

Никифоров Анатолій Євгенович,
д.е.н., професор кафедри національної
економіки та публічного управління
Київський національний економічний
університет імені Вадима Гетьмана

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ ІНВЕСТИЦІЙНО-ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ ПУБЛІЧНО-ПРИВАТНОГО ПАРТНЕРСТВА

Анотація. Стаття присвячена застосуванню технологій системного аналізу в сфері вибору управлінського рішення за критеріями результативності в умовах невизначеності з використанням декількох різних за сутністю принципів оптимальності. Відмічається, що умови невизначеності виникають у наслідок впливу некерованих факторів на результативність управлінських рішень. Запропоновано використання принципів оптимізму, песимізму, гарантованого результату, гарантованих втрат, мінімаксного ризику (принципу Севіджа) для системного обґрунтування управлінських рішень. Технології системного аналізу, а саме, багатокритеріальної оптимізації, апробовані на прикладі вибору органами місцевого самоврядування найбільш ефективного проекту публічно-приватного партнерства у сфері інвестування в інноваційні проекти розвитку інфраструктури.

Ключові слова: принцип оптимальності, невизначеність, управлінські рішення.

Abstract. The article is devoted to the system analysis technologies application in the sphere of managerial decision selection based on performance criteria under uncertainty using different optimality principles. Conditions of uncertainty arise due to the influence of uncontrollable factors on the effectiveness of managerial decisions is noted. The use of the principles of optimism, pessimism, guaranteed results, guaranteed losses, minimax risk (Savage principle) for the systematic justification of managerial decisions is proposed. Multi-criteria optimization as a system analysis technology for the most effective choice of project under uncertainty is used. An

example of optimal choice of local authorities by the public-private partnership project in the field of investment in infrastructure development is given.

Keywords: principle, optimality, multi-criteria, managerial decision, uncertainty

Аннотация. Статья посвящена применению технологий системного анализа в сфере выбора управленческого решения по критериям результативности в условиях неопределенности с использованием нескольких различных по сущности принципов оптимальности. Отмечается, что условия неопределенности возникают в результате влияния неуправляемых факторов на эффективность управленческих решений. Предложено использование принципов оптимизма, пессимизма, гарантированного результата, гарантированных затрат, минимаксного риска (принципа Севиджа) для системного обоснования управленческих решений. Технологии системного анализа, а именно, многокритериальной оптимизации, апробированы на примере выбора органами местного самоуправления наиболее эффективного проекта публично-частого партнерства в сфере инвестирования в инновационные проекты развития инфраструктуры.

Ключевые слова: принцип оптимальности, неопределенность, управленческие решения.

Вступ. Розвиток інформаційних технологій та комунікацій значно посилює конкуренцію в усіх формах прояву, що є загальним чинником невизначеності умов господарювання. Загальні тенденції невизначеності середовища господарювання значно посилюються в Україні у наслідок незавершеності процесів ринкових трансформацій в економіці, нестабільності в політиці та суспільному житті. На усіх ієрархічних рівнях економічної системи ці процеси породжують додаткове ускладнення умов господарювання. Тому розроблення методології обґрунтування управлінських рішень органів державної влади та місцевого самоврядування (УР) в умовах невизначеності та ризику, яка б могла використовуватися як установами державного управління, так й органами

місцевого самоврядування, стає дуже актуальним для економічної науки в Україні.

Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах децентралізації влади, з переходом на засади публічного управління, коли значні фінансові ресурси на інвестиційні цілі передаються місцевим громадам. Так. За обстеженням Національного агентства України з питань державної служби в рамках проекту «Council Europe» близько 70% опитаних респондентів з територіальних громад усіх регіонів висловилися, що пріоритетом діяльності органів місцевого самоврядування є інфраструктурні інвестиції [1]. Зокрема, у 2020 р. лише на ремонт, будівництво та реконструкцію автодоріг виділено 55,6 млрд. грн.[2]. Інвестиційні проекти в інфраструктуру соціального характеру не мають прямого економічного ефекту. Ми підтримуємо думку фахівців Світового банку, які відмічають, що ефект від подібних проектів виникає як результат синергетичного та мультиплікативного впливу на економіку різних за характером прояву ефектів (економічних, соціальних, екологічних та інших) [3]. Отже сучасна практика публічного управління стикається з проблемою вибору рішення за декількома (багатьма) критеріями в умовах невизначеності та ризику. Це потребує наукового розроблення нових технологій системного аналізу, які дають змогу обґрунтовувати УР за допомогою використання декількох принципів оптимальності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні основи врахування невизначеності при прийнятті управлінських рішень розроблені у працях фундаторів цього наукового напрямку: Ф. Найта [4], Г. Саймона [5]. Завдяки дослідженням Л. Заде, невизначеність більше не розглядається як деяка зовнішня перешкода для прийняття управлінських рішень, а трактується як її невід’ємна характеристика функціонування економічних систем [6].

Для оцінки результативності УР, яка проводиться на стадії обґрунтування доцільності їх реалізації, в економічній літературі пропонується використовувати детерміновані та імовірнісні моделі. Застосування детермінованого підходу передбачає, що результати очікувань повинні мати

однозначне трактування і точну оцінку. Такий підхід призводить до суттєвих обмежень його застосування в умовах невизначеності і непередбачуваності зовнішнього середовища. Найбільш широко у науковій літературі висвітлюється один з можливих шляхів вирішення цієї проблеми, що полягає в удосконаленні методології прогнозування та використання імовірнісних моделей. Проте використання цих моделей ускладнюється невизначеністю факторів, що характеризують зовнішнє середовище. На практиці це призводить до зниження достовірності імовірнісних моделей. Зважаючи на недоліки детермінованих та імовірнісних моделей, авторами пропонується адаптувати для вибору оптимальних УР методи теорії ігор.

Виклад основного матеріалу. При прийнятті рішень щодо доцільності реалізації УР доводиться враховувати фактори зовнішнього середовища, які є некерованими, і фактори, на які держава і суб'єкти господарювання можуть впливати, тобто є керованими. Керовані фактори мають фінансовий, матеріально-технічний та організаційний зміст. Припускається, що корегування керованих факторів має на меті досягнення максимальної ефективності УР.

Можливі варіанти УР, які спрямовані на досягнення оптимального результату, позначимо через X_j . Для місцевих громад такими УР можуть бути, наприклад, проекти реконструкції автодороги, капітального ремонту школи, будівництва стадіону, будівництва очисних споруд. Ці УР є альтернативними. набір цих альтернатив матиме вид:

$$X = \{X_j\}, j = \overline{1, m}. \quad (1)$$

Тоді область вибору оптимальних УР обумовлена впливом некерованих факторів. До некерованих факторів (Y_i) належать: макроекономічні умови господарювання, зовнішньоекономічні чинники, соціальні, екологічні і т.п. набір некерованих чинників позначимо через:

$$Y = \{Y_i\}, i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Оцінка результативності УР виконується за допомогою критерію (E). Критеріями результативності, у нашому прикладі, можуть бути показники економічного, соціального, екологічного результату. При цьому результати

оцінюється за допомогою абсолютних або відносних показників ефективності. Абсолютні показники визначаються як різниця між результатом та витратами ресурсів на досягнення цього результату. Абсолютні показники отримали назву ефекту. Обов'язковою умовою їх застосування є однаковість одиниць виміру результату і витрат. Відносні показники визначаються діленням результату на кількість витрачених ресурсів на досягнення цього результату. Відносні показники можуть застосовуватися як за однакових, так і за різних одиниць виміру чисельника і знаменника. Тому їх доцільно використовувати у системному аналізі різних УР. Отже, критерієм результативності є відносний показник – ефективність. Для оцінки результативності УР найчастіше застосовуються показники економічної ефективності, які дають змогу провести їх компаративний аналіз, а саме: внутрішня норма прибутку, коефіцієнт вигоди-витрати, строк окупності інвестицій. При цьому у кількісному вимірі вплив кожного з некерованих факторів (Y_i) на ефективність будь-якого УР (X_j) буде різним. Залежність величини показника, що використовується у якості критерію ефективності, від альтернатив та некерованих факторів має вид:

