

МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ ІНВЕСТИЦІЙНО-ІННОВАЦІЙНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ КРИЗИ

ECONOMIC-MATHEMATICAL MODELING OF INVESTMENT-INNOVATIVE ACTIVITIES OF THE ENTERPRISE IN THE CONDITIONS OF CRISIS

У статті розглядаються основні проблеми та задачі інвестиційно-інноваційної діяльності сучасних підприємств України. В умовах нестабільності, моделювання інвестиційної діяльності підприємства є одним з найважливіших елементів системи для ефективного керування організацією. В умовах кризи перед компанією особливо гостро постають питання ефективного планування інвестиційної діяльності та прийняття якісних інвестиційних рішень з метою збереження бізнесу, підвищення платоспроможності та фінансової стійкості. Для побудови моделі обрано метод динамічного програмування, який використовує апарат рекурентних співвідношень. Для оцінки ефективності реалізації проекту використаний показник чистого дисконтованого грошового потоку –NPV. Для побудови моделі обрана виробнича функція Кобба-Дугласа у модифікованому вигляді, яка враховує декілька факторів ендogenous зростання. Метою роботи є розробка економіко-математичної моделі, призначеної для формування оптимального розподілу інвестиційних коштів між інноваційними проектами для зниження рівня фінансового ризику і ефективного використання обмежених інвестиційних ресурсів підприємства. Новизною роботи є створення багатоетапної моделі, з послідовним прийняттям рішень, в яких перехід системи від етапу до етапу описується функціональними рівняннями. Головним результатом статті є розроблення економіко-математичної моделі, що призначена для формування оптимального розподілу інвестиційних коштів української ІТ компанії ТОВ «ЗПОКЕН», між інноваційними проектами для зниження рівня фінансового ризику і ефективного використання обмежених інвестиційних ресурсів підприємства. Розрахунки розробленої моделі проводилися для двох реальних інноваційних проектів. Компанія надала всі необхідні дані, що й дозволило розрахувати нашу модель й отримати оптимальне управління інвестиційними коштами. Розроблена модель дає можливість ефективно управляти інвестиціями для розвитку сучасних підприємств. Оптимізація інвестиційного процесу за допомогою математичних методів дозволяє скоротити ресурсні витрати підприємства.

Ключові слова: економіко-математичне моделювання, інвестиційно-інноваційна діяльність, задачі оптимізації, ефективного використання ресурсів, оптимальний розподіл інвестицій, фінансовий ризик підприємства.

The main problems and tasks of investment-innovative activity of modern enterprises of Ukraine are considered in the article. In conditions of instability, modelling of the investment activity of the enterprise is one of the most important elements of the system for effective management of the organization. In times of crisis, the company is particularly keen on the issues

of effective investment planning and quality investment decisions in order to maintain business, increase solvency and financial stability. Dynamic programming method that uses the apparatus of recurrence relations is chosen to build the model. The net discounted cash flow-NPV indicator was used to evaluate the project implementation efficiency. To build the model, Cobb-Douglas's production function in a modified form was selected, which takes into account several factors of endogenous growth. The purpose of the work is to develop an economic and mathematical model designed to form an optimal allocation of investment funds between innovative projects to reduce the level of financial risk and the efficient use of limited investment resources of the enterprise. The novelty of the work is the creation of a multi-stage model, with consistent decision making, in which the transition of the system from stage to stage is described by functional equations. The main result of the article is the development of an economic and mathematical model, designed to form an optimal allocation of investment funds of the Ukrainian IT company LLC SPOKEN, between innovative projects to reduce the level of financial risk and efficient use of limited investment resources of the enterprise. Calculations of the developed model were carried out for two real innovative projects. The company provided all the necessary data, which allowed us to calculate our model and get optimal investment management. The developed model makes it possible to effectively manage investments for the development of modern enterprises. Optimization of the investment process with the help of mathematical methods allows to reduce resource costs of the enterprise.

Keywords :economic-mathematical modelling, investment-innovation activity, optimization problems, efficient use of resources, optimal distribution of investments, financial risk of the enterprise.

