

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ІНВЕСТУВАННЯ В ГАЛУЗІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

© Катренко А. В., Пастернак О. В., 2015

Розглянуто основні фактори, що впливають на ефективність інвестицій в ІТ, досліджені їх структурні складові та вплив на ефективність інвестування. Запропоновано багатокритерійну модель розподілення інвестицій в ІТ за періодами та обрання початкового моменту інвестування, проаналізовано можливі методи отримання рішень на ній та розроблено рекомендації щодо застосування цих методів.

Ключові слова: інвестування, інформаційні технології, критерій якості, математична модель, методи отримання рішень.

This article examines a question of basic factors that affect the efficiency of IT investments. Structural components and the effect on investment were investigated. A multi objective model of investment allocation in IT for the period and election of the initial date of investment was proposed. The methods for making decision and elaborated recommendations for using these methods were analysed.

Key words: investment, information technologies, quality criterion, mathematical model, methods for making decision.

Вступ

Моделі інвестування мають важливе значення як з теоретичного погляду – в теорії відтворення капіталу, так і широко використовуються на практиці – при оцінюванні вартості компаній, активів, у прийнятті рішень про шляхи розвитку бізнесу компаній тощо. Для обґрунтованого прийняття рішень в інвестиційній компанії потрібно враховувати значну кількість факторів впливу зовнішнього середовища, а також її внутрішній стан. Наслідком цього є необхідність використання значних об'ємів інформації з різномірних джерел, і ця інформація може стосуватися різних періодів часу. Так виникає проблема збереження і опрацювання значних обсягів інформації, яку використовують для прийняття як оперативних, так і стратегічних рішень [11]. Для прийняття обґрунтованих інвестиційних рішень необхідно розв'язати множину задач, що неможливо без застосування математичних моделей та алгоритмів, які реалізуються в межах інформаційних технологій (ІТ). За допомогою ІТ здійснюється інформаційне та аналітичне підтримання інвестиційних рішень.

Існуючі програмні продукти, орієнтовані на розв'язання інвестиційних задач, є фрагментарними, тобто дають змогу розв'язувати окремі задачі з множини задач прийняття інвестиційних рішень, що здебільшого стосуються оцінювання ефективності інвестиційних проектів, формування бізнес-планів, бюджетування проекту. В більшості спеціалізованих інформаційних систем не реалізована можливість ідентифікації поточної ситуації на фінансовому ринку та її прогнозування, формування інвестиційної політики. Оцінювання ефективності інвестиційних проектів та формування інвестиційного портфеля не пов'язане з інвестиційною політикою компанії. Тому актуальними є створення інформаційних систем в галузі інвестування, які працювали б з математичними моделями та використовували сучасні технології збереження і опрацювання даних та знань.

Загальна постановка проблеми

Організації, які пов'язані чи працюють безпосередньо в галузі ІТ, є в більшості проектно-орієнтованими високотехнологічними, і внаслідок високого рівня конкуренції середовище їх функціонування є активним, що зумовлює особливості інвестування в ІТ та відповідних математичних моделей оцінювання ефективності інвестицій. Більшість задач інвестування, які розв'язуються у інвестиційних компаніях, є по суті дескриптивними і дають змогу лише розрахувати значення тих чи інших показників чи критеріїв для визначеної ситуації. Тому основною проблемою є проблема оптимального інвестування з метою досягнення максимальної ефективності, тобто формування системи оптимізаційних задач, однією з найважливіших серед них є задача обрання оптимального моменту часу інвестування, а також об'єму інвестиції та розподілу її в часі.

Аналіз останніх досліджень

Прийняття інвестиційного рішення неможливе без врахування наступних факторів: вид інвестиції, вартість інвестиційного проекту, обмеженість фінансових ресурсів, які можуть бути використані для інвестування, ризик, пов'язаний з прийняттям того чи іншого рішення. Всесвітній Банк рекомендує використання для аналізу інвестицій такі основні підходи: аналіз чутливості (досліджується вплив заданих варіацій найважливіших для проекту вхідних параметрів на стійкість оцінок ефективності інвестиційного проекту); імітаційні моделі (значення недетермінованих вхідних параметрів генеруються давачами випадкових функцій); моделі, що орієнтовані на використання експертної інформації (метод сценаріїв, у якому досвідчені експерти пропрацюють декілька ймовірних варіантів розвитку подій при реалізації проекту).

