

УДК 658.012

JEL Класифікатор: L74, M10, M21

[https://doi.org/10.31891/dsim-2026-14\(5\)](https://doi.org/10.31891/dsim-2026-14(5))

ТЕОРЕТИЧНИЙ БАЗИС ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ ВИБОРУ НАПРЯМІВ СТРАТЕГІЧНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ

АЛЕКСІСНКО Олег

аспірант

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0009-0005-1762-1967>

У статті розглянуто теоретичні засади формування моделі вибору напрямів стратегічного розвитку підприємств будівельної галузі в умовах макроекономічної нестабільності, воєнних ризиків, порушення логістичних ланцюгів та зростання вартості ресурсів. Підкреслюється, що сучасне функціонування будівельних підприємств характеризується значними коливаннями, структурними змінами попиту, зниженням інвестиційної активності, обмеженим доступом до фінансових ресурсів та проблемами кадрового забезпечення. Це зумовлює необхідність комплексного аналізу тенденцій розвитку галузі та застосування економіко-математичних інструментів для прогнозування результатів діяльності. Проаналізовано наукові підходи до дослідження стратегічного розвитку підприємств, однак зазначено, що питання формування моделей вибору стратегічних напрямів для підприємств будівельної галузі в умовах високої турбулентності зовнішнього середовища залишаються недостатньо опрацьованими. Метою дослідження визначено розробку теоретичного підґрунтя побудови моделі вибору напрямів стратегічного розвитку таких підприємств. У роботі запропоновано підхід до оцінювання ефективності стратегій з урахуванням реальних і перспективних умов функціонування підприємств. Для цього використовується експертне оцінювання комбінацій факторів, що характеризують поточний стан галузі та можливі зміни в майбутньому. До реальних умов віднесено, зокрема, дефіцит працівників, обмеженість інновацій, низький рівень автоматизації, проблеми з енергопостачанням, нестачу сировини та інші фактори. Перспективні умови включають швидке навчання персоналу, впровадження інновацій і технологій LEAN, оптимізацію енергоспоживання, використання державних програм відновлення, дерегуляцію будівництва та екологізацію галузі. Виділено три можливі напрями стратегічного розвитку підприємства: орієнтація на зовнішнє розширення, поєднання зовнішнього та внутрішнього розвитку, а також внутрішнє вдосконалення. Для оцінювання ймовірності максимізації фінансового результату і зростання капіталу використано експертні анкети та шкали оцінювання факторів і результатів. Обробка отриманих даних здійснюється із застосуванням методів машинного навчання, зокрема алгоритму Random Forest, реалізованого у середовищі Matlab. Модель дозволяє оцінювати ймовірність досягнення максимального фінансового результату для кожної стратегії окремо за реальних і перспективних умов, після чого обчислюється умовна ймовірність успіху стратегій. На основі отриманих значень визначається оптимальний напрям стратегічного розвитку підприємства, що забезпечує найбільшу ймовірність зростання фінансових результатів і капіталу у середньостроковому періоді.

Ключові слова: управління, розвиток, стратегія, моделювання, експертне оцінювання, підприємства.

THEORETICAL BASIS FOR FORMING A MODEL FOR CHOOSING STRATEGIC DEVELOPMENT DIRECTIONS FOR CONSTRUCTION INDUSTRY ENTERPRISES

ALEKSIENKO Oleh

Khmelnytskyi National University

The article examines the theoretical foundations for developing a model for selecting the directions of strategic development of construction industry enterprises under conditions of macroeconomic instability, war-related risks, disruptions in logistics chains, and rising resource costs. It is emphasized that the current operation of construction enterprises is characterized by significant fluctuations, structural changes in demand, declining investment activity, limited access to financial resources, and workforce-related problems. This necessitates a comprehensive analysis of industry development trends and the application of economic and mathematical tools for forecasting performance outcomes. Scientific approaches to the study of strategic enterprise development are analyzed; however, it is noted that the issue of developing models for selecting strategic directions for construction enterprises in a highly turbulent external environment remains insufficiently explored. The purpose of the study is defined as the development of a theoretical framework for constructing a model for selecting the directions of strategic development of such enterprises. The paper proposes an approach to assessing strategy effectiveness with due regard to the actual and prospective operating conditions of enterprises. For this purpose, expert evaluation is applied to combinations of factors characterizing the current state of the industry and possible future changes. Actual conditions include, in particular, labor shortages, limited innovation, a low level of automation, problems with energy supply, shortages of raw materials, and other factors. Prospective conditions include rapid staff training, the implementation of innovations and LEAN technologies, optimization of energy consumption, the use of state recovery programs, deregulation in construction, and the greening of the industry. Three possible directions of enterprise strategic development are identified: orientation toward external expansion, a combination of external and internal development, and internal improvement. To assess the probability of maximizing financial results and capital growth, expert questionnaires and scales for evaluating factors and outcomes are used. The obtained data are processed using machine learning methods, in particular the Random Forest algorithm implemented in the Matlab environment. The model makes it possible to estimate the probability of achieving the maximum financial result for each strategy separately under actual and prospective conditions, after which the conditional probability of strategy success is calculated. Based on the obtained values, the optimal direction of enterprise strategic development is determined, ensuring the highest probability of growth in financial results and capital in the medium term.

