

## ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЕКТІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ З УРАХУВАННЯМ РИЗИКУ

В статті розглянуті існуючі показники і методи оцінки ефективності інвестиційних проектів. Вперше запропонована економіко-математична модель нелінійного програмування вибору оптимальних інвестиційних проектів з урахуванням ризику та основних факторів, що впливають на прибутковість.

В статье рассмотрены существующие показатели и методы оценки эффективности инвестиционных проектов. Впервые предложена экономико-математическая модель нелинейного программирования выбора оптимальных инвестиционных проектов с учетом риска и основных факторов, которые влияют на прибыльность.

There are the considered existent indexes and methods of estimation of efficiency of investment projects in the article. First offered economic-mathematical model of the nonlinear programming of choice of optimum investment projects taking into account the risk and basic factors which influence on profitability.

В період переходу до ринкової економіки при становленні нових видів організації виробничого процесу однією із головних проблем є підвищення ефективності управління, вміння прогнозувати доходи і витрати, порівнювати варіанти інвестиційних вкладень в усіх галузях економіки України.

Аналіз проблем планування та удосконалення роботи залізничного транспорту переконливо свідчить, що врахування невизначеності і конфліктності та породжуваних ними ризиків займають значне місце в розвитку методологічного підходу прийняття рішень в інвестиційній діяльності залізничного транспорту. Для того, щоб оцінити всі можливі варіанти функціонування залізниць в ризикових ситуаціях, потрібно створити систему економіко-математичних моделей.

На виконання Програми розвитку інвестиційної діяльності на 2002–2010 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 28.12.2001 №1801 [1] був розроблений план заходів, який передбачає проведення дерегуляції підприємницької діяльності, лібералізацію ділової активності і створення конкурентного середовища, які характеризуються виникненням ризикових ситуацій.

Метою даної статті є розробка економіко-математичної моделі вибору оптимальних інвестиційних проектів з урахуванням ризику та основних факторів, що впливають на прибутковість (дисконт, темп інфляції, рентабельність, податки).

Питання оцінки ризиків в інвестиційній діяльності розглядалися у багатьох наукових працях вітчизняних і зарубіжних учених [2–8].

В сучасних методиках оцінки ефективності інвестиційних проектів використовується підхід, який вимагає посилення уваги до питань врахування лага між вкладанням коштів і їх віддачею. В залежності від цього всі методи оцінки ефективності проектів можна розділити на дві групи: статичні (період окупності, бухгалтерська рентабельність інвестицій) і динамічні або методи дисконтування (чистий приведений доход, індекс рентабельності інвестицій, внутрішня норма прибутку, дисконтований строк окупності інвестицій, ануйтет).

Для зниження ризику, як правило, застосовуються різні методи, які підвищують надійність результатів інвестицій: вивчення механізму формування прибутку з урахуванням різних факторів, використання методів математичної статистики, економіко-математичного моделювання і інші.

В аналізі ефективності інвестицій застосовуються наступні показники:

– *період окупності проекту (PBP)* – час, за який підприємство покриє витрати на інвестиції. При цьому термін окупності визначається із співвідношення:

$$PBP = C \sum u / Cr,$$

де  $C \sum u$  – сума інвестицій;  $Cr$  – щорічні надходження.

– *чиста приведена величина доходу (NPV)* – оцінка вартості потоку майбутнього доходу, дорівнює приведеної вартості майбутніх прибутків або грошових потоків, дисконтних за допомогою відповідної процентної ставки за

відрахуванням приведеної вартості інвестиційних витрат. *NPV* використовується для оцінки пропозицій інвестицій з використанням загальної бази для порівняння. При цьому перевагу має той проект, *NPV* якого має позитивне значення, тобто інвестиції принесуть дохід. Негативна ж величина *NPV* вказує на те, що доходи від запропонованого проекту недостатньо високі, щоб компенсувати ризик даного проекту.