Для оцінювання ефективності інвестиційних проектів широко використовуються *дескриптивні моделі* та методи розрахунку за їх допомогою дисконтованих фінансових параметрів інвестиції, найчастіше використовуються чистий приведений дохід (Net Present Value – NVP), внутрішній коефіцієнт окупності (Internal Rate of Return – IRR), термін окупності інвестицій (Payback Period – PB) [13,16,18]. Однак при використанні розрахункових методів не враховується невизначеність цих величин, яка не є стохастичною. Для розрахунку ефективності інвестицій в ІТ використовується ROI (Return of Investment) – показник, який ілюструє рівень прибутковості чи збитковості, враховуючи суму зроблених інвестицій [9]. Однак не всі переваги, які надаються інформаційними технологіями, можуть бути визначені за допомогою цього показника коректно (наприклад, конкурентні переваги, які отримуються внаслідок використання ІТ, складно коректно перевести в показники, необхідні для інвестиційного аналізу). Якщо ж вдається труднощі, пов'язані з відображенням переваг від використання ІТ в грошовій формі, подолати, для розрахунку ефективності інвестицій можуть застосовуватися класичні методи інвестиційного аналізу. Однак при використанні розрахункових методів не враховується невизначеність показників, яка не є стохастичною.

Якщо діє стохастична невизначеність, то для аналізу ефективності та ризику інвестицій використовуються *ймовірнісні моделі* [1,2]. Для кількісного оцінювання ризику використовуються моделі аналізу чутливості кон'юнктури (sensitivity analysis) чи аналізу розподілу вірогідностей дохідності (probability distributions). Однак стохастичні моделі в багатьох практичних випадках приводять до неадекватних результатів, особливо коли використовуються точкові оцінки. Побудова розподілу вірогідностей є інформативнішою, ніж точкове оцінювання, однак вимагає значних зусиль та високої кваліфікації експертів і, крім того, не завжди є адекватною реальній невизначеності.

Останнім часом для опрацювання невизначеностей інвестування (головним чином оцінювання ризиків) почали використовувати інтервальну математику та теорію нечітких множин. Аналіз характеру невизначеностей, які виявляються при фінансовому оцінюванні ефективності інвестицій, показав перспективність застосування *нечітко-інтервальних моделей* – розв'язуються проблеми, які є практично нерозв'язними в стохастичних моделях, можливі математичні операції з

параметрами, заданими в нечітко-інтервальній формі, описуються суб'єктивні невизначеності, лінгвістична інтерпретація дозволяє оперувати з висловлюваннями природною мовою.

Водночас існує порівняно невелика кількість досліджень, в яких розглядаються оптимізаційні задачі інвестування. В [7] наведено математичну модель у вигляді багатокрокової задачі лінійного програмування, але розв'язок, отриманий для граничних випадків за допомогою Z-перетворення, по суті є розв'язком іншої задачі за умов довготермінового інвестування в реальні активи, техніко-економічні характеристики яких відомі. В інших роботах [6] розглядаються динамічні математичні однокритерійні математичні моделі для різних форм фінансування, з різними критеріями якості (для банківського кредиту – сумарні нараховані проценти, зовнішнього прямого інвестування – “вартість” капіталу, з залученням грошових засобів від продажу акцій – сумарна рентабельність інвестиційної та фінансової діяльності; перші два критерії мінімізуються, третій – максимізується).

Задачу оптимального розподілу інвестицій на підприємстві за видами діяльності розглянуто в [1]. Математична модель є багатокритерійною, для отримання рішень за нею пропонується ряд методів: ідеальної точки, послідовних поступок, імітаційне моделювання. Для прийняття рішень в умовах невизначеності використовуються два принципи: найкращого очікуваного результату та найкращого абсолютно гарантованого результату, залежно від рівня невизначеності.

Отже, для обґрунтування ефективності інвестицій в ІТ здебільшого використовуються дескриптивні математичні моделі, рішення за якими отримують розрахунками. Якщо ж параметри дескриптивної моделі є стохастичними і відомі відповідні закони розподілу, то закон розподілу критерію – вихідного значення – можна отримати імітаційним моделюванням. Натомість з оптимізаційних моделей найчастіше використовуються однокритерійні, а у випадку формулювання багатокритерійних прагнуть звести їх до однокритерійних, щоб скористатись відомими методами отримання розв'язків для однокритерійних задач.