$$E = E(X, Y) \quad (3)$$

За умови, що альтернативи X и фактори Y є дискретними, формується матриця ефективності:

$$\|E(X, Y)\| \quad (4)$$

Матриця 4 дає змогу визначити найкращий варіант УР ($x^0 \in X$) за допомогою одного з принципів оптимальності. Такими принципами можуть бути: максимум ефективності (оптимістичний принцип), мінімум ефективності (песимістичний принцип), принцип гарантованого результату або інші. З метою системного аналізу ефективності УР та вибору оптимального рішення можуть застосовуватися декілька принципів:

$$G = \{g_l\}, l = \overline{1, L} \quad (5)$$

Кожен з принципів оптимальності у загальному випадку призводить до різних висновків відносно ефективності УР. При цьому можливі наступні дві ситуації:

1. Результати використання кожного принципу оптимальності призводять до вибору одного і того самого УР,

$$x_1(q_1) = x_2(q_2) = \dots = x_n(q_n) \quad (6)$$

2. Оптимальні УР, що визначаються при застосуванні різних принципів, є різними, тобто:

$$x_1(q_1) \neq x_2(q_2) \neq \dots \neq x_n(q_n) \quad (7)$$

У ситуаціях, коли оптимальні УР за усіма принципами не збігаються, виникає проблема визначення остаточного УР, яке на основі системного аналізу багатокритеріальної моделі ефективності приймається для реалізації.

Розглянемо приклад вибору оптимального УР на основі оцінки економічної ефективності проектів державно-приватного партнерства (ДПП) в умовах невизначеності з використанням декількох принципів оптимальності. Припустимо, що на конкурс подано чотири проекти ДПП (x_1, x_2, x_3, x_4), для вибору яких застосовуються основні принципи оптимальності: оптимізму; песимізму; гарантованого результату; гарантованих втрат; принцип Севіджа.

Створення моделі вибору оптимального УР на основі теорії ігор, повинно починатися з побудови матриці ефективності. Найбільш трудомістким і відповідальним етапом застосування ігрових моделей для визначення оптимального УР є економічне оцінювання показників, на основі яких будується матриця ефективності, тому що неточні оцінки у матриці ефективності не можуть бути компенсовані жодними обчислювальними методами і, як правило, приводять до помилкового підсумкового результату.

При побудові матриці ефективності припускається, що некеровані фактори ($y_1 \dots y_n$) впливають на ефективність УР одночасно, проте у кожному y_i надається перевага впливу відповідного i -го некерованого фактору. Переважний вплив 1-го фактору (y_1) на ефективність проекту ДПП за номером 1 (x_1) оцінюється величиною ефективності E_{11} , переважний вплив 2-го фактору (y_2) на ефективність 1-го проекту (x_1) – величиною E_{12} і т. д. (табл. 1).

Таблиця 1

Матриця ефективності

	<i>y</i>	<i>y</i> ₁	<i>y</i> ₂	...	<i>y</i> _{<i>n</i>}
<i>x</i>					
<i>x</i> ₁		<i>E</i> ₁₁	<i>E</i> ₁₂	...	<i>E</i> _{1<i>n</i>}
<i>x</i> ₂		<i>E</i> ₂₁	<i>E</i> ₂₂	...	<i>E</i> _{2<i>n</i>}
...	
<i>x</i> _{<i>m</i>}		<i>E</i> _{<i>m</i>1}	<i>E</i> _{<i>m</i>2}	...	<i>E</i> _{<i>m</i><i>n</i>}