Вступ. У сучасних умовах моделювання інвестиційної діяльності підприємства є одним з найважливіших елементів системи ефективного керування організацією. Проте саме в умовах кризи перед компанією особливо гостро постають питання ефективного планування інвестиційної діяльності та прийняття якісних інвестиційних рішень з метою збереження бізнесу, підвищення платоспроможності та фінансової стійкості.

Більш того, розвиток сучасних компаній в складних економічних умовах неможливий без реалізації інноваційних проектів, а також вдосконалення управління інноваційною діяльністю. Основою вдосконалення управління інноваційною діяльністю підприємства є ефективне планування інноваційного процесу, який може бути розглянутий як сукупність планів інвестування в розробку, виробництво і поширення нового виду продукту, технології або послуги. У цьому випадку він може виступати в якості інноваційного проекту, як різновиду інвестиційного проекту, який характеризується більш високим ступенем невизначеності як внутрішніх так і зовнішніх параметрів інноваційного процесу.

Основною метою процесу інвестування є забезпечення найбільш ефективних шляхів реалізації інвестиційної стратегії на окремих етапах її розвитку, що, в свою чергу висуває на передній план питання оцінки передбачуваних проектів і їх обґрунтування.

Теоретико-методичні та науково-практичні засади інвестиційно-інноваційної діяльності сучасних підприємств та їх основні проблеми та задачі розглядаються в наукових працях М. І. Бондар [6], Е. С. Вентцель [7], М. В. Гаман [8], С.В. Глівенко [9], М. А. Болюх [10], М. М. Зацеркляний [11], Б.Н. Игумнов [12], О. Т. Іващук [13] та інших.

Проблема визначення оптимального розподілу інвестиційних коштів між інноваційними проектами є актуальною тому, що ефективне моделювання

інвестиційно-інноваційної діяльності є необхідним елементом розвитку сучасних підприємств. При цьому класичні методи оцінки інвестиційних проектів дозволяють визначати вигідність конкретного проекту, але не враховують той факт, що кожен проект має деяку протяжність в часі.

Метод, що пропонується, забезпечує оптимальний розподіл вільних засобів підприємства між проектами на різних етапах їх реалізації з метою отримання максимального доходу. Також враховується фактор кризи за рахунок приведення, на момент розрахунку проектів, майбутньої вартості витрат та доходів пов'язаних з інвестиціями у проекти.

Постановка завдання. Підприємство розглядає два нових проекти в розробку яких воно бажає інвестувати за деякий період, протягом якого слід використовувати суму коштів K , що повинна бути розподіленою між цими проектами. Відомо, що якщо в один із проектів вкласти x коштів, а в інший $K - x$ коштів, то дохід відповідно складе $w(x)$ і $h(K - x)$. Необхідно так визначити величину x щоб максимізувати загальний дохід від обох проектів за N років.

Визначені функції доходу:

$$\begin{aligned} w(x) &= 1,68(1 - e^{-0,4x}); \\ h(K - x) &= 0,75(1 - e^{-1,2(K-x)}). \end{aligned} \quad (1)$$

Також визначені функції витрат:

$$\begin{aligned} \gamma(x) &= 0,81x; \\ \theta(K - x) &= 0,45(K - x). \end{aligned} \quad (2)$$

Необхідно розподілити засоби у розмірі $K_0 = 2$ млн. грн в два проекти виходячи з умов максимуму доходу. Таким чином можемо сформулювати економічні задачі, що будуть поставлені для вирішення перед нашою моделлю:

1. Оптимальний розподіл вільних засобів підприємства між проектами на різних етапах їх реалізації з метою отримання максимального доходу.
2. Врахування фактору кризи за рахунок приведення, на момент розрахунку проектів, майбутньої вартості витрат та доходів пов'язаних з інвестиціями у проекти.
3. Розрахунок динаміки капіталу для контролю фінансової стійкості підприємства.

