

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА РИЗИКУ З ВИКОРИСТАННЯМ АНАЛІЗУ ЧУТЛИВОСТІ

©2018 КОЦЮБА О. С.

УДК 658:330.322:519.866

Коцюба О. С. Оцінка економічної привабливості інвестиційних проєктів в умовах невизначеності та ризику з використанням аналізу чутливості

Стаття присвячена методології економічного обґрунтування реальних інвестицій в разі істотного дефіциту інформації стосовно можливих коливань початкових параметрів і зумовленого цим ризику. Як основний інструмент врахування ризику під час зазначеної проблемної ситуації, який знаходиться у фокусі уваги даного дослідження, виступає аналіз чутливості. Ґрунтуючись на апараті інтервальної математики, в роботі було сформульовано набір моделей для порівняльної оцінки економічної привабливості (ефективності) альтернативних інвестиційних проєктів в умовах невизначеності та ризику з використанням аналізу чутливості. Розроблений інструментарій припускає як моно-, так і поліінтервальну версію аналізу чутливості. Як ризикова складова у побудованих моделях використовується: в одних – значення спеціально розробленого коефіцієнта чутливості, в інших – найгірші значення, які знаходяться на основі інтервальних оцінок часткових критеріїв ефективності. Коефіцієнт чутливості згідно із запропонованим у роботі підходом являє собою відношення цільового піврозмаху варіації до приросту (економії) ефективності, що забезпечується при досягненні базового рівня аналізованого часткового критерію економічної привабливості порівняно з деяким його пороговим (граничним) значенням.

Ключові слова: реальні інвестиції, невизначеність, ризик, аналіз чутливості, коефіцієнт еластичності, цільовий піврозмах варіації.

Формул: 56. **Бібл.:** 17.

Коцюба Олексій Станіславович – кандидат економічних наук, доцент, докторант кафедри стратегії підприємств, Київський національний економічний університет ім. В. Гетьмана (пр. Перемоги, 54/1, Київ, 03057, Україна)

E-mail: as_kotsyuba@ukr.net

УДК 658:330.322:519.866

UDC 658:330.322:519.866

Коцюба А. С. Оценка экономической привлекательности инвестиционных проектов в условиях неопределенности и риска с использованием анализа чувствительности

Статья посвящена методологии экономического обоснования реальных инвестиций в случае существенного дефицита информации о возможных колебаниях начальных параметров и обусловленного этим риска. В качестве основного инструмента учета риска в указанной проблемной ситуации, который находится в фокусе внимания данного исследования, выступает анализ чувствительности. Основываясь на аппарате интервальной математики, в работе был сформулирован набор моделей для сравнительной оценки экономической привлекательности (эффективности) альтернативных инвестиционных проектов в условиях неопределенности и риска с использованием анализа чувствительности. Разработанный инструментариум предполагает как моно-, так и полиинтервальную версию анализа чувствительности. Как рисковая составляющая в построенных моделях используется: в одних – значения специально разработанного коэффициента чувствительности, в других – худшие значения, которые находятся на основе интервальных оценок частных критериев эффективности. Коэффициент чувствительности согласно предлагаемому в работе подходу представляет собой отношение целевого полуразмаха вариации к приросту (экономии) эффективности, который обеспечивается при достижении базового уровня анализируемого частного критерия экономической привлекательности по сравнению с некоторым его пороговым (предельным) значением.

Ключевые слова: реальные инвестиции, неопределенность, риск, анализ чувствительности, коэффициент эластичности, целевой полуразмах вариации.

Формул: 56. **Библ.:** 17.

Коцюба Алексей Станиславович – кандидат экономических наук, доцент, докторант кафедры стратегии предприятий, Киевский национальный экономический университет им. В. Гетьмана (пр. Победы, 54/1, Киев, 03057, Украина)

E-mail: as_kotsyuba@ukr.net

Kotsyuba O. S. Estimating the Economic Attractiveness of Investment Projects in Conditions of Uncertainty and Risk with the Use of Sensitivity Analysis

The article is concerned with the methodology of economic substantiation of real investments in case of considerable lack of information on possible fluctuations of initial parameters and the resulting risk. The analysis of sensitivity as the main instrument for accounting the risk in the indicated problem situation is the focus of the presented research. In the publication, on the basis of the apparatus of interval mathematics, a set of models for comparative estimation of economic attractiveness (efficiency) of alternative investment projects in conditions of uncertainty and risk is formulated, using the sensitivity analysis. The developed instrumentarium assumes both mono- and poly-interval version of the sensitivity analysis. As the risk component in the constructed models is used: in some – values of the specially developed sensitivity coefficient, in others – the worst values, which are based on the interval estimations of the partial criteria of efficiency. The sensitivity coefficient, according to the approach proposed in the publication, is the ratio of the target semi-range of variation to the increase (economy) of efficiency, which is provided when the basic level of the analyzed partial criterion of economic attractiveness in comparison with some of its threshold (limit) value is being reached.

Keywords: real investments, uncertainty, risk, sensitivity analysis, elasticity coefficient, target semi-range of variation.

Formulae: 56. **Bibl.:** 17.

Kotsyuba Oleksiy S. – PhD (Economics), Associate Professor, Candidate on Doctor Degree of the Department of Enterprises Strategy, Kyiv National Economic University named after V. Hetman (54/1 Peremohy Ave., Kyiv, 03057, Ukraine)

E-mail: as_kotsyuba@ukr.net

Згідно з теперішніми положеннями теорії реальних інвестицій врахування ризику належить до обов'язкових складових оцінки економічної привабливості або ефективності інвестиційних проєктів. Невідворотність зіткнення з ризиком у ході інвестиційної діяльності пов'язана з об'єктивно

властивими економіці невизначеністю та конфліктністю.