– *рентабельність (індекс прибутковості) PJ* – критерій оцінки проекту, який визначається як відношення приведеної вартості пов'язаних із його реалізацією майбутніх грошових потоків до приведеної вартості первісних інвестицій:

$$PJ = C_{п.п} / C_{п.в} ,$$

де  $C_{п.п}$  – приведені надходження;  $C_{п.в}$  – приведені виплати;

– *внутрішня норма прибутковості (IRR)* – ставка дисконтування, при якій ефективність інвестицій, тобто *NPV*, дорівнює нулеві, а приведена вартість майбутніх грошових потоків дорівнює первісній сумі інвестицій. Інакше кажучи, це розрахункова ставка відсотків, при якій капіталізація регулярно отриманого доходу дає суму, яка дорівнює інвестиціям, тобто капіталовкладення окупаються. Звичайно мінімально припустиме значення *IRR* приймається більш високим, ніж вартість капіталу, на деяку величину з урахуванням ризику проекту;

– *ануїтет* – це послідовність однакових грошових потоків, які регулярно повторюються. Приведена вартість ануїтету в одну грошову одиницю послідовності із  $n$  грошових потоків однакової величини дорівнює:

$$B(n, r) = [1 - (1 + r)^{-n}] / r ,$$

де  $n$  – кількість періодів, коли виникали грошові потоки;  $r$  – ставка дисконтування. Якщо розглядаються проекти, де грошові потоки поступають нерівномірно, визначають ануїтет, якому еквівалентний даний проект:

$$C = PV / B(n, r) ,$$

де  $PV$  – приведена вартість грошових потоків проекту. Перевагою критерію ануїтету є те, що він дозволяє порівнювати проекти різної тривалості [6].

Існують різні підходи до аналізу проектів, у тому числі і *аналіз чутливості*, що проводиться шляхом послідовного виконання наступних кроків:

– вибирається основний ключовий показ-

ник, тобто параметр, щодо якого і проводиться оцінка чутливості. Такими показниками можуть бути як внутрішня норма прибутковості (*IRR*), так і чистий приведений дохід (*NPV*);

– вибираються варійовані фактори (рівень інфляції, обсяг і ціна реалізації та ін.);

– проводиться розрахунок ключових показників на різних етапах здійснення проекту.

Отримані таким шляхом послідовності витрат і надходжень дозволяють визначити фінансові потоки для кожного періоду та показники ефективності.

Одним із методів оцінки і аналізу ризиків інвестиційних проектів є *метод сценаріїв*, який був створений в результаті удосконалення методу аналізу чутливості і направлений на знищення його недоліків, а саме:

– можливість використання обмеженого числа факторів (основних змінних проекту, які безпосередньо впливають на чистий дисконтний дохід (обсяг продажу, ціна, оборотний капітал, ставка проценту та ін.));

– однофакторність аналізу, тобто орієнтація на зміну тільки одного фактору ризику проекту, що призводить до недообліку можливого зв'язку між окремими факторами або їх кореляції.

Сценарний підхід передбачає виконання альтернативних розрахунків з використанням даних, які характеризують різні варіанти розвитку проекту. В процесі реалізації цього методу експерти розглядають ряд сценаріїв, що характеризують збіг обставин, в яких може опинитися проект, і відповідні їм значення основних змінних проекту.

Сценарії розглядаються у якості варіантів значень основних змінних проекту при найгіршому збігу обставин (песимістичний сценарій), при найкращому збігу обставин (оптимістичний сценарій) і при найбільш вірогідному збігу обставин (реалістичний, найбільш вірогідний сценарій).

На основі отриманих від експертів значень основних змінних проекту для песимістичного, найбільш вірогідного та оптимістичного сценаріїв розраховуються відповідні їм значення критеріїв ефективності проекту. Є можливість розрахунку середнього значення і середньоквадратичного відхилення критерію ефективності для порівняння різних проектів.

Подальше вдосконалення сценарного підходу пов'язане з використанням *імітаційного моделювання*, яке дозволяє розглядати необмежену кількість різних варіантів розвитку подій (сценаріїв). Імітаційне моделювання – це роз-

рахункова процедура з використанням програмного забезпечення на персональних комп'ютерах, в процесі якої на основі випадково узятих різних наборів основних змінних проекту проводиться серія розрахунків значень критеріїв ефективності проекту. Приміром такого підходу служить *метод Монте-Карло*.

В Росії виконане дослідження структури критеріїв ефективності інвестиційних проектів, ефект яких оцінюється випадковою величиною з неточно відомим розподілом, причому різні можливості розподілу мають різний ступінь ймовірності і формалізуються як нечіткі [4].

Оцінка інвестиційних ризиків має суттєве значення для прийняття рішення про участь в проекті. Відомо, що високий ризик зменшує комерційну привабливість проекту, а його збільшення повинно бути компенсоване наявністю додаткових коштів, які враховуються у складі ставки дисконту.

