. / П.І. Верченко, Г.І. Великоіваненко, Н.В. Демчук [та ін.]. — К.: КНЕУ, 2006. — 176 с.
9. Пернарівський О.В. Моделювання ризику в кредитній політиці комерційного банку: автореф. дис... канд. экон. наук: 08.03.02 / Пернарівський Олександр Васильович. — К., 1999. — 19 с.

References:

1. Vitlins'kyj, V.V. Verchenko, P.I. Sihal, A.V. and Nakonechnyj, Ya.S. (2002), Ekonomichnyj ryzyk: ihrovi modeli [Economic risk: game models], KNEU, Kyiv, Ukraine.
 2. Vitlins'kyj, V.V. and Velykoivanenko, G.I. (2004), Ryzkolohiia v ekonomitsi ta pidpriemnytstvi [Riskology in economics and entrepreneurship], KNEU, Kyiv, Ukraine.
 3. Gareev, T.F. (2009), "Complex estimation of innovation based on fuzzy interval descriptions", Abstract of Ph.D. dissertation, Economic Governance at national level, Kazan State Technological University, Kazan, Russia.
 4. Verchenko, P.I. (2006), Bahatokryterial'nist' i dynamika ekonomichnoho ryzyku (modeli ta metody) [Multicriteria and dynamics of economic risk (models and methods)], KNEU, Kyiv, Ukraine.
 5. Vitlins'kyj, V.V. and Verchenko, P.I. (2000), Analiz, modeliuвання ta upravlinnia ekonomichnym ryzykom [Analysis, modeling and management of economic risk], KNEU, Kyiv, Ukraine.
 6. Podinovskij, V.V. (2006), "The average semideviation as the information for decision-making under risk", Nauchno-tehnicheskaja informacija, Series 2: Informacionnye processy i sistema, № 5, pp. 26—30.
 7. Fishbern, P.S. (1978), Teorija poleznosti dlja prinjatija reshenij [Utility theory for decision making], Nauka, Moscow, USSR.
 8. Verchenko, P.I. Velykoivanenko, G.I. Demchuk, N.V. Kompanichenko, O. S. and Shatars'ka, I. F. (2006), Ryzkolohiia [Riskology], KNEU, Kyiv, Ukraine.
 9. Pernarivs'kyj, O.V. (1999), "Risk modelling for credit policy of commercial bank", Ph.D. Thesis, Economics and math, Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, Kyiv, Ukraine.
- Стаття надійшла до редакції 23.05.2016 р.