

УДК 519.2:519.8

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2025.1.24>**Олена ПОДКОВАЛІХІНА**

кандидат фізико-математичних наук, доцент,

доцент кафедри програмних засобів,

Національний університет «Запорізька політехніка», epodkovalihina@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2182-1559

АНАЛІЗ ВПЛИВУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ НА РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ РОЗПОДІЛУ ІНВЕСТИЦІЙ У СФЕРІ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Анотація. Розподіл інвестицій у різних галузях економіки визначає їхній майбутній розвиток. В умовах економічної нестабільності прибутковість інвестицій стає непередбачуваною, що ускладнює прийняття рішень. Тому важливо оцінювати наслідки різних стратегій розподілу інвестицій, виключити нераціональні варіанти та визначити оптимальні.

Мета дослідження. Дослідити вплив статистичної невизначеності на оптимальний розподіл інвестицій у сфері господарської діяльності та розробити інструменти для прийняття ефективних інвестиційних рішень у нестабільних умовах.

Методологія. Використано методи перебору даних, статистичного аналізу та багатокритеріальної оптимізації. Математична модель задачі розподілу інвестицій реалізована у середовищі Python з урахуванням рівномірного розподілу прибутку.

Наукова новизна. Сформульовано узагальнену постановку задачі розподілу інвестицій за умов невизначеності. Розроблено алгоритм і програмну реалізацію для розрахунку та аналізу оптимальних стратегій інвестування з урахуванням змінних параметрів прибутковості. Запропонований алгоритм дозволяє: оцінити майбутній прибуток з урахуванням економічної нестабільності; визначити раціональний розподіл інвестицій для різних сценаріїв динаміки прибутку; зменшити ризики втрати інвесторів або залучити нових за рахунок обґрунтованих прогнозів. Досліджено розподіл інвестицій у сільському господарстві зі змінним прибутком (10% та 40%), проаналізовано оптимальні рішення за різними критеріями. Визначено доцільність інвестування в обраний сектор залежно від рівня невизначеності та зовнішніх факторів.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє прогнозувати прибутковість інвестицій з урахуванням економічної нестабільності. Визначено критерії оптимального розподілу ресурсів, що знижують ризики інвесторів. Результати можуть бути використані: інвесторами для прийняття рішень у умовах невизначеності; урядовими органами для підтримки стратегічно важливих галузей; аналітиками для моделювання економічних сценаріїв. Перспективи подальших досліджень: розширення моделі на інші типи розподілів прибутку (нормальний, Пуассона); врахування додаткових факторів ризику (наприклад, коливання валют); інтеграція машинного навчання для прогнозування динаміки прибутку. Це дослідження підкреслює важливість аналізу невизначеності в інвестиційних рішеннях та пропонує практичний інструмент для їх оптимізації.

Ключові слова: задача розподілу ресурсів, інвестиції, статистична невизначеність, оптимальний розв'язок, критерії оптимальності, комп'ютерне моделювання.

Olena Podkovalihina. ANALYSIS OF THE IMPACT OF UNCERTAINTY ON SOLVING THE INVESTMENT ALLOCATION PROBLEM IN THE FIELD OF ECONOMIC ACTIVITY

Abstract. The distribution of investments in different sectors of the economy determines their future development. In conditions of economic instability, the profitability of investments becomes unpredictable, which complicates decision-making. Therefore, it is important to assess the consequences of different investment allocation strategies, exclude irrational options and determine the optimal ones.

Research objective. To investigate the impact of statistical uncertainty on the optimal allocation of investments in the field of economic activity and develop tools for making effective investment decisions in unstable conditions.

Methodology. Methods of exhaustive search methods, statistical analysis and multi-criteria optimization were used. The mathematical model of the investment allocation problem was implemented in the Python environment taking into account the uniform distribution of profits.

Scientific novelty. A generalized statement of the investment allocation problem under conditions of uncertainty was formulated. An algorithm and software implementation were developed for calculating and analyzing optimal investment strategies taking into account variable profitability parameters. The proposed algorithm allows: to estimate future profits taking into account economic instability; determine a rational distribution of investments for different scenarios of profit dynamics; reduce the risks of losing investors or attracting new ones due to substantiated forecasts. The distribution of investments in agriculture with variable profits (10% and 40%) was studied, optimal solutions were analyzed according to various criteria. The feasibility of investing in the selected sector was determined depending on the level of uncertainty and external factors.

Conclusions. The proposed approach allows predicting the profitability of investments taking into account economic instability. Criteria for optimal resource allocation that reduce investor risks were determined. The results can be used: by investors for decision-making under uncertainty; by government agencies to support strategically important industries; by analysts to model economic scenarios. Prospects for further research: expanding the model to other types of profit distributions (normal, Poisson); taking into account additional risk factors (for example, currency fluctuations); integrating machine

learning to predict profit dynamics. This study highlights the importance of uncertainty analysis in investment decisions and offers a practical tool for their optimization.