Для оцінки ризику нами вперше було проведено статистичне дослідження відносних значень збитків. Дослідження показало: розподіл збитків підкоряється закону Вейбула з параметрами ( $\alpha = -2,44$ ;  $\beta = 0,095$ ) [8], що було визначено з використанням емпіричної кривої розподілу збитків в економіці, яку запропонував В. В. Вітлінський [7]. Ризик оцінюється як математичне сподівання розподілу збитків за визначеним законом Вейбула. Проведені дослідження показали, що ризик найбільш суттєво впливає на прибутковість інвестиційних проектів. Крім того, при розробці моделі вибору проектів був врахований комплекс основних факторів, які впливають на прибутковість проектів: дисконт, темп інфляції, рентабельність, податки.

Для вирішення даної задачі нами вперше розроблена математична модель нелінійного програмування [9], цільова функція якої – сумарна прибутковість проектів на кінець планового періоду:

$$\sum_{i=1}^m C_{nli}^i \cdot x_i \cdot y_{nli}^i + (1 + \gamma)q_{j-1} \rightarrow \max .$$

Основні балансові обмеження по роках записуються таким чином:

1) вартість всіх проектів в перший рік строго дорівнює виділеній сумі інвестицій  $\Phi_0$ :

$$\sum_{i=1}^m C_{nli}^i \cdot x_i \cdot y_{nli}^i + \Phi_0 = 0 .$$

2) вартість витрат, пов'язаних з фінансуванням проектів, віддача від функціонування проектів разом з депозитним вкладом в кожному

проміжному році збалансована:

$$\sum_{i=1}^m C_{nli}^i \cdot x_i \cdot y_{nli}^i - q_j + (1 + \gamma)q_{j-1} = 0 ,$$

$$q_j \geq 0, \quad j = 2, 3, \dots, n-1 .$$

де  $i = 1, 2, \dots, m$  – кількість проектів;  $j = 1, 2, \dots, n$  – кількість років функціонування проектів;  $l_i$ , – початок фінансування  $i$ -го проекту;  $x_i$  – обсяги інвестування  $i$ -го проекту;  $C_{nli}^i$  – прибутковість  $i$ -го проекту в  $j$ -му році;  $y_{nli}^i$  – булева змінна, яка показує роки фінансування та функціонування проекту;  $q_j \geq 0$  – залишки грошей в  $j$ -му році;  $\gamma$  – відносна величина депозитного процента.

Алгоритм даної задачі нелінійного програмування доцільно будувати на ідеї лінеаризації задачі на кожному кроці ітераційного процесу. Тобто при фіксованих термінах початку проектів дана задача перетворюється на задачу лінійного програмування, яку можна розв'язати за допомогою програми Microsoft Excel.

Нехай є декілька інвестиційних проектів:  $X1$  – закупівля нових вагонів, дизель- і електропоїздів;  $X2$  – розробка нових шляхових машин, механізмів стану шляху;  $X3$  – електрифікація залізниць;  $X4$  – впровадження системи швидкісного руху вантажів на території України;  $X5$  – розробка і впровадження систем безперевалочних змішаних перевезень транзитних вантажів;  $X6$  – впровадження автоматизованих інформаційних систем стеження за просуванням транзитних вантажів в пунктах пропуску... та ін.

Ставиться задача вибрати оптимальні проекти, які дадуть найбільший прибуток на при-кінці четвертого року їх фінансування (2010 рік), при умові, що на всі проекти виділено капітал в сумі 5000 млн дол. а в проект  $X1$  вкладено 2200 млн дол.

Припустимо, що проекти мають прибутковість по роках, наведену в таблиці. Коефіцієнти прибутковості були розраховані з урахуванням ризику, дисконту, темпу інфляції, податків, рентабельності.

Так, наприклад, проект  $X1$  на при кінці другого року його фінансування на кожний вкладений долар інвестицій принесе прибуток  $C_{31}^1 = 0,045$  дол., по закінченні третього року – прибуток складе  $C_{31}^1 = 1,17$  дол.

Сформулюємо обмеження задачі.