Keywords: management, development, strategy, modeling, expert evaluation, enterprises.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.02.2026
Прийнята до друку / Accepted 18.03.2026
Опубліковано / Published 16.04.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Алексієнко Олег

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

У кризових умовах, зумовлених макроекономічною нестабільністю в Україні, воєнними ризиками, порушенням логістичних ланцюгів, зростанням вартості ресурсів тощо, функціонування підприємств будівельної галузі характеризується значними коливаннями та структурними трансформаціями.

Кризові процеси змінюють структуру попиту, впливають на рівень інвестиційної активності та кадровий потенціал, обмежують доступ до фінансових ресурсів, що зумовлює потребу у комплексному статистичному аналізі ключових тенденцій розвитку будівельної галузі. Особливої уваги потребує оцінювання не лише обсягів виробленої та реалізованої будівельної продукції, а й цінових факторів, фінансової стійкості підприємств будівельної галузі, динаміки зайнятості, інвестиційних процесів тощо. А на основі такого оцінювання необхідно визначати безпосередньо напрями такого розвитку і використовувати інструменти економіко-математичного моделювання для прогнозування результатів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ З ДАНОЇ ПРОБЛЕМИ

Проблематика стратегічного розвитку підприємств і моделювання результатів реалізації зазначених процесів досліджувались у працях таких науковців як: Дуброва О. С. [1], Маслак О. І., Мовчан І. В. [2], Рудніченко Є.М., Гавловська Н.І., Несторишен І.В., Франчук В.І. [3], Любохинець Л.С., Аванесова Н.Е., Ілляшенко О.В. [4] та інших.

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ, КОТРИМ ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ СТАТТЯ

Стратегічний розвиток підприємств будівельної галузі в сучасних умовах високої турбулентності зовнішнього середовища недостатньо досліджений, саме тому розробка відповідних економіко-математичних моделей дозволяє отримувати більш реалістичні прогнози і передбачає врахування думки експертів різних рівнів.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою статті є розробка теоретичних основ побудови моделі вибору напрямів стратегічного розвитку підприємств будівельної галузі

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У сучасних дослідженнях стратегічного розвитку підприємства одним із ключових завдань є оцінка ефективності різних стратегій з послідовним урахуванням реальних та перспективних умов функціонування, де остаточне рішення приймається на основі всебічного вивчення імовірності максимізації фінансового результату та зростання обсягу капіталу підприємства у зв'язі «реальність – перспектива». Як можна оцінити таку імовірність? Звичайно, це можна зробити, використовуючи думки експертів щодо прямування до максимуму фінансового результату та зростання обсягу капіталу підприємства для різноманітних комбінацій факторів з табл. 1. Тобто для якогось переліку оцінок реальних умов функціонування (щодо дефіциту працівників, обмеженості інновацій, низького рівня автоматизації процесів і т. д.) експерт має поставити свою оцінку ймовірності максимізації фінансового результату та зростання обсягу капіталу підприємства упродовж найближчого часу (не більше року). Той же експерт, отримуючи відповідний перелік оцінок перспективних умов функціонування, ставить свою оцінку такої імовірності на період упродовж від одного до трьох років.

Таблиця 1.

Реальні та перспективні умови функціонування підприємств будівельної галузі

Реальні умови функціонування	Перспективні умови функціонування
Дефіцит працівників	Швидке навчання працівників з неповною зайнятістю (студенти, учні) та зменшення дефіциту кадрів
Обмеженість інновацій	Систематична робота з впровадження інновацій (переважно технологічних)
Низький рівень автоматизації процесів	Впровадження LEAN
Проблеми з енергопостачанням	Оптимізація енергоспоживання
Нестача сировини	Дефіцит сировини і пошук альтернативних рішень
Падіння платоспроможного попиту населення, наявність запитів на будівництво об'єктів військового призначення	Реалізація держаних проєктів з відновлення та будівництва, використання іноземних грантів та участь у міжнародних програмах відновлення
Значні бюрократичні перепони для розвитку будівництва	Дерегуляція процесів проєктування та будівництва
Подальша розробка та впровадження екологічних стандартів і норм	«Екологізація» будівництва

Слід сказати, що згадані переліки (по вісім умов-факторів у кожному) необов'язково є чітко пов'язаними, проте стрибкоподібного переходу у зв'язці «реальність – перспектива» теж не повинно бути. Наприклад, якщо рівень дефіциту працівників на якомусь підприємстві сьогодні є дуже високим, то майбутній рівень швидкого навчання та зменшення дефіциту кадрів є цілком реалістичними, і саме тому тут оцінка цього рівня не прив'язана до оцінки рівня дефіциту працівників. А ось високий рівень нестачі сировини (сьогодні) виправити за відносно короткий термін в 1–3 роки є малоймовірним, тому оцінка рівня перспективних пошуків альтернативних рішень щодо сировини має якість корелюватися з рівнем нестачі сировини.