Як свідчать результати огляду відповідних наукових і навчально-методичних джерел, у сучасних дослідженнях, присвячених питанням аналізу та моделювання ризику інвестиційних проєктів, поряд із

розвитком новітніх підходів, регулярно звертаються до методів, які вже набули статусу базових. У числі останніх, якщо обмежитися апаратом кількісного аналізу ризику, можна назвати такі методи, як аналіз чутливості, аналіз беззбитковості, метод сценаріїв, метод дерева рішень, імітаційне моделювання методом Монте-Карло. Показовими в даному аспекті є роботи М. О. Лімітовського, М. В. Грачової, Т. В. Теплової, О. В. Воронцовського, І. В. Ліпсіца, В. В. Коссова, В. В. Вітлінського, А. Б. Камінського [1–10].

У них не лише висвітлюються нинішні тенденції ризик-аналізу і ризик-менеджменту у сфері реальних інвестицій, але й здійснюється «ревізія» підходів та методів, напрацьованих протягом попередніх етапів. Зміст праць названих вище авторів впевнює, що навіть традиційні інструменти аналізу ризику припускають своє вдосконалення або розвиток. Якщо в цьому контексті звернутися до аналізу чутливості, то інтерес, зокрема, становить його розроблення в напрямі пристосування до більш широкого кола задач інвестиційного проектування, ніж це закладене в його традиційній версії.

Отже, метою даної роботи є розвиток аналізу чутливості як інструмента врахування ризику під час оцінювання економічної привабливості (ефективності) інвестиційних проектів у ситуації істотного дефіциту інформації щодо можливих коливань вихідних параметрів (змінних, факторів).

Суть традиційного аналізу чутливості в межах реальних інвестицій полягає в послідовно-одиночному оцінюванні ступеня впливу зміни значень початкових параметрів або аргументів (факторів ризику) на зміну значення обраного для дослідження показника (критерію) економічної привабливості (ефективності) розглядуваного інвестиційного проекту. Більший ступінь впливу зміни деякого параметра на зміну досліджуваного критеріального показника є підставою, щоб розцінювати цей параметр як більш «ризикотвірний» (ризик-релевантний) по відношенню до даного критерію.

Проведення традиційного аналізу чутливості для деякого критеріального показника (критерію) передбачає виконання таких кроків [1–10].

1. Фіксується базовий (базисний) сценарій, тобто базові значення вихідних параметрів (змінних, аргументів) досліджуваного критерію. Базовим оцінкам параметрів відповідає базовий рівень обумовленого ними критерію.

Доцільно зауважити, що базовий сценарій може формуватися дещо по-різному. Передусім, як базовий природно приймати найбільш очікуваний (вірогідний) перебіг реалізації інвестиційного проекту. У праці [11, с. 415] рекомендується формувати базовий сценарій на основі помірно песимістичних прогнозів.

2. Визначаються параметри (фактори ризику) критеріального показника, за якими здійснюватиметься аналіз чутливості.

3. Задаються межі або діапазони (інтервали) варіювання по відношенню до базових значень обраних для дослідження параметрів. Уже на цьому кроці в межах традиційного аналізу чутливості можна виокремити різні його варіанти (версії).

Перший варіант полягає в тому, що зазначені діапазони визначаються точно по одному для кожного параметра, і при цьому в загальному випадку диференційовано для різних параметрів, виходячи з уявлень та досвіду зацікавленої особи (суб'єкта прийняття рішення, експерта). Такий моноінтервальний підхід може також ґрунтуватися або використовувати рекомендації загального характеру (в разі їх існування), які відображають практику реального інвестування в межах економіки або конкретної галузі відповідної країни (для релевантного стосовно досліджуваного інвестиційного проекту періоду часу). Приклад рекомендацій зазначеного роду можна знайти в роботі [11, с. 448]. Зручним інструментом графічного представлення результатів моноінтервального аналізу чутливості є діаграма, відома під назвою «Торнадо» [2; 12, с. 338].

Альтернативою або розвитком попереднього підходу виступає аналітична конструкція, коли для параметрів розглядається декілька діапазонів (інтервалів) можливих коливань. При цьому кількість та розміри діапазонів для окремо взятого параметра в загальному випадку мають задаватися індивідуально. Якщо ж зацікавлена особа не вбачає достатніх підстав для такої диференціації, то може використовуватися єдина для всіх аналізованих параметрів система діапазонів. Загальноживаною формою візуалізації результатів поліінтервального аналізу чутливості є графік, який одержав назву «Павук» [13, с. 399–400; 14].

4. Здійснюється оцінка ступеня чутливості досліджуваного критерію в розрізі обраних параметрів.

У разі моноінтервального визначення діапазонів варіації параметрів ступінь чутливості може оцінюватися двоюко.

Згідно з першим варіантом ступінь чутливості пропонується оцінювати на основі величини інтервалу значень (розмаху варіації) критеріального показника, який відповідає інтервалу можливих значень обраного для аналізу параметра: чим більшим є результуючий інтервал, тим більшою слід розцінювати чутливість і вразливість критерію за цим параметром.

Неважко помітити, що в межах даного підходу ступінь чутливості можна також оцінити, враховуючи не весь інтервал можливих значень критеріального показника, а лише ту його частину, яка містить несприятливі відхилення. При цьому зіставлення має здійснюватися з рівнем критерію, визначеним як базовий. Відповідний кількісний показник ступеня чутливості зручно і коректно означити як цільовий піврозмах варіації.

Другий варіант полягає у зверненні до інструментарію, який позиціонується як універсальний і ґрунтується на використанні концепції еластичності [7; 9; 10].

Нехай об'єкт ризику (виробнича програма, інвестиційний проект, портфель цінних паперів) описується n початковими параметрами (змінними, факторами) $X_i, i = \overline{1, n}$ та m результуючими, або критеріальними, показниками – $Y_j, j = \overline{1, m}$, між якими має місце функціональна залежність:

$$Y_j = f_j(X_1, \dots, X_n), j = \overline{1, m}.$$

Тоді еластичність, або коефіцієнт еластичності показника $Y_j, j \in \{1, \dots, m\}$ за параметром $X_i, i \in \{1, \dots, n\}$ визначається так.