Формулювання мети

Метою статті є аналіз основних факторів впливу на ефективність інвестицій в ІТ та розроблення багатокритерійної математичної моделі оптимального інвестування в галузі ІТ.

Основні фактори впливу на ефективність інвестицій в ІТ

Основними факторами, що впливають на ефективність інвестицій в ІТ, є такі: ступінь розвинутості інфраструктури ІТ (людські ресурси, телекомунікації, доступність до найновіших розробок в галузі ІТ); об'єм ринку збуту; рівень конкуренції; вартість сучасних ІТ у країні інвестування. На рис. 1 систематизовано результати досліджень впливу цих факторів та типи моделей, які з цією метою було використано.

Ступінь розвиненості інфраструктури ІТ. Впровадження ІТ можливе лише за умови наявності відповідної інфраструктури, за допомогою якої здійснюється придбання, вивчення та успішне застосування ІТ (це стосується не лише використання технології, а й виробництва товарів та послуг з використанням ІТ). Ступінь розвиненості інфраструктури ІТ визначається такими факторами: людськими ресурсами, телекомунікаційними мережами, доступністю найновіших розробок у галузі ІТ, наявністю необхідного інвестиційного капіталу. Щодо людських ресурсів, то насамперед це рівень підготовки фахівців з розроблення ІТ та кваліфікації персоналу організації, яка прагне використовувати ІТ. Наявність телекомунікаційних мереж забезпечує швидкий обмін інформацією між окремими підрозділами організації, що дозволяє покращити ефективність управлінських рішень та впливає на результати реалізації ІТ-проектів. Розвинутий ринок ІТ у країні дає змогу скоротити час впровадження ІТ, оптимізувати інвестиційні затрати та покращити конкурентоспроможність фірми. Доступність кредитних ресурсів, а також можливість отримання міжнародних кредитів збільшує можливості реалізації інвестицій в ІТ.

Об'єм ринку збуту визначається об'ємом доходу (ВВП) на душу населення. Відповідно, зі зростанням цього показника збільшується і ефективність інвестицій в ІТ (рис. 1).