Крім цього, ми розглядаємо три стратегії розвитку підприємства (згідно з рис. 1 та табл. 2:

- 1) орієнтація на зовнішнє розширення (перша стратегія);
- 2) поєднання зовнішнього та внутрішнього розширення (друга стратегія);
- 3) орієнтація на внутрішнє розширення (третя стратегія).



Рис. 1. Можливі напрями спрямованості стратегічного розвитку підприємства

Таблиця 2

Передумови вибору напрямів спрямованості стратегічного розвитку підприємства (запропоновано автором)

Напрямок	Квадрант матриці	Передумови
Експансія у зовнішнє середовище, зміна та/або зміцнення стратегічної позиції	I	Наявність вільних ніш ринку; можливість створити нові ніші ринку; ймовірність виникнення нових ніш ринку через зовнішні обставини; достатність наявних компетенцій та ресурсів для зміцнення стратегічної позиції; наявність запасу ресурсів для можливого екстенсивного розвитку протягом певного періоду часу; недостатність поточної стратегічної позиції підприємства для забезпечення його довгострокового існування
Посилення експансії у зовнішнє середовище, зміцнення стратегічної позиції із напрацюванням внутрішніх навичок та компетенцій	II	Наявність вільних ніш ринку, ймовірність їхнього виникнення або можливість їхнього створення на фоні доцільності посилення наявних компетенцій підприємства для присутності та/або домінування у таких нішах; недостатність поточної стратегічної позиції підприємства для забезпечення його стабільного функціонування у довгостроковому періоді на фоні можливості посилення наявних або здобуття нових компетенцій для посилення такої позиції; доцільність та можливість внутрішньої оптимізації діяльності підприємства, розвитку та посилення нових компетенцій для формування позитивного ефекту діяльності підприємства у зовнішньому середовищі
Якісні зміни всередині підприємства у вигляді формування нових компетенцій та навичок	III	Неможливість значного зміцнення стратегічної позиції підприємства та/або виходу на нові сегменти ринку на основі використання наявних компетенцій; достатній обсяг поточної ніші ринку на фоні неможливості або економічної недоцільності виходу на нові ніші ринку; можливість покращання результатів діяльності підприємства на основі формування змін його внутрішнього середовища.

Відтак переліки умов-факторів з їх значеннями (оцінками) також не можуть завжди бути постійними при переході від однієї стратегії до іншої, якщо зовнішні умови функціонування підприємства не змінюються. Це додатково вносить різноманіття у можливі комбінації факторів з табл. 1, яке обов'язково має бути відображено при експертному оцінюванні якості таких комбінацій (з точки зору максимізації фінансового результату та зростання обсягу капіталу підприємства).

Перед тим, як проводити експертні оцінювання, нам необхідно визначитися зі шкалою оцінок імовірності результату, а також зі шкалою, у якій експерти отримуватимуть комбінації факторів з табл. 1. Ці шкали нічим не є пов'язаними, однак ми повинні їх обирати з обережністю, враховуючи потенційну переважаність експертів, які повинні надати ймовірнісну оцінку на підставі огляду певної комбінації 16 факторів. Тому, з однієї сторони, шкали оцінок у нас повинні бути якомога простішими, а, з іншої сторони, надмірна простота шкали може зіпсувати передачу якості як окремо взятого фактору, так й імовірнісного максимум-результату.

Зважаючи на це, ми обираємо трипозиційну шкалу для факторів з табл. 3.1: 0, 0,5 та 1. Зауважимо, що у табл. 1 всі реальні умови функціонування є загалом негативними факторами, а всі перспективні умови функціонування є загалом позитивними факторами. Тому значення трипозиційної шкали для цих факторів мають таке тлумачення:

0 – відповідає ситуації, коли реальна умова функціонування не проявляється у переважній більшості випадків, а перспективна умова функціонування практично відсутня з точки зору її ефективності;

0,5 – відповідає ситуації, коли реальна умова функціонування проявляється мінливо, з певною долею невизначеності; таке саме тлумачення тут дійсне і для перспективної умови функціонування, яка за такої оцінки не є малоефективною, але водночас її ефективність не є повністю задовільною;

1 – відповідає ситуації, коли реальна умова функціонування негативно проявляється у переважній більшості випадків, а натомість перспективна умова функціонування є досить ефективною.