На основі принципу оптимізму визначається верхня межа ефективності проектів ДПП в умовах невизначеності зовнішнього середовища, яка дає змогу вибрати оптимальний проект:

$$E_{opt} = \max_{x \in X} \max_{y \in Y} E(x, y) \quad (8)$$

Таблиця 2

Матриця ефективності за принципом оптимізму

	<i>y</i>	<i>y</i> ₁	<i>y</i> ₂	...	<i>y</i> _{<i>n</i>}	<i>maxE</i>
<i>x</i>						
<i>x</i> ₁		<i>E</i> ₁₁	<i>E</i> ₁₂	...	<i>E</i> _{1<i>n</i>}	<i>E</i> _{1<i>max</i>}
<i>x</i> ₂		<i>E</i> ₂₁	<i>E</i> ₂₂	...	<i>E</i> _{2<i>n</i>}	<i>E</i> _{2<i>max</i>}
...		
<i>x</i> _{<i>m</i>}		<i>E</i> _{<i>m</i>1}	<i>E</i> _{<i>m</i>2}	...	<i>E</i> _{<i>m</i><i>n</i>}	<i>E</i> _{<i>m</i><i>max</i>}

Принцип песимізму передбачає, що некеровані фактори діють самим несприятливим чином, а ті, що керуються, використовуються нераціонально. Цей принцип визначає нижню межу ефективності проектів ДПП, які обираються для реалізації за умов впливу некерованих факторів. Принцип песимізму запишемо у виді:

$$E_{i\bar{a}n\bar{n}} = \min_{x \in X} \min_{y \in Y} E(x, y) \quad (9)$$

Таблиця 3

Матриця ефективності за принципом песимізму

	<i>y</i>	<i>y</i> ₁	<i>y</i> ₂	...	<i>y</i> _{<i>n</i>}	<i>minE</i>
<i>x</i>						
<i>x</i> ₁		<i>E</i> ₁₁	<i>E</i> ₁₂	...	<i>E</i> _{1<i>n</i>}	<i>E</i> _{1<i>min</i>}
<i>x</i> ₂		<i>E</i> ₂₁	<i>E</i> ₂₂	...	<i>E</i> _{2<i>n</i>}	<i>E</i> _{2<i>min</i>}
...		
<i>x</i> _{<i>m</i>}		<i>E</i> _{<i>m</i>1}	<i>E</i> _{<i>m</i>2}	...	<i>E</i> _{<i>m</i><i>n</i>}	<i>E</i> _{<i>m</i><i>min</i>}

Принцип гарантованого результату показує, який гарантований результат

ми можемо отримати при наявності некерованих факторів, які діють найбільш несприятливим чином. Цей принцип запишемо у виді:

$$E_z = \min_{x \in X, y \in Y} \min Eg(x, y) \quad (10)$$

Таблиця 4

Матриця ефективності за принципом гарантованого результату

$x \backslash y$	y_1	y_2	...	y_n	$\min Eg$
x_1	E_{11}	E_{12}	...	E_{1n}	$E_{1g \min}$
x_2	E_{21}	E_{22}	...	E_{2n}	$E_{2g \min}$
...	
x_m	E_{m1}	E_{m2}	...	E_{mn}	$E_{mg \min}$

Принцип Севіджа використовується для визначення мінімальної величини збитків (фактичних або потенційних), що обумовлені впливом некерованих факторів:

$$Y_{\bar{a}} = \min_{x \in X, y' \in Y} \max Y(x, y') \quad (11)$$

де $Y(x, y') = \max E(x, y') - E(x, y')$ – величиною збитків, що обумовлені вибором неоптимального проекту ДПП;

y' – фіксована величина y .