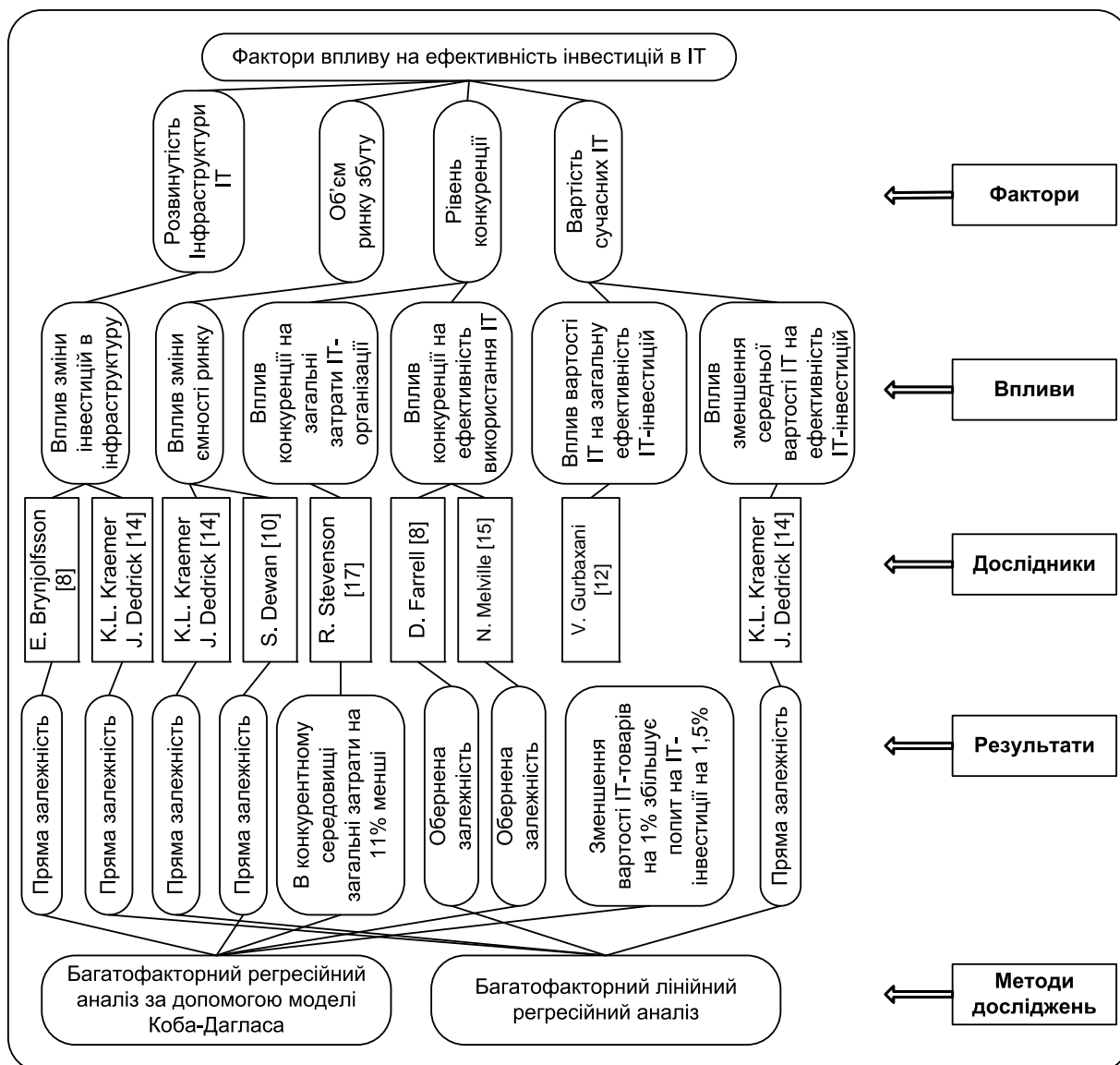


Рис. 1. Фактори впливу на ефективність інвестування в галузі ІТ

Рівень конкуренції. Організації, що функціонують за умов змінного середовища та сильної конкуренції, повинні опрацьовувати великий об'єм інформації, щоб відповідним чином реагувати на нові і складніші умови діяльності. ІТ є гнучкими, що дозволяє оперативно реалізувати зміни в висококонкурентних галузях (сучасні інтернет-технології дають змогу суттєво покращити якість обслуговування клієнтів). Впровадження ІТ допомагає організації підвищити рівень конкурентоспроможності диференціацією товарів та послуг, створення товарів та послуг, які не мають аналогів у конкурентів, продукування товарів-замінників раніше ніж конкуренти, що стимулює інвестиції в ІТ та дає змогу організаціям, що активно впроваджують ІТ, отримувати більший прибуток, ніж конкуренти.

Вартість сучасних ІТ у країні. Зменшення вартості ІТ у країні зумовлює зростання активності компаній, які реалізують проекти в галузі ІТ, зменшуються затрати, пов'язані з реалізацією ІТ-проектів, внаслідок чого зростає ефективність інвестицій в ІТ.

Обрання критеріїв оптимізації для задачі інвестування в ІТ

Насамперед необхідно сформулювати множину критеріїв оцінювання якості інвестицій в ІТ, і ця процедура повинна реалізовуватись кожного разу перед пошуком оптимального варіанта інвестицій. У багатьох випадках обрання критеріїв з множини можливих здійснюється на основі досвіду та інтуїції децидента – особи, що приймає рішення про інвестування. Однак у задачах

інвестування кількість можливих потенційних критеріїв може бути порядком 10–30. На практиці це завдання – обрання критеріїв – реалізується шляхом формулювання певних вимог, таких як якомога більша відповідність головним цілям організації; критерії повинні бути кількісними та чутливими до зміни альтернатив і т. ін. Сама процедура обрання критеріїв зазвичай є неформальною.

Аналіз сценаріїв реалізації інвестиційного проекту дозволяє сформувати множину показників (критеріїв) ефективності інвестиційного проекту, які залежать від факторів ділового середовища, хоча й не дозволяє обрати оптимальний період (момент часу) початку реалізації проекту.

Зрозуміло, що в різні моменти часу ефективність однакових інвестицій буде різною, і в принципі починати інвестування слід в той момент часу, в який сукупний вплив факторів забезпечить найбільший прибуток від реалізації інвестиційного проекту.