Оцінки факторів реальних умов функціонування позначимо через x_k , де $k = 1, 2, \dots, 8$. Тоді перша задача полягає в оцінюванні функції восьми змінних

$$P_{\text{real}}^{(s)}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8), \quad (1)$$

де $P_{\text{real}}^{(s)}(\bullet)$ є ймовірністю максимізації фінансового результату та зростання обсягу капіталу підприємства упродовж найближчого часу (не більше року), якщо при цьому підприємство використовуватиме S -ту стратегію ($S = 1, 2, 3$). Аналогічно позначимо оцінки факторів перспективних умов функціонування через y_k , де $k = 1, 2, \dots$. Тоді друга задача полягає в оцінюванні функції восьми

змінних

$$p_{\text{persp}}^{(s)}(y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8), \quad (2)$$

де $p_{\text{persp}}^{(s)}$ є ймовірністю максимізації фінансового результату та зростання обсягу капіталу підприємства на період упродовж від одного до трьох років, де підприємство використовуватиме S -ту стратегію ($S = 1, 2, 3$).

Очевидно, що теоретично функція (1) є спадною (тобто при зростанні однієї зі змінних x_k ймовірність максимум-результату очікувано має стати меншою), а функція (2) є зростаючою (тобто при зростанні однієї зі змінних y_k ймовірність максимум-результату очікувано має підвищитись), де ми абстрагуємось від трипозиційної шкали розглядаємо змінні x_k й y_k ($k = 1, 2, \dots$) як неперервні на інтервалі від 0 до 1. Також зрозуміло, що швидкість зростання-спадання кожної з функцій (1) і (2) залежить від напрямку (вибору змінної, значення якої зростають). Зокрема, ми очікуємо, що функція (1) швидше спадатиме при зростанні кожної зі змінних x_1, x_4 й x_5 , аніж при зростанні, скажімо, змінної x_8 .

Щодо шкали ймовірності максимум-результату, то вона, очевидно, має покрити інтервал між 0 й 1. Поділимо його на п'ять рівних частин й отримаємо шестипозиційну шкалу від 0 до 1 з кроком 0,2. Цю шкалу ми робимо удвічі щільнішою за шкалу реальних та перспективних умов функціонування тому, що значення ймовірнісних максимум-результатів (1) і (2) буде опрацьовувати обчислювальна машина, тоді як значення 16 факторів опрацьовують (візуально, вербально) експерти, живі люди. Саме для мінімізації впливу людського фактору оцінки реальних та перспективних умов функціонування подаватимуться на трипозиційній шкалі.

Важливо наперед зазначити, що оцінки змінних x_k ($k = 1, 2, \dots$) будуть сформовані заздалегідь для кожної анкети окремо. Приклад анкети експерта для оцінювання ймовірності (1) представлено в табл. 3 за умови використання S -ї стратегії. Все, що вимагається від експерта, – це уважно переглянути подану комбінацію оцінок реальних умов функціонування і надати свою оцінку ймовірності $p_{\text{real}}^{(s)}$ для кожної з трьох стратегій. Важливо відмітити, що для різних стратегій оцінки змінних x_k ($k = 1, 2, \dots$) можуть бути різними. Хоча певні співпадіння і можливі для кількох реальних умов функціонування підприємства, загалом дуже ймовірно, що більшість анкет міститимуть унікальні комбінації оцінок змінних x_k ($k = 1, 2, \dots$). Втім, повні співпадіння для двох різних стратегій не виключаються. І навіть можливість повного співпадіння у межах однієї стратегії не буде виключена. Це робиться для врахування потенційно різних думок експертів і відповідно для побудови більш робастної моделі.

Таблиця 3

Анкета експерта для оцінювання ймовірності $p_{\text{real}}^{(s)}$ (з прикладом оцінок реальних умов функціонування – подано курсивом) за S -ї стратегії

	Номенклатура	Позначення у моделі	Оцінка
Реальні умови функціонування	Дефіцит працівників	x_1	0,5
	Обмеженість інновацій	x_2	0
	Низький рівень автоматизації процесів	x_3	0,5
	Проблеми з енергопостачанням	x_4	1
	Нестача сировини	x_5	0,5
	Падіння платоспроможного попиту населення, наявність запитів на будівництво об'єктів військового призначення	x_6	0,5
	Значні бюрократичні перепони для розвитку будівництва	x_7	0,5
	Подальша розробка та впровадження екологічних стандартів і норм	x_8	0
Ймовірність максимізації фінансового результату та зростання обсягу капіталу підприємства упродовж найближчого часу (не більше року)		$p_{\text{real}}^{(s)}$	

* Розроблено автором.

Оцінки змінних y_k ($k = 1, 2, \dots, 8$) теж будуть сформовані заздалегідь, але вже після анкетування щодо ймовірності (1). Результати цього етапу (першого) анкетування пред'являються експертам у розгорнутому вигляді з поданням також і відповідних статистичних характеристик – середніх

$$\bar{x}_k^{(s)} = \frac{1}{E} \cdot \sum_{j=1}^E x_{kj}^{(s)} \quad (3)$$

та

$$\bar{p}_{\text{real}}^{(s)} = \frac{1}{E} \cdot \sum_{j=1}^E p_{\text{real}(j)}^{(s)}, \quad (4)$$

а також середньоквадратичних відхилень (СКВ)

$$\sigma_{\bar{x}_k^{(s)}} = \sqrt{\frac{1}{E} \cdot \sum_{j=1}^E (x_{kj}^{(s)} - \bar{x}_k^{(s)})^2} \quad (5)$$