Методологія. Для вирішення першої, основної задачі про оптимальний розподіл інвестиційних коштів між проектами обрано метод динамічного програмування. Динамічне програмування - це метод обчислень, який використовує апарат рекурентних співвідношень. Математичні завдання, які вирішуються за допомогою динамічного програмування, містять умови, що змінюються в залежності від часу. Навіть якщо умови задачі від часу не змінюються, метод динамічного програмування все одно може бути застосований. Для вирішення другої задачі, а саме врахування фактору кризи та оцінки ефективності реалізації проекту пропонується використати показник чистого дисконтованого грошового потоку – критерій NPV . NPV - це чиста вартість грошових потоків, приведена до моменту розрахунку проекту. При аналізі інвестиційних проектів методом NPV (чистої приведенної вартості)

потрібно знати ставку для дисконтування грошових потоків. Формула розрахунку NPV дозволяє оцінити власну економічну ефективність проекту та врахувати фактори інфляції і кризи. Для того щоб сформувати модель, яка буде описувати розвиток підприємства та додаткову суму інвестицій у проекти – необхідно скористатися виробничою функцією, яка враховує декілька факторів ендogenous зростання. Для цього була обрана виробнича функція Кобба-Дугласа у модифікованому вигляді.

Результати дослідження. Економіко-математична модель. Припустимо, що підприємство розглядає два нових проекти в розробку яких воно бажає інвестувати за деякий період, протягом якого слід використовувати суму коштів K , що повинна бути розподіленою між цими проектами.

Для N -етапного процесу функція повного доходу матиме вигляд:

$$W_N(K, x, x_2, \dots, x_{N-1}) = g(x) + h(K - x) + g(x_1) + h(K_1 - x_1) + \dots + g(x_{N-1}) + h(K_{N-1} - x_{N-1}) \quad (3)$$

Визначимо функцію $f_N(K)$ як максимум доходу, отриманий від N -етапного процесу, який починається з величини K_{N-1} для $N = 1, 2, \dots$, та $K \geq 0$.

В багатоетапних процесах з послідовним прийняттям рішень перехід системи від етапу до етапу і від стану до стану описується функціональними рівняннями. Якщо врахувати, що в динамічному програмуванні процес розглядається від кінця до початку, то типове функціональне рівняння, що описує дискретний процес, має вигляд:

$$f_N(K_{N-1}) = \max_{0 \leq x_N \leq K_{N-1}} \{g_N(x_N) + f_{N+1}(K_{N-1} - x_N)\}, \quad (4)$$

де f – мета процесу, його критерій (дохід, прибуток і т. д.);

N – число етапів, яке ще належить пройти в процесі;

x – змінна, що характеризує стан системи на N -му етапі;

$f_N(K)$ – результуюче значення критерію, яке може бути отримано за N залишкових етапів процесу, починаючи з стану K якщо слідувати принципу оптимальності;

x_N – керуюча змінна, від вибору якої залежить результуюче значення критерію;

$g_N(x_N)$ - величина критерію, отримана на N – му етапі при оптимальному виборі x_N в межах від 0 до K ;

$f_{N+1}(K_{N-1} - x_N)$ - результуюче оптимальне значення критерію, що досягається після проходження $(N - 1)$ залишкових етапів, починаючи з стану $K_{N-1} - x_N$.

Для вирішення другої задачі, а саме врахування фактору кризи та оцінки ефективності реалізації проекту пропонується використати показник чистого дисконтованого грошового потоку – критерій NPV. Виходячи з означення параметру NPV, та його розрахунку на кожному із етапів, при різних об'ємах витрат, доцільно записати отриманий на кожному із етапів дохід $r_i(p_i, I_i)$ через NPV у такому вигляді:

$$r_i(p_i, I_i) = \frac{p_i(K_{i-1}, x_i) + I_i(K_{i-1}, x_i)}{(1 + d)^i}. \quad (5)$$

Можливість зберегти таку особливість моделі, як постійна віддача

капіталу в довгостроковій перспективі, одночасно повернувши властивість збіжності, існує - відповідна ідея запропонована в роботі *Jones* та *Manuelli* (1990):

$$C_{i+1} = s * \varphi(C_i) - (n + \partial) * C_i + C_i \quad (6)$$

де

$$\varphi(C_i) = aC_i^\alpha \quad (7)$$

a – знання, продуктивність праці одного робітника;

α – коефіцієнт еластичності по капіталу.

s – норма заощаджень;

n – темп приросту;

∂ – коефіцієнт вибуття капіталу.