Для зміни параметра по відношенню до його значення X_i в інтервалі ΔX_i :

$$E_{ji}(X_i, \Delta X_i) = \frac{\Delta Y_j}{Y_j} \cdot \frac{\Delta X_i}{X_i}. \quad (1)$$

У точці X_i (за умови диференційованості в ній функції f_j):

$$E_{ji}(X_i) = \frac{\partial Y_j}{\partial X_i} \cdot \frac{X_i}{Y_j}. \quad (2)$$

Згідно з наведеними співвідношеннями еластичність (коефіцієнт еластичності) показує відсоткову зміну значення результуючого показника (критерію) при зміні значення відповідного факторного показника (параметра, аргументу) на один відсоток. При цьому враховується характер зв'язку (прямий чи обернений) між аналізованими показниками. Звідси більший за модулем рівень коефіцієнта еластичності свідчить про більшу чутливість досліджуваного критерію за даним параметром.

Цілоком аналогічно до останнього, з урахуванням необхідних коригувань, проводиться оцінка ступеня чутливості, коли для параметрів припускається декілька діапазонів можливих коливань. У цьому разі для окремо взятого параметра еластичність має розраховуватися стосовно кожного з діапазонів, сформованих для нього. Відповідно, ступінь чутливості розглядуваного критерію за даним параметром визначається сукупністю знайдених коефіцієнтів еластичності.

5. На основі результатів попереднього кроку параметри критеріального показника ранжуються в аспекті їх ризикотвірності. Згідно з ключовою ідеєю аналізу чутливості більший рівень чутливості критерію до змін даного параметра інтерпретується як ознака його більшої ризикотвірності.

При використанні моноінтервального підходу, коли як міра чутливості використовуються розмах або цільовий піврозмах варіації критеріального по-

казника, їх значення виступають достатнім індикатором ступеня ризикотвірності відповідного параметра. Якщо ж реалізується версія моноінтервального варіювання значень параметрів, коли чутливість вимірюється за допомогою коефіцієнта еластичності, достатність останнього для оцінювання ризикотвірності досліджуваних параметрів може бути поставлена під сумнів. У цьому разі повноцінне ранжування параметрів як факторів ризику потребує введення якогось додаткового критерію (критеріїв) або аспекту. Роль такого додаткового критерію може виконувати ступінь прогнозованості (передбачуваності) параметрів. Формалізація аналізу ризикотвірної значущості (вагомості) того чи іншого параметра в межах зазначених двох критеріїв здійснюється за допомогою відповідної матриці (матриці чутливості та прогнозованості) [3–5; 15]. Очевидно, що при розглядуваному підході ступінь прогнозованості параметра і величина інтервалу його можливих значень можуть розумітися як взаємообумовлені характеристики (більша величина інтервалу свідчить про меншу прогнозованість, і навпаки, чим інтервал можливих значень параметра менше, тим більшою слід припускати його прогнозованість).

У ситуації використання декількох діапазонів варіювання значень параметрів критеріального показника оцінювання рівня їх ризикотвірності може здійснюватися як на основі виключно коефіцієнта еластичності, так і на двохаспектній основі, тобто з доповненням аналізу еластичності аналізом прогнозованості, якщо для цього наявні відповідні підстави.

Як відображено в наведених вище відомостях, сферою застосування традиційного аналізу чутливості є окремо взятий інвестиційний проект. Разом з тим, у багатьох випадках проблема економічного обґрунтування реальних інвестицій постає як проблема вибору найкращого (оптимального) інвестиційного проекту з множини альтернативних варіантів. Зазначене зумовлює потребу в розвитку розглядуваного інструментарію, розробленні його модифікації, пристосованої для задачі порівняльної оцінки альтернативних (конкуруючих) інвестиційних проектів.

Можна виокремити такі модельні особливості викладеної проблеми [16]:

1) набори параметрів (змінних, аргументів), які розглядаються як фактори ризику в розрізі окремих критеріїв ефективності, для альтернативних інвестиційних проектів можуть як збігатися, так і не збігатися між собою;

2) при порівнянні ризикованості інвестиційних альтернатив у розрізі окремого критерію ефективності має оцінюватися і зіставлятися інтегрована чутливість останнього, яка враховує паралельну (одночасну) зміну значень всіх його ризикотвірних (ризикрелевантних) параметрів.

Так само, як і в разі традиційного аналізу чутливості, його шукана модифікація може будуватися у двох версіях: моно- і поліінтервальної. Спробуємо сформулювати варіант вирішення розглядуваної проблеми спочатку для моноінтервальної постановки.

Звернемося до різновиду моноінтервальної версії, коли як міра чутливості використовується розмах варіації критерію. Реалістичним і прийнятним тут видається шлях формування модифікованої моделі аналізу чутливості, ґрунтуючись на знаходженні та кількісній оцінці інтервалу (діапазону) можливих значень критеріального показника внаслідок варіації одночасно всіх його параметрів, які розцінюються як ризикотвірні, у межах заданих для них інтервалів.

Зауважимо, що намічений вище підхід не є чимось абсолютно новим. Зокрема, він пропонується в публікації В. Ю. Ізосімова [17]. Водночас, сформульовані цим автором пропозиції мають більшою мірою схематичний характер і потребують ґрунтовного доопрацювання.

Конструктивна реалізація окресленої вище ідеї та побудова на її основі шуканої модифікації аналізу чутливості може бути здійснена за допомогою методології інтервального аналізу (математики). Виходячи з математичного апарату даної теорії для задачі раціонального вибору найкращої інвестиційної альтернативи може бути запропонована така схема оцінки чутливості деякого критерію ефективності до одночасної зміни певного набору його параметрів у межах окремого інвестиційного проекту [16].

1. З'ясується базовий сценарій здійснення проекту, який описується базовими значеннями вихідних параметрів розглядуваного критерію, а також рівнем останнього, який їм відповідає.

2. Визначаються параметри критеріального показника, які розцінюються як ризикотвірні (ризик-релевантні) і за якими буде проводитися аналіз чутливості.

3. Задаються межі або діапазони (інтервали) варіювання по відношенню до базового рівня значень параметрів, які були обрані для аналізу.

4. На основі апарату інтервального аналізу (математики) розраховується інтервальна оцінка досліджуваного критерію, яка відповідає прийнятним на попередньому кроці діапазонам варіювання значень обраних для аналізу параметрів. Розмах варіації та цільовий піврозмах варіації для одержаного інтервалу служать інтегрованими індикаторами чутливості критеріального показника до одночасного коливання значень ризикотвірних параметрів.