Звузати множину критеріїв оптимізації вилученням несуттєвих на момент прийняття рішення можна такою послідовністю кроків:

1. Впорядкування критеріїв за важливістю;
2. Визначення кількісно важливості кожного з критеріїв;
3. Визначення граничного значення важливості;
4. Відтинання критеріїв, які мають важливість меншу, ніж граничне значення.

Перші два кроки можна реалізувати побудовою матриці взаємодії критеріїв $A = \{a_{ij}\}$. У цій квадратній матриці A рядки та стовпчики відповідають критеріям, а елементом є ступінь взаємодії між критеріями. Вважатимемо, що всі критерії максимізуються – до такого вигляду завжди можна привести задачу оптимізації, змінивши знак перед критерієм, що мінімізується. В найпростішому варіанті отримання експертної інформації використовується значення: $+1$ (якщо збільшення значення критерію Q_i приводить до збільшення значення критерію Q_j) та -1 (у випадку, коли критерії діють взаємно протилежно). Так, наприклад, якість остаточного продукту Q_1 та час розроблення Q_2 є критеріями, які взаємодіють протилежно – час бажано мінімізувати (тобто $Q_2 = -Q_2 \rightarrow \max$), а якість – максимізувати ($Q_1 \rightarrow \max$). Збільшення значення Q_1 спричиняє зменшення значення Q_2 , і навпаки – збільшення значення Q_2 спричиняє зменшення значення Q_1 . Однак не для всіх критеріїв цей зв'язок є настільки детермінованим, а тому для врахування проміжних значень для адитивних парних порівнянь використовують числа, що належать інтервалу $[-1, +1]$. З врахуванням того, що вага кожного з критеріїв відома і становить для Q_i – λ_i , ($\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1, \forall (i=1, n): \lambda_i > 0$, де n – кількість критеріїв), значення нормалізованої інтегральної оцінки q_i для критерію Q_i обчислюють за формулою

$$q_i = \frac{\sum_{j=1}^n \lambda_j \times a_{ij}}{\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^n \lambda_j \times a_{ij})} \quad (1)$$

Для мультипликативних парних порівнянь, на погляд авторів, доцільно використовувати шкалу Сааті [3] у модифікованому вигляді, для критеріїв, що діють в одному напрямку (таблиця).

Якщо ж критерії діють у різних напрямках, тобто збільшення значення одного критерію спричиняє зменшення значення іншого, то використовується обернене значення. В цьому випадку нормалізована інтегральна оцінка обчислюється за формулою

$$q_i = \frac{\prod_{j=1}^n a_{ij}^{\lambda_j}}{\sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n a_{ij}^{\lambda_j} \right)} \quad (2)$$

Шкала оцінювання сили взаємодії критеріїв

Сила взаємодії критеріїв	Якісна оцінка експерта
1	незначна
3	відчутна
5	суттєво відчутна
7	значна
9	майже повна
2,4,6,8	проміжні оцінки

Ця процедура зручна у випадку, коли кількість критеріїв не перевищує 7-ми. У випадку більшої кількості критеріїв доцільно опитування експертів реалізувати локально за вершинами ієрархії дерева цілей для кожного вузла, і потім, рухаючись від листя дерева (рівень критеріїв), визначити глобальну важливість кожного критерію з огляду на генеральну мету інвестування.

Математична модель багатокритерійної задачі інвестування в ІТ

Одними з найважливіших критеріїв, які впливають на ефективність інвестування, є частка інвестицій в ІТ, вартість ІТ, ВВП на душу населення, частка ринку.

Відповідно до цього побудована багатокритерійна модель розподілу ІТ-інвестицій за інтервалами часу:

$$\begin{aligned}
 Q_1(x) &= \sum_{i=1}^n a_i x_i \Rightarrow \max, & Q_2(x) &= \sum_{i=1}^n v_i x_i \Rightarrow \min, \\
 Q_3(x) &= \sum_{i=1}^n c_i x_i \Rightarrow \max, & Q_4(x) &= \sum_{i=1}^n r_i x_i \Rightarrow \max, \\
 \sum_{i=1}^n a_i &= 1, & 0 < a_i < 1, & v_i > 0, c_i > 0, 0 < r_i < 1, x_i \in (0;1), i = \overline{1, n}
 \end{aligned} \tag{3}$$