Таблиця 5

Матриця збитків за принципом Севіджа

$x \backslash y$	y_1	y_2	...	y_m	$\max Y$
x_1	Y_{11}	Y_{12}	...	Y_{1m}	$Y_{1\max}$
x_2	Y_{21}	Y_{22}	...	Y_{2m}	$Y_{2\max}$
...	
x_n	Y_{n1}	Y_{n2}	...	Y_{nm}	$E_{n\max}$

За принципом гарантованих втрат визначаються відхилення (втрати) ефективності, що обумовлені дією некерованих факторів. Цей принцип формулюється наступним чином:

$$Pz = \min_{x' \in X, y \in Y} \max \Pi(x', y) \quad (12)$$

$$\Pi(x', y) = E(x', y)_{\max} - E(x, y),$$

де x' – фіксована величина x .

Матриця втрат за принципом гарантованих втрат

$x \backslash y$	y_1	y_2	...	y_m	$max\Pi$
x_1	Π_{11}	Π_{12}	...	Π_{1m}	Π_{1max}
x_2	Π_{21}	Π_{22}	...	Π_{2m}	Π_{2max}
...
x_n	Π_{n1}	Π_{n2}	...	Π_{nm}	Π_{nmax}

Для апробації багатокритеріальних технологій системного аналізу УР на основі застосування ігрових моделей розглянемо наш приклад. Припустимо, що на конкурс, який проводять органи державної влади або місцевого самоврядування, запропоновано чотири проекти (x_1, x_2, x_3, x_4) публічно-приватного партнерства (ППП): x_1 – реконструкції автодороги, x_2 – капітальний ремонт школи, будівництво стадіону, будівництво очисних споруд. Ефективність цих проектів суттєво залежить від впливу некерованих факторів: y_1 – макроекономічного – заощаджень населення; y_2 – зовнішньоекономічного – співвідношення цін на вітчизняні та аналогічні імпорتنі товари; y_3 – соціального – зміни попиту на галузевих ринках (у наслідок змін уподобання населення). Для того щоб заповнити матриці ефективності необхідно щоб величина факторів (y_1, y_2, y_3, y_4) була кількісно виміряна і приведена до компаративного виду. Таке приведення виконується з використанням методики розрахунку нормованих показників і переведення усіх показників у бальну оцінку за допомогою єдиної шкали. У нашому прикладі шкала має діапазон від 1 до 15 балів (табл.7).

Таблиця 7

Матриця ефективності проектів PPP

$x \backslash y$	y_1	y_2	y_3	$maxE$	$minE$
x_1	7	9	5	9	5
x_2	2	7	12	12	2
x_3	3	8	4	8	3
x_4	1	10	6	10	1

Визначимо оптимальні PPP відповідно до критерію економічної ефективності за наведеними вище принципами оптимальності:

- 1) за принципом оптимізму: $x_{opt}^0 = x_2, E_{onn} = 12$ од;

2) за принципом песимізму: $x_{opt}^0 = x_4, E_{nec} = 1$ од;

3) за принципом гарантованого результату: $x_2^0 = x_1, E_2 = 5$ од.

За принципом Севіджа знайдемо оптимальне рішення. Для цього побудуємо матрицю збитків (табл. 8) на основі базової матриці ефективності (табл. 7). Виберемо максимальну величину ефективності проектів ППП з табл. 7 за умов впливу 1-го фактору (y_1). Цьому відповідають 7 од. (E_{11}) для 1-го проекту (x_1). Визначимо величину E_{11} (7 од.) у якості фіксованої величини для фактору y_1 та розрахуємо величини збитків усіх проектів, порівняно з максимальною величиною. Результати розрахунків наведемо у 1-му стовпчику (y_1) табл. 8. Для інших факторів y_2 і y_3 проведемо аналогічні операції і розрахунки.

Таблиця 8

Матриця збитків проектів ППП

$x \backslash y$	y_1	y_2	y_3	$maxY$
x_1	0	1	7	7
x_2	5	3	0	5
x_3	4	2	8	8
x_4	6	0	6	6

За принципом Севіджа оптимальним буде той проект ППП, що відповідає мінімальній величині збитків: $x_c^0 = x_2, Y_c = 5$ од.