та

$$\sigma_{\bar{p}_{\text{real}}^{(s)}} = \sqrt{\frac{1}{E} \cdot \sum_{j=1}^E (p_{\text{real}(j)}^{(s)} - \bar{p}_{\text{real}}^{(s)})^2}, \quad (6)$$

де $x_{kj}^{(s)}$ – оцінка щодо k -ї реальної умови функціонування, $x_{kj}^{(s)} \in \{0, 0,5, 1\}$, в анкеті j -го експерта за S -ю стратегією; E – загальна кількість експертів (або анкет, оскільки один експерт може опрацювати і більше однієї анкети); $\bar{x}_k^{(s)}$ і $\sigma_{\bar{x}_k^{(s)}}$ – середня оцінка та СКВ щодо k -ї реальної умови функціонування; $p_{\text{real}(j)}^{(s)}$ – оцінка ймовірності отримання максимум-результату у найближчий період часу (до року) в j -й анкеті за S -ю стратегією; $\bar{p}_{\text{real}}^{(s)}$ і $\sigma_{\bar{p}_{\text{real}}^{(s)}}$ – середня імовірність отримання максимум-результату за S -ю стратегією у короткотерміновій перспективі (не більше року) та її СКВ [5]. Отримавши результати першого анкетування, включаючи статистики (3)–(6), експерти отримують анкети для оцінювання імовірності (2). Приклад такої анкети представлено в табл. 4. Експерт має уважно переглянути подану комбінацію оцінок перспективних умов функціонування на тлі результатів першого анкетування і надати свою оцінку ймовірності $p_{\text{persp}}^{(s)}$.

Таблиця 4

Анкета експерта для оцінювання імовірності $p_{\text{persp}}^{(s)}$ (з прикладом оцінок перспективних умов функціонування – подано курсивом) за S -ї стратегії

Номенклатура	Позначення у моделі	Оцінка	
Перспективні умови функціонування	Швидке навчання працівників з неповною зайнятістю (студенти, учні) та зменшення дефіциту кадрів	y_1	1
	Систематична робота з впровадження інновацій (переважно технологічних)	y_2	0
	Впровадження LEAN	y_3	0,5
	Оптимізація енергоспоживання	y_4	0
	Дефіцит сировини і пошук альтернативних рішень	y_5	0,5
	Реалізація держаних проектів з відновлення та будівництва, використання іноземних грантів та участь у міжнародних програмах відновлення	y_6	0,5
	Дерегуляція процесів проєктування та будівництва	y_7	0,5
	«Екологізація» будівництва	y_8	0
Імовірність максимізації фінансового результату та зростання обсягу капіталу підприємства на період упродовж від одного до трьох років	$p_{\text{persp}}^{(s)}$		

Отже, експерт має проставити лише одне з шести можливих значень (0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1) навпроти ймовірності $p_{\text{real}}^{(s)}$ та ймовірності $p_{\text{persp}}^{(s)}$ (не одночасно, а послідовно, як вже було зазначено) для кожної стратегії. Після цього анкети типу табл. 4 остаточно опрацьовуються, де також обчислюються їх відповідні статистичні характеристики подібно до (3)–(6):

$$\bar{y}_k^{(s)} = \frac{1}{E} \cdot \sum_{j=1}^E y_{kj}^{(s)}, \quad (7)$$

$$\bar{p}_{\text{persp}}^{(s)} = \frac{1}{E} \cdot \sum_{j=1}^E p_{\text{persp}(j)}^{(s)}, \quad (8)$$

$$\sigma_{\bar{y}_k^{(s)}} = \sqrt{\frac{1}{E} \cdot \sum_{j=1}^E (y_{kj}^{(s)} - \bar{y}_k^{(s)})^2}, \quad (9)$$

$$\sigma_{\bar{p}_{\text{persp}}^{(s)}} = \sqrt{\frac{1}{E} \cdot \sum_{j=1}^E (p_{\text{persp}(j)}^{(s)} - \bar{p}_{\text{persp}}^{(s)})^2}, \quad (10)$$

де $y_{kj}^{(s)}$ – оцінка щодо k -ї перспективної умови функціонування, $y_{kj}^{(s)} \in \{0, 0,5, 1\}$, в анкеті j -го експерта за S -ю стратегією; $\bar{y}_k^{(s)}$ і $\sigma_{\bar{y}_k^{(s)}}$ – середня оцінка та СКВ щодо k -ї перспективної умови функціонування; $p_{\text{persp}(j)}^{(s)}$ – оцінка ймовірності отримання максимум-результату упродовж від одного до трьох років в j -й анкеті за S -ю стратегією; $\bar{p}_{\text{persp}}^{(s)}$ і $\sigma_{\bar{p}_{\text{persp}}^{(s)}}$ – середня ймовірність отримання максимум-результату за S -ю стратегією у цьому часовому інтервалі (але не триваліше за три роки) та її СКВ.