де $x_i = 0$, якщо i -й період не інвестується; $x_i = 1$, якщо здійснюються інвестиція, n – кількість періодів; a_i – частка інвестицій в ІТ в ВВП країни; v_i – середня вартість сучасних ІТ на локальному ринку в i -му періоді; c_i – величина на ВВП країни на душу населення в i -му періоді; r_i – частка ринку, яку займає інвестована організація в i -му періоді. Критеріями якості є $Q_1(x)$ – сумарна частка інвестицій в ІТ за період розгляду – необхідно обрати такі інтервали часу для інвестицій, щоб ця частка була максимальною, $Q_2(x)$ – сумарна вартість ІТ за весь період – необхідно обрати такі інтервали часу, щоб вона була мінімальною, $Q_3(x)$ – сумарний ВВП за обрані періоди повинен бути максимальним, та $Q_4(x)$ – сумарна частка ринку за обрані періоди, яка теж повинна бути максимальною. Розраховують прогнозні значення параметрів критеріїв за допомогою таких методів: адитивного та мультипликативного згладжування, звичайного та подвійного експоненційного згладжування, методів звичайного та подвійного поточного середнього.

Звичайно, розв'язком цієї задачі буде множина парето-оптимальних розв'язків, які отримані для критеріїв, що є частково або повністю суперечливими. Але оскільки для реалізації необхідно обрати один варіант, то така невизначеність повинна бути усунена, а це можливо лише із залученням додаткової інформації від експертів або безпосереднім обранням розв'язку з множини можливих, ґрунтуючись на досвіді та інтуїції децидента. З іншого боку, безпосередня побудова множини парето-оптимальних розв'язків в абсолютній більшості випадків є неможливою, і чи не єдиною можливістю отримання розв'язку є включення децидента в процес розв'язання задачі з метою поступового звуження інтервалу пошуку на множині парето-оптимальних розв'язків, або ж для визначення напрямку руху до множини парето-оптимальних розв'язків – в цьому випадку вважається, що перший знайдений парето-оптимальний розв'язок і є остаточним.

Звичайно, в багатьох випадках доцільно обмежитися двома критеріями, які відображають найважливіші аспекти інвестування в ІТ: $дохід \rightarrow \max$, $ризик \rightarrow \min$. Особливістю цієї постановки задачі є те, що наслідки прийнятого рішення стануть зрозумілими лише в майбутньому, і це відображає особливості інвестування в ІТ, а саме – значний рівень невизначеностей, які в більшості випадків не описуються стохастичними моделями внаслідок унікальності та високого рівня технологічності розробок у галузі ІТ.

Методи отримання рішень на моделі багатокритерійної оптимізації інвестицій в ІТ

Розв'язок задачі багатокритерійної оптимізації повинен задовільняти такі дві вимоги:

1. Належати до множини парето-оптимальних.
2. Відповідати системі переваг децидента.

Для того, щоб розв'язок був адекватним, ці дві вимоги повинні виконуватись одночасно. Невиконання хоча б однієї з цих вимог (рис. 2) приводить до ускладнень. Так, розв'язок 1 належить до множини парето-оптимальних, але не відповідає системі переваг децидента – якщо для нього важливішим є збільшення значення критерію Q_1 , ніж Q_2 , то він буде при порівнянні розв'язків А та В схильний скоріше обрати розв'язок В, ніж розв'язок А. Водночас, якщо порівнювати розв'язки В та ті, що знаходяться на дузі CD, які належать до парето-оптимальних, то всі вони будуть кращими за В.

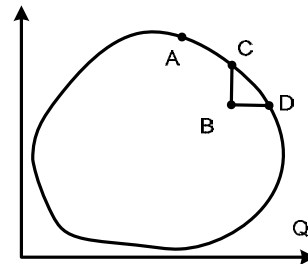


Рис. 2. Співвідношення між оптимальними за Парето та відповідними системі переваг децидента альтернативами

У більшості випадків прагнуть перейти від багатокритерійної задачі до однокритерійної шляхом згортання критеріїв. *Однокритерійна задача оптимізації інвестицій* використовується в багатьох випадках, однак це є доцільним у випадку абсолютного домінування одного з критеріїв над іншими та майже детермінованої ситуації, коли ступінь невизначеності є незначним і значення параметрів задачі можна вважати точними.