Представлені вище методологічні настанови та схема інтегрованого оцінювання чутливості дозволяють сформулювати модель порівняльної оцінки економічної привабливості (ефективності) альтернативних інвестиційних проектів з використанням аналізу

чутливості (випадок моноінтервального варіювання параметрів).

1. Для кожного інвестиційного проекту зі сформованої множини інвестиційних альтернатив (варіантів проекту) визначається базовий сценарій його реалізації. У частині вихідних даних як базові слід приймати найбільш очікувані (вірогідні) значення початкових параметрів (змінних, аргументів).

2. Визначається набір критеріальних показників (часткових критеріїв), за якими має оцінюватися економічна привабливість (ефективність) порівнюваних інвестиційних проектів. Нагадаємо, що в загальному випадку оцінювання ефективності реальних інвестицій передбачає використання часткових критеріїв, які відображають їх ефект, дохідність та термін окупності. При цьому показники, які стосуються відповідно перших двох і третього з названих аспектів, мають різні напрями оптимізації або інгредієнти. Критерії ефекту і дохідності оптимізуються в напрямі максимуму (тобто мають позитивний, або додатний, інгредієнт), у той час як показники терміну окупності оптимізуються в напрямі мінімуму (відповідно, мають негативний, або від'ємний, інгредієнт).

3. Для базового рівня початкових параметрів інвестиційних проектів розраховуються відповідні значення обраних на попередньому кроці часткових критеріїв ефективності.

4. Для кожного інвестиційного проекту визначаються початкові параметри, які розцінюються як фактори ризику і за якими здійснюватиметься аналіз чутливості.

5. Задаються межі або діапазони (інтервали) варіювання по відношенню до базових значень початкових параметрів, які були обрані для проведення аналізу чутливості.

6. Для розглядуваних інвестиційних проектів стосовно заданих на попередньому кроці діапазонів варіювання ризикотвірних параметрів за допомогою апарату інтервального аналізу або математики розраховуються інтервальні оцінки часткових критеріїв їх економічної привабливості. Після чого для кожної із зазначених інтервальних оцінок розраховується величина несприятливих відхилень значень відповідного часткового критерію по відношенню до його базового рівня, тобто цільовий піврозмах варіації, який розцінюється як абсолютний показник міри чутливості. При цьому характер відхилень (сприятливі/несприятливі) слід визначати, виходячи з напрямку оптимізації (інгредієнта) аналізованого часткового критерію.

7. Для часткових критеріїв ефективності досліджуваних інвестиційних проектів на основі одержаних для них на попередньому кроці значень цільового піврозмаху варіації з метою забезпечення зіставності (порівняльності) розраховується міра чутливості у відносному вираженні. Як таку міру пропонується використовувати відношення цільового піврозмаху варіації часткового критерію до приросту (економії)

економічної ефективності, який забезпечується при досягненні його базового рівня порівняно з деяким пороговим (граничним) значенням. Останнє природно встановлювати на основі границь інтервальних оцінок аналізованого часткового критерію в межах сукупності порівнюваних інвестиційних проектів.

8. Виходячи з логіки економічного оцінювання реальних інвестицій з використанням аналізу чутливості кожний частковий критерій ефективності, який взято для порівняння інвестиційних альтернатив, має деталізуватися у двох аспектах:

1) в аспекті базового рівня даного часткового критерію, який відображає найбільш очікуваний (вірогідний) перебіг реалізації інвестиційного проекту;

2) в аспекті чутливості цього часткового критерію до зміни початкових параметрів, яка інтерпретується як обтяженість його ризиком, його ризикованість.

Показники, які відображають наведені два аспекти, відповідно до їх ролі доцільно називати деталізованими критеріями.

Згідно із попередніми кроками, а також зробленим зауваженням порівняльна економічна оцінка альтернативних інвестиційних проектів з використанням аналізу чутливості може бути здійснена на основі узагальненого (інтегрованого) показника (критерію), який, якщо обмежитися адитивним варіантом згортки критеріїв, може бути сформульований в такий спосіб:

$$SI_j = \sum_{l=1}^L a_l (b_{l1} {}^H K_{lj}^{bs} + b_{l2} {}^H CSR^m(\bar{K}_{lj}, K_{lj}^{bs})), \quad (3)$$

$$j = \bar{1}, \bar{m},$$

$${}^H K_{lj}^{bs} = \begin{cases} \frac{K_{lj}^{bs} - K_{\min l}}{K_{\max l} - K_{\min l}}, & \text{якщо } K_l = K_l^+ \\ \frac{K_{\max l} - K_{lj}^{bs}}{K_{\max l} - K_{\min l}}, & \text{якщо } K_l = K_l^- \end{cases}, \quad (4)$$

$${}^H CSR^m(\bar{K}_{lj}, K_{lj}^{bs}) = 1 - CSR^m(\bar{K}_{lj}, K_{lj}^{bs}), \quad (5)$$

$$CSR^m(\bar{K}_{lj}, K_{lj}^{bs}) = \begin{cases} \frac{SR(\bar{K}_{lj}, K_{lj}^{bs})}{K_{lj}^{bs} - K_{\min l}}, & \text{якщо } K_l = K_l^+ \\ \frac{SR(\bar{K}_{lj}, K_{lj}^{bs})}{K_{\max l} - K_{lj}^{bs}}, & \text{якщо } K_l = K_l^- \end{cases}, \quad (6)$$

$$SR(\bar{K}_{lj}, K_{lj}^{bs}) = \begin{cases} K_{lj}^{bs} - \bar{K}_{lj}, & \text{якщо } K_l = K_l^+ \\ \bar{K}_{lj} - K_{lj}^{bs}, & \text{якщо } K_l = K_l^- \end{cases}, \quad (7)$$

$$l = \bar{1}, \bar{L}, \quad j = \bar{1}, \bar{m},$$

$$K_{\min l} = \min \{ \bar{K}_{lj} \mid j = \bar{1}, \bar{m} \}, \quad l = \bar{1}, \bar{L}, \quad (8)$$

$$K_{\max l} = \max \{ \bar{K}_{lj} \mid j = \bar{1}, \bar{m} \}, \quad l = \bar{1}, \bar{L}, \quad (9)$$

$$0 < b_{l1} < 1, \quad 0 < b_{l2} < 1, \quad b_{l1} + b_{l2} = 1, \quad (10-12)$$

$$0 < a_l < 1, \quad \sum_{l=1}^L a_l = 1, \quad (13-14)$$

де SI_j – узагальнений (інтегрований) критерій економічної привабливості (ефективності) j -го інвестиційного проекту;