У подальшому статистичні характеристики (3)–(6) і (7)–(10) також враховуватимуться додатково при прийнятті управлінських рішень на підприємстві, але для вибору оптимального напрямку стратегічного розвитку підприємства першочергово будуть задіяні дані всіх анкет: $3E$ оцінок восьми реальних умов функціонування

$$x_{kj}^{(s)} \text{ при } k = 1, 2, \dots \quad \text{та для всіх } j = 1, 2, \dots \quad \text{й } s = 1, 2, 3, \quad (11)$$

$3E$ оцінок ймовірності отримання максимум-результату у найближчий період часу (до року)

$$p_{\text{real}(j)}^{(s)} \text{ для всіх } j = 1, 2, \dots \quad \text{й } s = 1, 2, 3, \quad (12)$$

$3E$ оцінок восьми перспективних умов функціонування

$$y_{kj}^{(s)} \text{ при } k = 1, 2, \dots \quad \text{та для всіх } j = 1, 2, \dots \quad \text{й } s = 1, 2, 3, \quad (13)$$

а також $3E$ оцінок ймовірності отримання максимум-результату у перспективі

$$p_{\text{persp}(j)}^{(s)} \text{ всіх } j = 1, 2, \dots \quad \text{й } s = 1, 2, 3. \quad (14)$$

Звідки беруться ймовірнісні оцінки (12) і (14) – вже зрозуміло – це судження експертів за шестипозиційною шкалою. А ось генерація оцінок умов функціонування для анкет потребує окремої уваги.

Дані (11) і (13) анкет табл. 3 і табл. 4 генеруються випадково. Це обґрунтовується тим, що ці дані за своєю суттю є мінливими – вони змінюються майже постійно, причому деякі з них (зокрема, дефіцит працівників і проблеми з енергопостачанням) можуть змінюватися (коливатися) щомісяця. Так, мінливість оцінок (13) перспективних умов функціонування є меншою від мінливості даних (11), але все рівно обидві групи даних є подібними до значень двох випадкових восьмивимірних векторів. Тому, замість того, щоб оцінювати дійсні умови на сьогодні й у перспективі, на що додатково витратиться час експертів, оцінки цих умов можна генерувати випадково за відповідним правилом. Кожне значення x_{kj} й y_{kj} видаватиметься генератором псевдовипадкових значень [6] з дискретного рівномірного розподілу $\{0, 0,5, 1\}$.

Так, при такому підході лівова частка умов в анкетах будуть частково нереалістичними, особливо в анкетах типу табл. 3. Але натомість тут з'являється можливість згенерувати як завгодно багато анкет, які надалі експерти оцінюють лише за ймовірністю отримання максимум-результату. При цьому частина таких

анкет все ж буде цілком реалістичною – і для сучасних, і для перспективних умов функціонування. Це можливо якраз завдяки трипозиційній шкалі (більша кількість позицій зробила би частку реалістичних анкет меншою).

І ось тут міркування стають більш зрозумілими, якщо згадати про закон (відносно) великих чисел, – чим більша кількість анкет, тим:

1) більш надійними стають результати їх обробки;
 2) більш доступними стають різноманітні моделі вибору напрямів стратегічного розвитку підприємства – байєсівські моделі та мережі, класична логістична регресія, градієнтний бустинг, багатокритеріальний аналіз, дерева рішень тощо [7].

3) більш вірогідно, що узгодженість експертних оцінок перевіряти не треба, оскільки ми будемо тестувати модель на стійкість, яка еквівалента узгодженості, де викиди в оцінках імовірності є цілком допустимими.

Тому, підводячи проміжний підсумок, можна сміливо зазначити, що псевдовипадкова генерація анкет у рамках нашої моделі є напрочуд вигідною та цілком обґрунтованою. І дарма, що велика частина анкет буде містити малореалістичні комбінації умов функціонування, – під час експертного оцінювання експерти проставлятимуть відповідні імовірності, які вже будуть реалістичними. Очевидно, що значення таких імовірнісних оцінок будуть або нульовими, або ж близькими до нуля (тобто або 0,2, або, що буде рідше, 0,4).

Для кожної стратегії за реальних умов функціонування визначаємо її імовірність максимуму фінансового результату та зростання обсягу капіталу підприємства за такою схемою. Спочатку будемо RF-модель (аналітичну реалізацію методу Random Forest) за такою формулою [7, 8]:

$$RF_{\text{real}}_{\text{model}}(s) = RF(N_{\text{trees}}, X_{\text{train}}(s), P_{\text{real}}(s), \text{hyppar}) \text{ для } s = 1, 2, 3, \quad (15)$$

де $X_{\text{train}}(s)$ – навчальна множина для S -ї стратегії за реальних умов функціонування та відповідна їй множина значень імовірностей $P_{\text{real}}(s)$, причому

$$X_{\text{train}}(s) = \left\{ \left\{ 1 - x_{kj}^{(s)} \right\}_{k=1}^8 \right\}_{j=1}^E, \quad P_{\text{real}}(s) = \left\{ p_{\text{real}(j)}^{(s)} \right\}_{j=1}^E, \quad (16)$$