Лінійне згортання будує глобальний критерій у вигляді лінійної комбінації компонент векторного критерію якості з ваговими коефіцієнтами, основним призначенням яких є врахування відносної важливості критеріїв:

$$Q(x) = \sum_{i=1}^n (\lambda_i \times Q_i(x)) \Rightarrow \text{Max}, x \in X, \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1, \lambda_i > 0, i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

де $Q_i(x)$ – i -та компонента векторного критерію якості; λ_i – ваговий коефіцієнт, що відображає відносну важливість i -го критерію.

Лінійне згортання нормованих критеріїв будується на ідеї приведення часткових критеріїв до безрозмірних величин з інтервалом можливих значень кожного з них $[0,1]$. Для того, щоб здійснити таке перетворення, децидент повинен вказати для кожного з критеріїв межі його зміни від мінімального Q_i^{\min} до максимального Q_i^{\max} значення, та коефіцієнти відносної важливості нормованих критеріїв λ_i :

$$Q(x) = \sum_{i=1}^n \left(\lambda_i \times \frac{Q_i(x) - Q_i^{\min}}{Q_i^{\max} - Q_i^{\min}} \right) \Rightarrow \text{Max}, x \in X, \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1, \lambda_i > 0, i = \overline{1, n} \quad (5)$$

Основною проблемою цих методів є проблема виявлення точних значень вагових коефіцієнтів – ця процедура в більшості випадків є суб'єктивною. Окрім того, коефіцієнти за методом лінійного згортання повинні бути розмірними величинами, тому що критерії переважно мають різну розмірність. З метою позбавлення від цього недоліку в згортанні нормованих критеріїв окремі критерії спочатку нормуються (нормовані критерії є безрозмірними та змінюються в інтервалі від 0 до 1).

Але нормовані критерії, які з'являються внаслідок такого “вдосконалення”, не мають змістовного навантаження, і тому об'єктивне визначення вагових коефіцієнтів ще більш ускладнюється. Отже, невизначеність мети, що викликана багатокритерійністю, не розв'язується, а переноситься в іншу інстанцію – виникає проблема визначення числових значень вагових коефіцієнтів [4].

З іншого боку, у випадку опуклої області значень векторного критерію лінійне згортання можна використати з метою отримання декількох рішень, оптимальних за Парето, шляхом зміни значень вагових коефіцієнтів, що дає можливість дециденту в діалозі дослідити саме ту частину області Парето, яка цікавитиме його найбільше. Адитивні згортання мають ще один недолік – значення глобального критерію може забезпечуватися дуже великим значенням одного зі складових критеріїв за рахунок мінімальних значень інших. Тому в таких випадках доцільно розглянути мультипликативне згортання.

Дещо ліпшим є використання функцій корисності, але в цьому випадку необхідно для їх побудови використовувати діалогові процедури опитування децидентів. Метод послідовних поступок є гнучким і дозволяє отримати остаточний розв'язок, який належить до множини парето-оптимальних. Використовуючи його декількаразово, можна отримати певну кількість розв'язків, що належать множині парето-оптимальних. У тому випадку, коли є як кількісні, так і якісні критерії, і декілька альтернативних варіантів інвестування, доцільно використовувати МАІ (метод аналітичної ієрархії). Однак у цьому випадку можуть виникнути певні труднощі в процесі генерування таких альтернатив.

Перспективним підходом є побудова алгоритмів розв'язання багатокритерійних задач, які поєднують кращі властивості методу послідовних поступок та МАІ. В цьому випадку метод послідовних поступок використовується з кількісними критеріями декількаразово для отримання достатньо різних розв'язків, що належать множині парето-оптимальних. На наступному кроці використовується МАІ з редукованим відповідно ситуації деревом цілей, в якому на рівні листя є як кількісні, так і якісні критерії, які слугують для остаточного оцінювання альтернатив, отриманих за допомогою методу послідовних поступок, та обрання серед них остаточної. Так вдається врахувати як кількісні, так і якісні критерії.