1) інвестиції в проекти не повинні приймати від'ємні значення, тобто  $x_1 \geq 0$ ;  $x_2 \geq 0$ ;  $x_3 \geq 0$ ;

$$x_4 \geq 0; x_5 \geq 0; x_6 \geq 0;$$

2) у проект  $X1$  в перший рік інвестовано 2200 млн дол., тобто  $x_1 = 2200$ ;

3) для досягнення максимального ефекту необхідно вкласти в перший рік ( $j=1$ ), в усі проекти, які починаються в цьому році, весь капітал, який був виділений на їх впровадження, тобто 5000 млн дол.

$$x_1 + x_3 + x_4 = 5000;$$

4) використовуючи другий стовпець табл. 1, сформуємо баланс на другий рік ( $j=2$ )

$$0,045x_1 + 1,066x_3 - x_2 - x_6 = 0.$$

5) аналогічно, використовуючи третій стовпець таблиці сформуємо баланс на третій рік ( $j=3$ ),

$$1,17x_1 + 0,056x_2 + 0,107x_6 - x_5 = 0.$$

Таблиця

Результати розрахунку коефіцієнтів прибутковості інвестиційних проектів

Роки		2007 $j=1$	2008 $j=2$	2009 $j=3$	2010 $j=4$
Проекти	$X1 \ i=1$	$C_{11}^1 = -1,0$	$C_{21}^1 = 0,045$	$C_{31}^1 = 1,17$	0
	$X2 \ i=2$	0	$C_{22}^2 = -1,0$	$C_{32}^2 = 0,56$	$C_{42}^2 = 1,18$
	$X3 \ i=3$	$C_{31}^1 = -1,0$	$C_{21}^3 = 1,066$	0	0
	$X4 \ i=4$	$C_{41}^1 = -1,0$	0	0	$C_{41}^4 = 1,26$
	$X5 \ i=5$	0	0	$C_{33}^5 = -1,0$	$C_{43}^5 = 1,1$
	$X6 \ i=6$	0	$C_{22}^6 = 1,0$	$C_{32}^6 = 0,107$	$C_{42}^6 = 1,23$

Цільова функція даної задачі має вид:

$$1,18x_2 + 1,26x_4 + 1,1x_5 + 1,23x_6 \rightarrow \max.$$

Розрахунки за вищевказаною моделлю показують, що оптимальними проектами, які забезпечують максимум прибутку на кінець 2010 року є проекти  $X1$ ,  $X2$ ,  $X3$  та  $X5$ .

Таким чином, розроблена модель дозволяє здійснювати вибір інвестиційних проектів з урахуванням ризику, дисконту, темпу інфляції, податків (податку на прибуток та податку на додану вартість) та рентабельності.

Подальшим напрямом досліджень, присвячених удосконаленню розробленої економіко-математичної моделі є збір та статистичний аналіз даних ендогенних та особливо екзогенних факторів (екологічні чинники, зміни в законодавстві та інші), які впливають на прибутковість проектів.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 28.12.2001 № 1801 «Про затвердження Програми розвитку інвестиційної діяльності на 2002–2010 роки» [www.rada.gov.ua](http://www.rada.gov.ua).
2. Кулаев Ю. Ф. Методы экономической оценки инвестиционных проектов на транспорте. – К.: Транспорт Украины, 2001. – 182 с.

3. Савчук В. Теория и практика оценки эффективности инвестиций в Украине // Экономика Украины. – 2003. – № 12. – С. 19–25.
4. Смоляк С. А. Оценка эффективности проектов в условиях нечеткой вероятностной неопределенности // Экономика и математические методы. – 2001. – Т. 37. – № 1. – С. 3–17.
5. Дамодаран А. Инвестиционная оценка. Инструменты и техника оценки любых активов / Пер. с англ. – М.: Альп Бизнес Букс, 2005. – 1342 с.
6. Контролинг как инструмент управления предприятием / Под ред. Н.Г.Данилочкиной. – М.: ЮНИТИ. – 2003. – 281 с.
7. Вітлінський В. В. Аналіз моделювання та управління економічним ризиком: Навч.-метод. посіб. / В. В. Вітлінський, П. І. Верченко – К.: КНЕУ, 2000. – 292 с.
8. Кудрицька Н. В. Моделі оцінки ризику з використанням функцій корисності // Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем. – К.: НАУ, МОН, МННЦ ІТіС. – 2003. – Вип. 4. – С. 100–103.
9. Кудрицька Н. В. Математична модель нелінійного програмування для оптимального вибору інвестиційних проектів // Формування ринкових відносин в Україні. – К. – 2006. Вип. 5 (60). – С. 73–76.

Надійшла до редколегії 31.07.2007.