а відображення $RF(\bullet)$ реалізується як Matlab-функція «TreeBagger», у якій *hyppar* є додатковою множиною гіперпараметрів RF-відображення, де вказується метод побудови ансамблю N_{trees} випадкових дерев, мінімальна кількість спостережень на один листок дерева m_{leaf} , а також спосіб обчислення імовірності максимум-результату за кожною з трьох стратегій. Множини (16) беруться з анкет (табл. 3) як дані (11) і (12), де інверсія даних (11) для навчальної множини $X_{\text{train}}(s)$ виконується тому, що всі реальні умови функціонування є загалом негативними факторами.

Далі обчислюється (складається) профіль для S -ї стратегії на основі даних (3):

$$Profil_{\text{real}}(s) = \left\{ 1 - \bar{x}_1^{(s)}, 1 - \bar{x}_2^{(s)}, \dots \right\} \text{ для } s = 1, 2, 3, \quad (17)$$

де також врахована негативність факторів реальних умов функціонування. Після цього профіль (17) використовуємо як вхід побудованої RF-моделі (15), що реалізується з використанням Matlab-функції «predict» для обчислення очікуваної імовірності максимум-результату [7]:

$$\tilde{f} = \text{dict}(RF_{\text{real}}_{\text{model}}(s), Profil_{\text{real}}(s)) \text{ для кожного } s = 1, 2, 3. \quad (18)$$

Важливо відмітити, що програмна реалізація Matlab-функції «TreeBagger» передбачає обчислення похибки прогнозу для усіх можливих варіантів кількості випадкових дерев, починаючи від одного дерева і закінчуючи N_{trees} деревами. При цьому ця похибка має спадати, досягаючи приблизного мінімуму на кількості дерев, котра приблизно дорівнює N_{trees} . Якщо це не так, то тоді необхідно коригувати параметр

N_{trees} :

1) збільшувати кількість випадкових дерев, якщо мінімум досягається у точці N_{trees} і швидкість спадання похибки прогнозу є значною (ефект насичення відсутній, спад похибки прогнозу продовжуватиметься при кількості випадкових дерев, що дорівнює $N_{\text{trees}} + 1, N_{\text{trees}} + 2, \dots$);

2) зменшувати кількість випадкових дерев, якщо мінімум досягається до точки N_{trees} , і після цього відбувається явне зростання похибки прогнозу (ефект насичення також відсутній).

Визначивши очікувані ймовірності $\tilde{I}_1, \tilde{I}_2, \tilde{I}_3$, переходимо до очікуваних ймовірностей максимум-результату за перспективних умов функціонування. Для кожної стратегії визначаємо її ймовірність за тією ж схемою – будуюмо RF-модель за такою формулою:

$$RF_{\text{persp_model}}(s) = RF(N_{\text{trees}}, Y_{\text{train}}(s), P_{\text{persp}}(s), \text{hyperpar}) \text{ для } s = 1, 2, 3, \quad (19)$$

де $Y_{\text{train}}(s)$ – навчальна множина для S -ї стратегії за перспективних умов функціонування та відповідна їй множина значень ймовірностей $P_{\text{persp}}(s)$, причому

$$Y_{\text{train}}(s) = \left\{ \left\{ y_{kj}^{(s)} \right\}_{k=1}^8 \right\}_{j=1}^E, \quad P_{\text{persp}}(s) = \left\{ P_{\text{persp}(j)}^{(s)} \right\}_{j=1}^E. \quad (20)$$

На відміну від навчальної множини $X_{\text{train}}(s)$ у (16), навчальна множина $Y_{\text{train}}(s)$ не має інвертованих даних (13), адже вони є загалом позитивними факторами за перспективних умов функціонування. Склавши відповідний профіль

$$Profil_{\text{persp}}(s) = \{ \bar{y}_1^{(s)}, \bar{y}_2^{(s)}, \dots \} \quad (\text{для } s = 1, 2, 3) \quad (21)$$

для S -ї стратегії на основі даних (3.7), використовуємо його як вхід побудованої RF-моделі (19) для обчислення очікуваної ймовірності максимум-результату:

$$\tilde{I}_s = \text{dict}(RF_{\text{persp_model}}(s), Profil_{\text{persp}}(s)) \text{ для кожного } s = 1, 2, 3. \quad (22)$$

Визначивши очікувані ймовірності $\tilde{I}_1, \tilde{I}_2, \tilde{I}_3$, обчислюємо умовні ймовірності максимум-результату для кожної стратегії з одночасним врахуванням реальних і перспективних умов функціонування. Так, для S -ї стратегії така умовна ймовірність дорівнює:

$$\tilde{I}_s \sim \tilde{I}_s \quad \text{для кожного } s = 1, 2, 3. \quad (23)$$