L – число часткових критеріїв ефективності реальних інвестицій, за допомогою яких здійснюється вибір оптимального інвестиційного проекту;

m – число інвестиційних проектів у сукупності, з якої здійснюється вибір найкращого проекту;

K_l – l -й частковий критерій ефективності реальних інвестицій з їх набору, за допомогою якого здійснюється вибір найкращого інвестиційного проекту;

K_{lj}^{bs} – значення l -го часткового критерію ефективності, яке відповідає базовому сценарію реалізації j -го інвестиційного проекту;

${}^H K_{lj}^{bs}$ – нормалізоване значення показника K_{lj}^{bs} ;

$CSR^m(\bar{K}_{lj}, K_{lj}^{bs})$ – коефіцієнт чутливості на основі цільового піврозмаху варіації значень для l -го часткового критерію ефективності j -го інвестиційного проекту;

${}^H CSR^m(\bar{K}_{lj}, K_{lj}^{bs})$ – нормалізоване значення показника $CSR^m(\bar{K}_{lj}, K_{lj}^{bs})$;

$K_{\min l}, K_{\max l}$ – відповідно мінімальне та максимальне значення релевантного (тобто такого, що береться до уваги) діапазону (інтервалу) варіювання значень l -го часткового критерію ефективності;

$K_l = K_l^+, K_l = K_l^-$ – фіксація відповідно додатного і від'ємного інгредієнта для l -го часткового критерію ефективності;

\bar{K}_{lj} – інтервальна оцінка l -го часткового критерію ефективності j -го інвестиційного проекту, яка відповідає встановленим зацікавленою особою (суб'єктом прийняття рішення, експертом) діапазонам (інтервалам) можливих (вірогідних) коливань його початкових параметрів;

$\underline{K}_{lj}, \bar{K}_{lj}$ – відповідно нижня і верхня границя інтервальної оцінки l -го часткового критерію ефективності j -го інвестиційного проекту;

$SR(\bar{K}_{lj}, K_{lj}^{bs})$ – цільовий піврозмах варіації значень l -го часткового критерію ефективності по відношенню до його базового рівня для j -го інвестиційного проекту;

b_{l1}, b_{l2} – вагові коефіцієнти для показників відповідно K_{lj}^{bs} та $CSR^m(\bar{K}_{lj}, K_{lj}^{bs})$;

a_l – ваговий коефіцієнт для l -го часткового критерію ефективності.

Серед порівнюваних варіантів реального інвестування найкращим слід визнати проект, для якого узагальнений критерій економічної привабливості набуває найбільшого значення, при цьому $SI_j \in [0, 1], j = \overline{1, m}$.

Ризикова складова у пропонованому підході може бути врахована дещо інакше, якщо замість коефіцієнтів чутливості на основі цільового піврозмаху варіації як показники міри ризику у співвідношенні (3) використовувати найгірші значення в межах інтервальних оцінок часткових критеріїв ефективності. З урахуванням зазначеної заміни відповідна модель, якщо знову звернутися до адитивної згортки, набуває вигляду:

$$SI_j = \sum_{l=1}^L a_l (b_{l1} {}^H K_{lj}^{bs} + b_{l2} {}^H B(\overline{K}_{lj})), j = \overline{1, m}, \quad (15)$$

$${}^H K_{lj}^{bs} = \begin{cases} \frac{K_{lj}^{bs} - K_{\min l}}{K_{\max l} - K_{\min l}}, & \text{якщо } K_l = K_l^+ \\ \frac{K_{\max l} - K_{lj}^{bs}}{K_{\max l} - K_{\min l}}, & \text{якщо } K_l = K_l^- \end{cases}, \quad (16)$$

$${}^H B(\overline{K}_{lj}) = \begin{cases} \frac{B(\overline{K}_{lj}) - K_{\min l}}{K_{\max l} - K_{\min l}}, & \text{якщо } K_l = K_l^+ \\ \frac{K_{\max l} - B(\overline{K}_{lj})}{K_{\max l} - K_{\min l}}, & \text{якщо } K_l = K_l^- \end{cases}, \quad (17)$$

$$B(\overline{K}_{lj}) = \begin{cases} \underline{K}_{lj}, & \text{якщо } K_l = K_l^+ \\ \overline{K}_{lj}, & \text{якщо } K_l = K_l^- \end{cases}, \quad (18)$$

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

$$K_{\min l} = \min \{ \underline{K}_{lj} \mid j = \overline{1, m} \}, l = \overline{1, L}, \quad (19)$$

$$K_{\max l} = \max \{ \overline{K}_{lj} \mid j = \overline{1, m} \}, l = \overline{1, L}, \quad (20)$$

$$0 < b_{l1} < 1, \quad 0 < b_{l2} < 1, \quad b_{l1} + b_{l2} = 1, \quad (21-23)$$

$$0 < a_l < 1, \quad \sum_{l=1}^L a_l = 1, \quad (24-25)$$

де $B(\overline{K}_{lj})$ – найгірше значення l -го часткового критерію ефективності j -го інвестиційного проекту в межах інтервальної оцінки, яка відповідає встановленим зацікавленою особою діапазнам (інтервалам) можливих (вірогідних) коливань початкових параметрів;

${}^H B(\overline{K}_{lj})$ – нормалізоване значення показника

$B(\overline{K}_{lj})$;

b_{l1}, b_{l2} – вагові коефіцієнти для показників

відповідно K_{lj}^{bs} та $B(\overline{K}_{lj})$.