Таким чином рекурентне співвідношення, що описує ефективність управління для кожного з проектів на кожному з етапів матиме вигляд:

$$\begin{aligned} f_i(K_{i-1}) &= \max_{0 \leq x \leq K_{i-1}} \{g_i(K_{i-1}, x_i) + f_{i+1}, [r_i(K_{i-1}, x_i)]\} \\ r_i(p_i, I_i) &= \frac{p_i(K_{i-1}, x_i) + I_i(C_i)}{(1 + d)^i} \\ I_i(C) &= (C_{i+1} - C_i) \delta \\ C_{i+1} &= s * \varphi(C_i) - (n + \partial) * C_i + C_i \\ (i = 1, \dots, N) \quad (0 \leq x_i \leq K_{i-1}) \end{aligned} \quad (8)$$

Задача розв'язується поетапно. Етапами розв'язання задачі будуть послідовне знаходження оптимального розподілу вільних коштів для кожного з проектів на кожному з етапів.

Період часу тривалістю в 5 років поділимо на 5 етапів, поставивши у відповідність до кожного року один етап $N = 5, i = 1, 2, 3, 4, 5$.

Загальний дохід на i -тому етапі матиме вигляд:

$$\begin{aligned} p_i(K_{i-1}, x_i) &= 1,68(1 - e^{-0,4x}) + 0,75(1 - e^{-1,2(K-x)}) \\ &= 2,43 - 1,68e^{-0,4x} - 0,75e^{-1,2(K-x)} \end{aligned} \quad (9)$$

Під впливом управління x_i система на i -му кроці перейде зі стану K_{i-1} у стан K_i :

$$K_i = 0,81x_i + 0,45(K_{i-1} - x_i). \quad (10)$$

Основне функціональне рівняння буде виглядати наступним чином:

$$\begin{aligned} f_i(K_{i-1}, x_i) &= \max_{0 \leq x_i \leq K_{i-1}} \{[2,43 - 1,68e^{-0,4x_i} - 0,75e^{-1,2(K_{i-1}-x_i)}] \\ &\quad + f_{i+1}(0,81x_i + 0,45(K_{i-1} - x_i))\} \end{aligned} \quad (11)$$

Відшукування оптимального рішення почнемо з 5-го кроку, в початку якого необхідно розподілити необхідний залишок коштів K_4 . Для цього слід визначити оптимальне значення x_5 . Умовний оптимальний виграш на останньому кроці:

$$\begin{aligned} f_5(K_4, x_5) &= \max_{0 \leq x_5 \leq K_4} \{p_5(K_4, x_5)\} \\ &= \max_{0 \leq x_5 \leq K_4} \{2,43 - 1,68e^{-0,4x_5} - 0,75e^{-1,2(K_4-x_5)}\} \end{aligned} \quad (12)$$

Використовуючи метод диференціального обчислення, знаходимо

значення x_5 , при якому функція, що є випукла догори, на досягає свого максимуму або всередині відрізка $(0, K_4)$ або на лівому його кінці.

Знайдене умовне оптимальне керування на п'ятому кроці матиме вигляд:

$$x_5(K_4) = \begin{cases} 0 & \text{при } K_4 \leq 0,24 \\ 0,75K_4 - 0,18 & \text{при } K_4 > 0,24 \end{cases} \quad (13)$$

Знайдемо тепер умовний оптимальний дохід на п'ятому етапі, який вийде при такому управлінні:

$$f_5(K_4) = \begin{cases} 0,75(1 - e^{-1,2K_4}) & \text{при } K_4 \leq 0,24 \\ 2,98 - 2,4e^{-0,3K_4} & \text{при } K_4 > 0,24 \end{cases} \quad (14)$$

Послідовно визначимо оптимальні розподіли інвестиційних коштів на 4, 3, 2 та 1-му етапах. Таким чином, для передостаннього (четвертого) кроку маємо:

$$f_4(K_3, x_4) = \max_{0 \leq x_4 \leq K_3} \{ [2,43 - 1,68e^{-0,4x_4} - 0,75e^{-1,2(K_3-x_4)}] + f_5(0,81x_4 + 0,45(K_3 - x_4)) \} \quad (15)$$