Для застосування принципу гарантованих втрат побудуємо матрицю втрат. Виберемо з табл. 7 максимальну величину ефективності проектів ППП за умов впливу факторів. Для проекту x_1 – це 9 од. (E_{12}) за умов впливу фактору y_2 . Розрахуємо величини втрат усіх проектів, у порівнянні з максимальною величиною. Результати розрахунків наведемо у 1-му рядку (x_1) табл. 9. Виконаємо аналогічні операції і розрахунки для проектів x_2, x_3, x_4 .

Таблиця 9

Матриця втрат проектів ППП

$x \backslash y$	y_1	y_2	y_3	$max\Pi$
x_1	2	0	4	4
x_2	10	5	0	10
x_3	5	0	4	5
x_4	9	0	4	9

Визначимо оптимальний проект ППП за принципом гарантованих втрат: $x_{zn}^0 = x_1, P_z = 4$ од. Результати застосування різних принципів наведемо у табл. 10.

Таблиця 10

Оптимальні проекти ППП, визначені із застосуванням різних принципів оптимальності

Принцип	Оптимальні проекти
Принцип оптимізму	x_2
Принцип песимізму	x_4
Принцип гарантованого результату	x_1
Принцип Севіджа	x_2
Принцип гарантованих втрат	x_1

Висновки. У нашому прикладі системний аналіз ефективності поданих на конкурс проектів ППП показує, що для вибору оптимального УР слід надати перевагу проектам №1 і №2. Так, за різними принципами оптимальності формується УР, що проект №1 (реконструкція автодоріг) є оптимальним для реалізації за двома принципами: гарантованого результату та гарантованих втрат; проект №2 (капітальний ремонт школи) також за двома принципами: оптимізму (максимальної ефективності) та принципом Севіджа (мінімаксного ризику). Це також підтверджується результатами компаративного аналізу економічної ефективності вибраних проектів, оскільки обидва проекти №1 і №2 мають однакову, і суттєво більшу за інші проекти, контрольну суму розподілу ефективності. У той же час, аналіз ступеню ризику цих проектів показує, що розподіл ефективності за умов впливу некерованих факторів у проекті №2 має діапазон коливань ефективності 2 – 12 од. а в проекті №1 – лише 5 – 9 од., отже, наявні певні підстави для висновку, що проект №1 є менш ризикованим.

Список літератури:

1. Training needs analysis of the amalgamated territorial communities in Ukraine [Електронний ресурс] // Council of Europe. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://nads.gov.ua/storage/app/sites/5/DIYALNIST/PROFF%20NAVCHANJA/PI DVISCH%20KVALIFICACII/prezentacia-tna-ukraine-2018-2019-final-repor-app6-presentation-ukr.pdf>
2. Дорога в кредит: чи врятує «Велике будівництво» Зеленського економіку?

– Режим доступу до ресурсу: <https://hromadske.ua/posts/doroga-v-kredit-chi-vryatuye-velike-budivnictvo-zelenskogo-ekonomiku>

3. Нова дорожня стратегія 2020: як уряд планує "зшивати" дорогами всю країну

– Режим доступу до ресурсу:

<https://www.epravda.com.ua/ukr/publications/2020/01/27/656329/>

4. Knight, Frank H. Risk, Uncertainty and Profit. 1-st ed. – Boston and New York: Houghhton Mifflin Compani, 1921. – 388p. // The Library of Economics and Liberty, 2000.

5. Simon H.A. Administrative Behavior. A Stady of Decision-Making Process in Administrative Organizations. 3-d ed. – New York: Free Press; London; Collier, Macmillan, 1976. – xvi+259p.

6. Baturshin, I.; Kacprzyk, I.; Sheremetov, L.; Zadeh, L.A. (Eds.). Perception-based Date Mining and Decision Making in Economics and Finance. – Berlin: Springer-Verlag, 2007. – 367p.