Кожна з двох запропонованих моделей припускає адаптацію для ситуації поліінтервального варіювання значень початкових параметрів критеріальних показників. З практичної точки зору видається доцільним, щоб поліінтервальне варіювання параметрів здійснювалося в якійсь єдиній шкалі градацій (послідовних рівнів). При цьому можна рекомендувати шкали з невеликою кількістю градацій (трьома або п'ятьма), заданих у якісній (вербальній, лінгвістичній) формі.

У разі трирівневої шкали її окремі градації в якісній формі можна означити так: невелике варіювання, середнє варіювання, значне (істотне) варіювання. Якщо ж використовувати п'ятирівневу шкалу, то для неї окремі градації можуть бути поіменовані як досить мале варіювання, невелике варіювання, середнє варіювання, значне варіювання, досить велике варіювання.

Беручи до уваги зроблені зауваження, шукані адаптації розглядуваних моделей можуть бути побудовані в такий спосіб.

При врахуванні ризикового аспекту за допомогою коефіцієнтів чутливості на основі цільового піврозмаху варіації:

$$SI_j = \sum_{l=1}^L a_l [b_{l1} {}^H K_{lj}^{bs} + b_{l2} [\sum_{i=1}^n c_i {}^H CSR^m(\overline{K}_{lj}^{(i)}, K_{lj}^{bs})]], j = \overline{1, m},$$

$${}^H K_{lj}^{bs} = \begin{cases} \frac{K_{lj}^{bs} - K_{\min l}}{K_{\max l} - K_{\min l}}, & \text{якщо } K_l = K_l^+ \\ \frac{K_{\max l} - K_{lj}^{bs}}{K_{\max l} - K_{\min l}}, & \text{якщо } K_l = K_l^- \end{cases}, \quad (26)$$

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

$$K_{\min l} = \min \{ \underline{K}_{lj}^{(i)} \mid j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n} \} = \min \{ \underline{K}_{lj}^{(n)} \mid j = \overline{1, m} \}, l = \overline{1, L}, \quad (28)$$

$$K_{\max l} = \max \{ \overline{K}_{lj}^{(i)} \mid j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n} \} = \max \{ \overline{K}_{lj}^{(n)} \mid j = \overline{1, m} \}, l = \overline{1, L}, \quad (29)$$

$${}^H CSR^m(\overline{K}_{lj}^{(i)}, K_{lj}^{bs}) = 1 - CSR^m(\overline{K}_{lj}^{(i)}, K_{lj}^{bs}), \quad (30)$$

$$CSR^m(\overline{K}_{lj}^{(i)}, K_{lj}^{bs}) = \begin{cases} \frac{SR(\overline{K}_{lj}^{(i)}, K_{lj}^{bs})}{K_{lj}^{bs} - K_{\min li}}, & \text{якщо } K_l = K_l^+ \\ \frac{SR(\overline{K}_{lj}^{(i)}, K_{lj}^{bs})}{K_{\max li} - K_{lj}^{bs}}, & \text{якщо } K_l = K_l^-, \end{cases} \quad (31)$$

$$SR(\overline{K}_{lj}^{(i)}, K_{lj}^{bs}) = \begin{cases} K_{lj}^{bs} - \underline{K}_{lj}^{(i)}, & \text{якщо } K_l = K_l^+ \\ \overline{K}_{lj}^{(i)} - K_{lj}^{bs}, & \text{якщо } K_l = K_l^- \end{cases}, \quad (32)$$

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

$$K_{\min li} = \min\{\underline{K}_{lj}^{(i)} \mid j = \overline{1, m}\}, l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n}, \quad (33)$$

$$K_{\max li} = \max\{\overline{K}_{lj}^{(i)} \mid j = \overline{1, m}\}, l = \overline{1, L}, i = \overline{1, n}, \quad (34)$$

$$0 < c_i < 1, \sum_{i=1}^n c_i = 1, \quad (35-36)$$

$$0 < b_{l1} < 1, \quad 0 < b_{l2} < 1, \quad b_{l1} + b_{l2} = 1, \quad (37-39)$$

$$0 < a_l < 1, \sum_{l=1}^L a_l = 1, \quad (40-41)$$

де $CSR^m(\overline{K}_{lj}^{(i)}, K_{lj}^{bs})$ – коефіцієнт чутливості на основі показника цільового піврозмаху варіації для l -го часткового критерію ефективності j -го інвестиційного проекту в межах i -ї градації ступеня варіювання значень параметрів;

${}^H CSR^m(\overline{K}_{lj}^{(i)}, K_{lj}^{bs})$ – нормалізоване значення показника $CSR^m(\overline{K}_{lj}^{(i)}, K_{lj}^{bs})$;

$K_{\min l}, K_{\max l}$ – відповідно мінімальне та максимальне значення релевантного діапазону (інтервалу) варіювання значень l -го часткового критерію ефективності;

$\overline{K}_{lj}^{(i)}$ – інтервальна оцінка l -го часткового критерію ефективності j -го інвестиційного проекту в межах i -ї градації ступеня варіювання значень параметрів, при цьому припускається, що $\overline{K}_{lj}^{(i)} \subset \overline{K}_{lj}^{(i+1)}$, $i = \overline{1, n-1}$;

$\underline{K}_{lj}^{(i)}, \overline{K}_{lj}^{(i)}$ – відповідно нижня і верхня границя інтервальної оцінки l -го часткового критерію ефективності j -го інвестиційного проекту в межах i -ї градації ступеня варіювання значень параметрів;

$SR(\overline{K}_{lj}^{(i)}, K_{lj}^{bs})$ – цільовий піврозмах варіації значень l -го часткового критерію ефективності по відношенню до його базового рівня для j -го інвестиційного проекту в межах i -ї градації ступеня варіювання значень параметрів;

$K_{\min li}, K_{\max li}$ – відповідно мінімальне та максимальне значення релевантного діапазону (інтервалу) варіювання значень l -го часткового критерію ефективності в межах i -ї градації ступеня варіювання значень параметрів;

c_i – ваговий коефіцієнт для показника $CSR^m(\overline{K}_{lj}^{(i)}, K_{lj}^{bs})$;

b_{l1} – ваговий коефіцієнта для показника K_{lj}^{bs} ;

b_{l2} – ваговий коефіцієнт агрегату на основі набору коефіцієнтів чутливості в межах прийнятої системи градацій ступеня варіювання значень параметрів для l -го часткового критерію ефективності.