Аналогічно отримаємо функціональні рівняння для третього та другого етапів:

$$f_3(K_2, x_3) = \max_{0 \leq x_3 \leq K_2} \{ [2,43 - 1,68e^{-0,4x_3} - 0,75e^{-1,2(K_2-x_3)}] + f_4(0,81x_3 + 0,45(K_2 - x_3)) \} \quad (16)$$

$$f_2(K_1, x_2) = \max_{0 \leq x_2 \leq K_1} \{ [2,43 - 1,68e^{-0,4x_2} - 0,75e^{-1,2(K_1-x_2)}] + f_3(0,81x_2 + 0,45(K_1 - x_2)) \}$$

Використовуючи метод диференціального обчислення знаходимо відповідно значення x_i на кожному з цих етапів інвестування.

Після цього нам залишається оптимізувати перший крок. Це - вже більш легке завдання, так як початковий стан системи $K_0 = 2$ нам відомо і, отже, не повинно змінюватись. Тому для першого кроку

$$\begin{aligned} f_1(K_0, x_1) &= p_1(K_0, x_1) + f_2(K_0) \\ &= [2,43 - 1,68e^{-0,4x_1} - 0,75e^{-1,2(K_0-x_1)}] + f_2(K_0) \\ f_1(K_0, x_1) &= [2,43 - 1,68e^{-0,4x_1} - 0,75e^{-1,2(2-x_1)}] + (0,81x_1 + 0,45(2 - x_1)) \end{aligned} \quad (17)$$

Максимум на цьому етапі також знайдемо методом диференціювання, тим самим визначивши значення відповідного йому безумовно оптимального керування на першому кроці, яке послужить в майбутньому точкою відліку для умовної оптимізації. Таким чином маємо:

$$\frac{df_1}{dx_1} = -0,082e^{1,2x_1} + 0,67e^{-0,4x_1} + 0,36 \quad (18)$$

Прирівнявши похідну до нуля, і проаналізувавши отримані дані, було визначено точку максимуму $x_1 = 1,78$.

Після того, як процес побудови умовних оптимальних управлінь і вигравів закінчений, треба провести другу стадію оптимізації, проходячи, крок за кроком, процес управління від першого кроку до останнього у ланцюжку:

$$x_1 \rightarrow K_0 \rightarrow x_2 \rightarrow K_1 \rightarrow x_3 \rightarrow K_2 \rightarrow x_4 \rightarrow K_3 \rightarrow x_5 \rightarrow K_4$$

На цьому етапі будуть враховуватися дисконтування та додаткові інвестиції у проекти. Таким чином, дисконтований подальший капітал для розподілу з врахуванням додаткових інвестицій на i -тому етапі матиме вигляд:

$$r_{i-1}(p_i, I_i) = \frac{p_i(K_{i-1}, x_i) + I_i(C_i)}{(1+d)^i}, (i = 1, \dots, N) \quad (19)$$

де $d = 5,4\%$, а значення $I_i(C_i)$ були розраховані виходячи з динаміки капіталу і дорівнюють:

2020	2021	2022	2023	2024
0,24	0,30	0,37	0,43	0,49

Отже почнемо з першого року. Знаючи, що $x_1 = 1,78$ та $K_0 = r_0 = 2$ млн. грн знаходимо значення максимального умовного доходу при такому розподілі:

$$f_1(K_0, x_1) = [2,43 - 1,68e^{-0,4x_1} - 0,75e^{-1,2(2-x_1)}] + (0,81x_1 + 0,45(2 - x_1)) = 2,571 \quad (20)$$

Далі нам необхідно визначити запас коштів після першого кроку:

$$K_1 = 0,81x_1 + 0,45(K_0 - x_1) = 1,44 + 0,099 = 1,54. \quad (21)$$

Далі продисконтуємо K_1 додавши до нього додаткові інвестиції:

$$r_1(p_1, I_1) = \frac{1,54 + 0,24}{(1 + 0,054)} = 1,69 \quad (22)$$

Розрахувавши аналогічно значення для всіх інших етапів можемо сформулювати наступні рекомендації по вкладанню засобів, при яких за п'ять років буде отримано максимальний дохід $W_{max} = 9,67$ млн. грн (див. табл.).