Key words: resource allocation problem, investment, statistical uncertainty, optimal solution, optimality criteria, computational modeling.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Сучасні економічні умови висувають нові вимоги до ефективного розподілу інвестиційних ресурсів між різними секторами господарства [2, 4, 5, 7, 8]. Особливої уваги потребує питання оптимального вкладення коштів у розвиток сільських регіонів [8]. Розглянемо задачу розподілу інвестицій у сфері господарської діяльності на прикладі задачі оптимального розподілу коштів в окремі сільські регіони для забезпечення максимального прибутку.

Розглядається система з n сільських регіонів $R_i, i = \overline{1, n}$. Інвестор має в розпорядженні обмежений бюджет у розмірі m грошових одиниць. Для кожного регіону R_i передбачається можливість вкладення коштів у діапазоні $k, k = \overline{0, m}$. Прибутковість інвестицій є функцією від обсягу вкладених коштів у кожен конкретний регіон. Необхідно визначити оптимальний розподіл інвестиційного бюджету між регіонами, що забезпечує максимізацію сумарного прибутку при заданих обмеженнях.

Нехай $g_i(x_j), i = \overline{1, n}$ – прибуток від інвестування $x_j, j = \overline{0, m}$ грошових одиниць коштів у сільський регіон R_i . $P_i(x_j), i = \overline{1, n}$ – прибуток від інвестування $x_j, j = \overline{0, m}$ одиниць коштів у відповідні регіони R_i .

Математична постановка задачі наступна:

$$F = \sum_{j=1}^n P_i(x_j) \rightarrow \max$$

$$\sum_{j=1}^m x_j \leq m,$$

де n – кількість регіонів;

x_j – грошових одиниць коштів інвестовано у сільський регіон R_i ;

$P_i(x_j)$ – прибуток від інвестування x_j одиниць коштів у відповідний регіон R_i , P_i можуть варіюватися відповідно заданому закону розподілу;

m – максимальна кількість грошових одиниць коштів інвестицій;

F – величина сумарного прибутку за всіма регіонами.

Важливим аспектом управління інвестиційними ресурсами є невизначеність прибутків через відсутність повної інформації про прогностні значення показників [2]. Внутрішні (показник економіки, сфера господарської діяльності) та зовнішні фактори (світові ціни на продукцію, логістичні витрати, військові дії, економічна політика) мають вплив на динаміку прибутку. Це впливає на притік інвестицій, в тому числі іноземних, оскільки інвесторам важливо отримати не менше певної величини сумарного прибутку, щоб прорахувати доцільність інвестування в ту чи іншу господарську сферу. Є доцільним оцінити вищенаведену величину для стандартної норми динаміки прибутку та норми динаміки прибутку у випадку інфляційної економіки на основі даних для обраної сфери господарської діяльності за попередні роки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інвестиційна діяльність має ключову роль для розвитку країни. Україна потребує створення сприятливих умов для інвесторів, що дозволить збільшити притік іноземних інвестицій. Питанням залучення іноземних інвестицій в українську економіку присвячені наукові праці [2, 4, 5, 7, 8], в яких автори аналізують динаміку, структуру та перспективи інвестування, а також визначають ключові чинники, що впливають на інвестиційні процеси в Україні.

В статті [8] проаналізовано сучасний стан та динаміку залучення іноземних інвестицій за останніх двадцять років. Досліджено причини, що мали негативний вплив на обсяги капіталовкладень. Визначено пріоритетні сфери для інвестування: промисловість, сільське і лісове господарство, оптова та роздрібна торгівля. Окреслено перспективи інвестиційної діяльності.

У статті [7] обґрунтовано необхідність залучення прямих іноземних інвестицій в національну економіку. Досліджено систему заходів, необхідних для формування ефективної інвестиційної стратегії, забезпечення високого рівня захисту інтересів та прав іноземних інвесторів.

В роботі [4] проведено дослідження географічної структури прямих іноземних інвестицій в Україну за наступний проміжок часу: 1995 – 2019 рр. Проаналізовано зміни кількості країн-інвесторів та їх показників інвестицій. Оцінено вплив інвестицій досліджуваних країн на економічний розвиток України. Визначено основних інвесторів та країни з найменшими інвестиціями, з якими слід розширювати інвестиційне співробітництво.

У дослідженні [2] систематизовано теоретико-методичні засади управління інвестиційними ресурсами підприємств. Автори ідентифікували ключові причини виникнення невизначеності: інформаційні дефіцити (неповний перелік впливових факторів, відсутність надійних прогностичних даних), наслідки для управління (зниження точності оцінок ефективності, підвищення ризиків прийняття рішень). Ці положення підкреслюють необхідність розробки адаптивних методів управління інвестиціями, здатних враховувати стохастичну природу економічних процесів.