У ситуації моделювання ризикової складової за допомогою гранично несприятливих значень:

$$SI_j = \sum_{l=1}^L a_l (b_{l1} {}^H K_{lj}^{bs} + b_{l2} [\sum_{i=1}^n c_i {}^H B(\overline{K}_{lj}^{(i)})]), \quad (42)$$

$$j = \overline{1, m},$$

$${}^H K_{lj}^{bs} = \begin{cases} \frac{K_{lj}^{bs} - K_{\min l}}{K_{\max l} - K_{\min l}}, & \text{якщо } K_l = K_l^+ \\ \frac{K_{\max l} - K_{lj}^{bs}}{K_{\max l} - K_{\min l}}, & \text{якщо } K_l = K_l^- \end{cases}, \quad (43)$$

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

$${}^H B(\overline{K}_{lj}^{(i)}) = \begin{cases} \frac{B(\overline{K}_{lj}^{(i)}) - K_{\min l}}{K_{\max l} - K_{\min l}}, & \text{якщо } K_l = K_l^+ \\ \frac{K_{\max l} - B(\overline{K}_{lj}^{(i)})}{K_{\max l} - K_{\min l}}, & \text{якщо } K_l = K_l^- \end{cases}, \quad (44)$$

$$B(\overline{K}_{lj}^{(i)}) = \begin{cases} \underline{K}_{lj}^{(i)}, & \text{якщо } K_l = K_l^+ \\ \overline{K}_{lj}^{(i)}, & \text{якщо } K_l = K_l^- \end{cases}, \quad (45)$$

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

$$K_{\min l} = \min\{\underline{K}_{lj}^{(i)} \mid j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}\} = \min\{\underline{K}_{lj}^{(n)} \mid j = \overline{1, m}\}, l = \overline{1, L}, \quad (46)$$

$$K_{\max l} = \max\{\overline{K}_{lj}^{(i)} \mid j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}\} = \max\{\overline{K}_{lj}^{(n)} \mid j = \overline{1, m}\}, l = \overline{1, L}, \quad (47)$$

$$0 < c_i < 1, \sum_{i=1}^n c_i = 1, \quad (48-49)$$

$$0 < b_{l1} < 1, \quad 0 < b_{l2} < 1, \quad b_{l1} + b_{l2} = 1, \quad (50-52)$$

$$0 < a_l < 1, \sum_{l=1}^L a_l = 1, \quad (53-54)$$

де $B(\overline{K}_{lj}^{(i)})$ – найгірше значення l -го часткового критерію ефективності j -го інвестиційного проекту в межах інтервальної оцінки, яка відповідає i -ї градації ступеня варіювання значень параметрів;

${}^H B(\overline{K}_{lj}^{(i)})$ – нормалізоване значення показника $B(\overline{K}_{lj}^{(i)})$;

c_i – ваговий коефіцієнт для показника $B(\overline{K}_{lj}^{(i)})$;

b_{l1} – ваговий коефіцієнт для показника K_{lj}^{bs} ;

b_{l2} – ваговий коефіцієнт агрегату на основі набору гранично несприятливих значень в межах прийнятої системи градацій міри варіювання значень параметрів для l -го часткового критерію ефективності.

Поряд з підходом, заданим співвідношеннями (46)–(47), параметри $K_{\min l}$, $K_{\max l}$ можуть бути знайдені дещо інакше, на основі середніх арифметичних зважених відповідно нижніх та верхніх границь інтервальних оцінок $\overline{K}_{lj}^{(i)}$, $i = \overline{1, n}$:

$$K_{\min l} = \min \left\{ \sum_{i=1}^n c_i \overline{K}_{lj}^{(i)} \mid j = \overline{1, m} \right\}, l = \overline{1, L}, \quad (55)$$

$$K_{\max l} = \max \left\{ \sum_{i=1}^n c_i \overline{K}_{lj}^{(i)} \mid j = \overline{1, m} \right\}, l = \overline{1, L}. \quad (56)$$

ВИСНОВКИ

Результати проведеного дослідження показують, що, незважаючи на широку відомість, відносно простоту та високий рівень опрацьованості аналіз чутливості як інструмент врахування ризику під час підготовки інвестиційних рішень припускає свій продуктивний розвиток. Ґрунтуючись на апараті інтервальної математики, у роботі було сформульовано набір моделей для порівняльної оцінки економічної привабливості (ефективності) альтернативних інвестиційних проектів в умовах невизначеності та ризику з використанням аналізу чутливості.

Розроблений інструментарій припускає як моно-, так і поліінтервальну версію аналізу чутливості. У першому випадку діапазони (інтервали) варіювання обраних для дослідження початкових параметрів визначаються точно по одному для кожного параметра, і при цьому в загальному випадку диференційовано для різних параметрів, виходячи з уявлень та методологічних настанов зацікавленої особи (суб'єкта прийняття рішення, експерта). У другому – для вихідних параметрів розглядається декілька діапазонів (інтервалів) можливих коливань.

Як ризикова складова у побудованих моделях використовується: в одних – значення спеціально розробленого коефіцієнта чутливості, в інших – найгірші значення, які знаходяться на основі інтервальних оцінок часткових критеріїв ефективності. Коефіцієнт чутливості згідно із запропонованим у роботі підходом являє собою відношення цільового піврозмаху варіації до приросту (економії) ефективності, що забезпечується при досягненні базового рівня аналізованого часткового критерію економічної привабливості порівняно з деяким його пороговим (граничним) значенням.