Для обрання критеріїв пропонується побудова дерева цілей з повною множиною критеріїв [5] та застосування до нього МАІ з метою звуження її відповідно конкретному моменту часу (обрання критеріїв за допомогою граничної важливості). Надалі, якщо критерії є однієї розмірності – застосування згортання з отриманими за допомогою МАІ значеннями пріоритетів критеріїв (перерахованих відповідно на звуженій множині). Якщо ж ні, то розв'язання багатокритерійної задачі з критеріями різної розмірності. (багатокритерійна задача булевого програмування).

Висновки та перспективи подальших наукових розвідок

У роботі систематизовано основні фактори, що впливають на ефективність інвестицій в ІТ – а саме: ступінь розвиненості інфраструктури ІТ, об'єм ринку збуту, рівень конкуренції, вартість сучасних ІТ в країні інвестування. Досліджено їх структурні складові та вплив на складові ефективності інвестування в ІТ.

Автори запропонували багатокритерійну модель розподілення інвестицій в ІТ за періодами та обрання початкового моменту інвестування, проаналізували можливі методи отримання рішень на ній та розробили рекомендації щодо застосування цих методів.

1. Баркалов С. А. и др. *Оптимизационные модели распределения инвестиций на предприятии по видам деятельности* / С. А. Баркалов, О. Н. Бакунец, И. В. Гуреева, В. Н. Колпачев, И. Б. Руссман. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 68 с.
2. Деверадж С. *Тайны ИТ – измерение отдачи от инвестиций в информационные технологии* / С. Деверадж, Р. Кохли – М.: Бук-Пресс, 2006. – 179 с.
3. Катренко А. В. *Системний аналіз* / А. В. Катренко – Львів: “Новий світ – 2000”, 2011. – 395 с.
4. Катренко А. В. *Дослідження операцій* / А. В. Катренко – Львів: “Магнолія плюс”, 2014. – 349 с.
5. Катренко А. В. *Системні аспекти інвестування в галузі інформаційних технологій* /

А. В. Катренко, О. В. Пастернак // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2014. – № 805. – С. 402–411. 6. Москаленко В. В. Математические модели управления процессами финансирования инвестиционных проектов / В. В. Москаленко, В. В. Кондращенко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2011. – № 4. – с. 61–73. 7. Победаш П. Н. Анализ модели оптимального управления реальными инвестициями на основе операционного подхода / П. Н. Победаш // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического ун-та. Серия “Информатика. Телекоммуникации. Управление”. – 2009. – № 6(91). – с. 75-81. 8. Brynjolfsson, E. “Is information systems spending productive? New evidence and new results / E. Brynjolfsson, H. Hitt // Proceedings of the 14th International Conference on Information Systems. – 1993. – p. 47-64. 9. Cresswell Anthony M. Return on Investment in Information Technology: A Guide for Managers/ A. M. Cresswell // Center for Technology in Government, University at Albany, SUNY – 2004 –46 p. 10. Dewan, S. Information technology and productivity and productivity: evidence from country-level data / S. Dewan, K. L. Kraemer // Management Science. – Vol. 46, № 4. – P. 548-562. 11. Farrell, D. How IT enables productivity growth / D. Farrell. – San Francisco: McKinsey Global Institute. – 2002. – 245 p. 12. Gurbaxani, V. The demand for IT capital: an empirical analysis / V. Gurbaxani // Decision Support Systems. – 1992. – Vol. 8, № 5. – P. 387–403. 13. Information Technology Investment Management. A Framework for Assessing and Improving Process Maturity // US GAO – 2004. –136 p. 14. Kraemer K. L. Payoffs from investment in information technology: lessons from the Asia-pacific region / K. L. Kraemer, J. Dedrick // World Development. – 1994. – № 22. – p. 1921-1931. 15. Melville N. IT business value and industry effects: the role of the competitive environment / N. Melville // Decision Support Systems. – 2007. – p. 1-33. 16. Schniederjans M. J. Information Technology Investment. Decision-Making Methodology / M. J. Schniederjans, J. L. Hamaker, A. M. Schniederjans. – World Scientific Publishing – 2005. – 389 p. 17. Stevenson, R. X-inefficiency and Interfirm Rivalry: evidence from electric utility industry / R. Stevenson // Land Economics. – 1982. – Vol. 58. – № 1. – p. 24–45. 18. Renkema T.J. W. The IT value quest: how to capture the business value of IT based infrastructure / T.J.W Renkema. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd.. – 2000. – 205 p.