Наприкінці вибираємо максимальне значення з трьох значень $\tilde{I}_1, \tilde{I}_2, \tilde{I}_3$, яке й відповідатиме оптимальному напрямку стратегічного розвитку підприємства $S^* \in \{1, 2, 3\}$. Результат можна вважати більш надійним, якщо ймовірність \tilde{I}_{S^*} буде максимальною серед ймовірностей $\tilde{I}_1, \tilde{I}_2, \tilde{I}_3$, а ймовірність \tilde{I}_{S^*} – максимальною серед ймовірностей $\tilde{I}_1, \tilde{I}_2, \tilde{I}_3$.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Таким чином, ми розглянули три основні напрями стратегічного розвитку підприємства – орієнтація

на зовнішнє розширення, комбіноване розширення та внутрішнє зміцнення. Для оцінки ймовірності успіху кожної з цих стратегій було використано підхід машинного навчання на основі алгоритму Random Forest, реалізованого у Matlab за допомогою функції «TreeBagger», який необхідно застосовувати до анкетних даних і відповідних імовірнісних оцінок максимум-результату. Реалізація на мові Python є практично аналогічною.

Наша модель вибору напрямів стратегічного розвитку підприємства полягає в оцінюванні функцій (1) і (2) імовірності максимум-результату окремо для реальних та перспективних умов функціонування з використанням експертних суджень в анкетах типу табл. 3 і 4 та RF-моделей (15) і (19). Остаточні умовні ймовірності обчислюються як добуток (23), що дозволяє також і ранжувати стратегії, кількість яких, до речі, може бути і збільшена. Практичним результатом моделі є урахування умов функціонування конкретного підприємства і розрахунок імовірності максимізації фінансового результату та зростання обсягу капіталу підприємства за період до 3 років.

Література

1. Дуброва О. С. Стратегічна стійкість підприємства : складові та напрями її забезпечення. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2010. № 1, т. 1. С. 15–19.
2. Маслак О. І., Мовчан І. В. Модель механізму забезпечення стратегічної стійкості машинобудівного підприємства. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2011. № 2. С. 185–189.
3. Rudnichenko Y., Savina H., Franchuk V., Nestoryshen I., Savin S., Havlovska N. Theoretical and practical Aspects of strategic management of balanced interaction between subjects of foreign economic activity and state institutions. *TEM JOURNAL – Technology, Education, Management, Informatics*. 2021. № 10(2). P. 707-718
4. Rudnichenko Y., Liubokhynets L., Havlovska N., Illiashenko O., Avanesova N. Qualitative Justification of Strategic Management Decisions in Choosing Agile Management Methodologies. *International Journal for Quality Research*. 2021. Vol. 15(1).P. 209-224.
5. Illowsky B., Dean S. *Introductory Statistics 2e*. OpenStax, 2023.
6. Romanuke V. V., Romanov A. Y., Malaksiano M. O. Pseudorandom number generator influence on the genetic algorithm performance to minimize maritime cargo delivery route length. *Pomorstvo. Scientific Journal of Maritime Research*. 2022, Vol. 36. P. 249–262.
7. Murphy K. P. *Probabilistic Machine Learning: An Introduction*. MIT Press, 2022.
8. Salman H. A., Kalakech A., Steiti A. Random forest algorithm overview. *Babylonian Journal of Machine Learning*. 2024, pp. 69–79.

References

1. Dubrova O. S. Stratehichna stiikist pidpriemstva : skladovi ta napriamy yii zabezpechennia. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. 2010. № 1, t. 1. S. 15–19.
2. Maslak O. I., Movchan I. V. Model mekhanizmu zabezpechennia stratehichnoi stiikosti mashynobudivnoho pidpriemstva. Marketynh i menedzhment innovatsii. 2011. № 2. S. 185–189.
3. Rudnichenko Y., Savina H., Franchuk V., Nestoryshen I., Savin S., Havlovska N. Theoretical and practical Aspects of strategic management of balanced interaction between subjects of foreign economic activity and state institutions. TEM JOURNAL – Technology, Education, Management, Informatics. 2021. № 10(2). R. 707-718
4. Rudnichenko Y., Liubokhynets L., Havlovska N., Illiashenko O., Avanesova N. Qualitative Justification of Strategic Management Decisions in Choosing Agile Management Methodologies. International Journal for Quality Research. 2021. Vol. 15(1).R. 209-224.
5. Illowsky B., Dean S. *Introductory Statistics 2e*. OpenStax, 2023.
6. Romanuke V. V., Romanov A. Y., Malaksiano M. O. Pseudorandom number generator influence on the genetic algorithm performance to minimize maritime cargo delivery route length. Pomorstvo. Scientific Journal of Maritime Research. 2022, Vol. 36. P. 249–262.
7. Murphy K. P. *Probabilistic Machine Learning: An Introduction*. MIT Press, 2022.
8. Salman H. A., Kalakech A., Steiti A. Random forest algorithm overview. Babylonian Journal of Machine Learning. 2024, pp. 69–79.