Слід також зауважити, що важливим напрямом подальших наукових розвідок за порушеною в публікації проблематикою є дослідження і розвиток інтервальних адаптацій для інших базових інструментів

врахування ризику в ході інвестиційного проектування, таких як, наприклад, аналіз беззбитковості та аналіз стійкості. ■

ЛІТЕРАТУРА

1. **Лимитовский М. А.** Инвестиционные проекты и реальные опционы на развивающихся рынках : учеб.-практ. пособие. М. : Дело, 2004. 527 с.
2. **Лимитовский М. А., Минасян В. Б.** Анализ рисков инвестиционного проекта. *Управление финансовыми рисками*. 2011. № 2. С. 132–150.
3. **Волков И. М., Грачева М. В.** Проектный анализ: продвинутый курс : учеб. пособие. М. : ИНФРА-М, 2009. 495 с.
4. Риск-менеджмент инвестиционного проекта / М. В. Грачева и др.; под общ. ред. М. В. Грачевой, А.Б. Секерина. М. : ЮНИТИ-Дана, 2009. 544 с.
5. **Грачева М. В., Ляпина С. Ю.** Управление рисками в инновационной деятельности : учеб. пособие. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2010. 351 с.
6. **Теплова Т. В.** Инвестиции : учебник для бакалавров. М. : Юрайт, 2011. 724 с.
7. **Воронцовский А. В.** Управление рисками : учеб. пособие. СПб. : ОЦЭиМ, 2004. 458 с.
8. **Липсиц И. В., Коссов В. В.** Экономический анализ реальных инвестиций : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Экономистъ, 2004. 347 с.
9. **Вітлінський В. В., Великоіваненко Г. І.** Ризикологія в економіці та підприємстві : монографія. Київ : КНЕУ, 2004. 480 с.
10. **Камінський А. Б.** Моделирование финансовых рисков : монография. Київ : Київський нац. ун-т, 2006. 303 с.
11. **Виленский П. Л., Лившиц В. Н., Смоляк С. А.** Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика : учеб. пособие. М. : Дело, 2002. 888 с.
12. Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК®). 5-е изд. Ньютаун Сквэр: Институт управления проектами, 2013. 586 с.
13. **Савчук В. П.** Управление финансами предприятия. 3-е изд. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. 483 с.
14. **Колисник М.** Принципы анализа рисков в проектах. *Стратегии*. 2005. № 2. URL: http://www.cfin.ru/finanalysis/invest/project_risk_assessment.shtml (дата обращения: 15.12.2017).
15. **Верба В. А., Загородніх О. А.** Проектный анализ : підручник. Київ : КНЕУ, 2000. 322 с.
16. **Коцюба О. С.** Використання аналізу чутливості для підтримки прийняття підприємницьких інвестиційних рішень // Стратегія підприємства: підприємницький контекст: зб. мат. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 16–17 лист. 2017 р.). Київ : КНЕУ, 2017. С. 216–218.
17. **Изосимов В. Ю.** Комплексная оценка влияния неопределенности исходной технико-экономической информации при оценке эффективности инвестиционных проектов. *Наука. Инновации. Образование*. 2008. № 4. С. 209–216.

REFERENCES

Gracheva, M. V. et al. *Risk-management investitsionnogo proekta* [Risk management of the investment project]. Moscow: Yuniti-Dana, 2009.

Gracheva, M. V., and Lyapina, S. Yu. *Upravleniye riskami v innovatsionnoy deyatel'nosti* [Risk management in innovation]. Moscow: YuNITI-DANA, 2010.

Izosimov, V. Yu. "Kompleksnaya otsenka vliyaniya neopredelennosti iskhodnoy tekhniko-ekonomicheskoy informatsii pri otsenke effektivnosti investitsionnykh proektov" [Comprehensive assessment of the impact of uncertainty of the initial technical and economic information in assessing the effectiveness of investment projects]. *Nauka. Innovatsii. Obrazovaniye*, no. 4 (2008): 209-216.

Kaminskiy, A. B. *Modeliuvannia finansovykh ryzykiv* [Modeling of financial risks]. Kyiv: Kyivskiy nats. un-t, 2006.

Kolisnyk, M. "Printsipy analiza riskov v proektakh" [Principles of risk analysis in projects]. *Strategii*. 2005. http://www.cfin.ru/finanalysis/invest/project_risk_assessment.shtml

Kotsyuba, O. S. "Vykorystannia analizu chutlyvosti dlia pidtrymky pryiniattia pidpriemnytskykh investytsiynykh rishen" [Use of sensitivity analysis to support business enterprise investment decisions]. *Stratehiia pidpriemstva: pidpriemnytskyi kontekst*. Kyiv: KNEU, 2017. 216-218.

Limitovskiy, M. A. *Investitsionnyye proekty i realnyye opstiony na razvivayushchikhsya rynkakh* [Investment projects and real options in emerging markets]. Moscow: Delo, 2004.

Limitovskiy, M. A., and Minasian, V. B. "Analiz riskov investitsionnogo proekta" [Risk analysis of the investment project]. *Upravleniye finansovymi riskami*, no. 2 (2011): 132-150.

Lipsits, I. V., and Kossov, V. V. *Ekonomicheskyy analiz realnykh investitsiy* [Economic analysis of real investment]. Moscow: Ekonomist, 2004.

Rukovodstvo k Svodu znaniy po upravleniyu proektami (Rukovodstvo PMBOK®) [A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)]. Niutaun Skver: Institut upravleniya proektami, 2013.

Savchuk, V. P. *Upravleniye finansami predpriyatiya* [Financial management of the enterprise]. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2015.

Teplova, T. V. *Investitsii* [Investments]. Moscow: Yurayt, 2011.

Verba, V. A., and Zahorodnikh, O. A. *Proektnyi analiz* [Project analysis]. Kyiv: KNEU, 2000.

Vilenskiy, P. L., Livshits, V. N., and Smolyak, S. A. *Otsenka effektivnosti investitsionnykh proektov: Teoriya i praktika* [Evaluation of the effectiveness of investment projects: Theory and practice]. Moscow: Delo, 2002.

Vitlinskiy, V. V., and Velykoivanenko, H. I. *Ryzykolohiia v ekonomitsi ta pidpriemnytstvi* [Riskology in economics and entrepreneurship]. Kyiv: KNEU, 2004.

Volkov, I. M., and Gracheva, M. V. *Proektnyy analiz: prodvinityy kurs* [Project analysis: advanced course]. Moscow: INFRA-M, 2009.

Vorontsovskiy, A. V. *Upravleniye riskami* [Management of risks]. St. Petersburg: OTsEiM, 2004.