Таблиця – Оптимальний розподіл коштів по проектам

	Роки					
	0	1	2	3	4	5
К	2	1,54	1,44	1,27	1,15	0
1 проект	0	1,78	1,51	1,3	1,15	0,68
2 проект	0	0,22	0,18	0,14	0,12	0,47
Дохід	0	2,57	2,21	1,91	1,7	1,28

Висновки. В роботі розроблена економіко-математична модель, яка призначена для формування оптимального розподілу інвестиційних коштів між інноваційними проектами для зниження рівня фінансового ризику і ефективного використання обмежених інвестиційних ресурсів підприємства.

Досліджено і проаналізовано інструментарій та методологію побудови економіко-математичних моделей управління інвестиційною діяльністю підприємств. Для цього, в першу чергу було опрацьовано теоретико-методологічну базу поняття інвестиційно-інноваційної діяльності, а також

основні проблеми і задачі, з якими зштовхується таке підприємство.

Розроблена модель динамічного програмування була модернізована і адаптована під об'єкт дослідження, а саме молоду українську ІТ компанію ТОВ «ЗПОКЕН».

Розрахунки новоствореної моделі проводилися на двох реальних інноваційних проектах в які об'єкт нашого дослідження має наміри інвестувати. Таким чином компанія надала всі необхідні дані, що й дозволило розрахувати нашу модель й отримати оптимальне управління інвестиційними коштами.

Практична цінність даної роботи полягає у тому, що задача ефективного управління інвестиціями є необхідним елементом розвитку сучасних підприємств, а розроблена модель вирішує основні проблеми для досягнення цієї задачі. Модель може бути використана сучасним підприємством, яке має на меті інвестування у інноваційні проекти. Вона дозволить оптимально керувати розподілом інвестиційних коштів між проектами на всіх етапах їх формування. Більш того, оптимізація розглянутого процесу за допомогою математичних методів дозволяє скоротити ресурсні витрати підприємства.

Література:

1. Закон України " Про інвестиційну діяльність" [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1560-12>.
2. Закон України "Про цінні папери та фондовий ринок" [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/3480-15>.
3. Звіт про рух грошових коштів [Текст] : положення (стандарт) бухгалтерського обліку 4, затв. наказом Міністерства фінансів України № 87 від 31.03.99р. // Бухгалтерський облік і аудит. – 1999. – № 6. – С. 26-30.
4. Податковий кодекс України від 02.12.2010 № 2755-VI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2755-17>.
5. Звіт про рух грошових коштів [Текст] : положення (стандарт) бухгалтерського обліку 4, затв. наказом Міністерства фінансів України № 87 від 31.03.99р. // Бухгалтерський облік і аудит. – 1999. – № 6. – С. 26-30.
6. Бондар М. І. Стан та вдосконалення аналізу ефективності інвестицій [Текст] / М. І. Бондар // Економіка та держава. – 2008. – № 2. – С. 8-11. 7. Вовчак, О. Д. Інвестування: навч. посібн. [Текст] / О. Д. Вовчак. – Львів: Вид-во «Новий Світ-2000», 2007. – 544с.
7. Вентцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. — 2-е изд. — М.: Наука: Гл. ред. физ.-мат. лит, 1988. — 208 с.
8. Гаман М. В. Державне управління інноваціями: Україна та зарубіжний досвід : монографія / М. В. Гаман. – К. : Вікторія, 2004. – С. 104-131.
9. Глівенко С.В. Економічне прогнозування: навч. посібник / Глівенко С.В., Соколов М.О., Таліженко О.М. – 2-ге вид., перероб. та доп. – Суми: Видавництво «Університетська книга», 2001. – 207 с.
10. Економічний аналіз [Текст] : навч. посібник / М. А. Болюх, В. З. Бурчевський, М. І. Горбаток та ін.; За ред.акад. НАНУ, проф. М. Г. Чумаченка. – Вид.2-ге, перероб. і доп. – К.: КНЕУ, 2003. – 556 с.