В роботі [5] проаналізовано концепції до визначення сутності інвестиційного проекту. Запропонована методика дозволяє усунути неоднозначність у визначенні інвестиційних ініціатив, що є важливим для: формування інвестиційної політики підприємств; розробки стандартів проектного менеджменту; вдосконалення механізмів оцінки ефективності. Подальшим етапом дослідження повинна стати побудова системи ухвалення інвестиційних рішень в умовах невизначеності й ризику.

Задача розподілу інвестицій затребувана у різних сферах господарської діяльності [10-14, 16]:

- інвестиції венчурного капіталу [10]: проаналізовано зміни в моделях інвестицій для інвесторів венчурного капіталу (VC) з різними структурами управління; досліджено вибірку венчурних інвестицій, здійснених у період 1998–2014 років у 28 країнах-членах ЄС та Ізраїлі;
- інвестиції в мережеву інфраструктуру [12]: виведено оптимальну перспективну мережеву плату, що максимізує соціальне забезпечення, враховуючи частковість інвестицій і невизначений споживчий попит;
- інвестиції в нерухомість [14]: досліджено статистичні властивості доходів від нерухомості, ґрунтуючись на аналізі даних з Німеччини; аналіз характеристик розподілу показує, що прибутки від нерухомості в Німеччині за досліджуваний період не розподілялися нормально і відповідали логістичному розподілу;
- інвестиції у сектор електроенергії [16]: дослідження базується на наборі даних зі 124 DSO і застосовує методологію, що поєднує факторний аналіз і модель Tobit, щоб оцінити роль ринкових, регуляторних, інвестиційних факторів;
- інвестиції у нематеріальні активи (логістичні системи, платформний бізнес, аналіз великих даних і штучний інтелект) [13]: проаналізовано вплив інвестиційної діяльності, пов'язаної з нематеріальними активами на ринкову вартість дистриб'юторських компаній, зареєстрованих на ринку KOSDAQ; також досліджується вплив ефективності та інтенсивності такої інвестиційної діяльності на ринкову вартість розподільчих компаній, виміряну співвідношенням ринкової ціни до балансової вартості (PBR);
- інвестиції в транспортну інфраструктуру [11]: досліджено розмір та вплив інвестицій державного сектора Швеції в транспортну інфраструктуру.

У роботах [1, 3, 6, 9, 15, 17] розроблено комплекс економіко-математичних моделей та методів оптимізації інвестиційних рішень.

В роботі [6] авторами запропоновано інноваційний підхід до: моделювання впливу статистичної невизначеності на оптимальність інвестиційних рішень; ідентифікації множини потенційно оптимальних планів розподілу коштів; систематизації альтернативних критеріїв оптимальності.

В роботі [1] розроблено методику оцінки ставки дисконтування, яка: інтегрує премію за ризик для різних видів облігацій; враховує особливості дискретних та неперервних розподілів; дозволяє точніше визначати інвестиційну привабливість активів та адаптувати оцінки до різних ринкових умов.

У роботі [17] наведено статистичні моделі, які визначають можливі технологічні варіанти для покращення продуктивності систем розподілу DSO. Висновки ґрунтуються на кількох статистичних моделях, побудованих на наборі технічних даних, отриманих від 64 відокремлених європейських операторів розподілу електроенергії. Наведені моделі надають можливість операторам розподільчих мереж та регуляторам енергетики кількісно оцінити вплив інвестицій у рішення автоматизації на рівень надійності.

У роботі [3] побудовано та досліджено економіко-математичну модель інвестиційного забезпечення регіонального промислового кластера. Модель заснована на порівняльному підході щодо вибору оптимальних інвестиційних проектів з ряду схожих за стартовими умовами реалізації. Використання запропонованої моделі надає можливість сформувати раціональний інвестиційний баланс щодо нових інвестиційних ресурсів для промислового кластера та напрямів використання.

Задача мінімізації витрат у розподільних мережах розглядається в роботі [15] за допомогою підходу до оптимізації головного-підлеглого. Цільова функція одночасно мінімізує витрати на закупівлю енергії в шині підстанції, а також інвестиційні та експлуатаційні витрати на фотоелектричні джерела протягом планового періоду в 20 років. Чисельні результати систем IEEE 33-bus і 69-bus демонструють, що за допомогою запропонованої методології оптимізації можна усунути приблизно 27% річних витрат на експлуатацію в обох системах.

В роботі [9] провели дослідження щодо інвестиційних можливостей, аналізуючи вплив асиметрії неперервних розподілів ймовірностей прибутку.

Мета статті: дослідити вплив статистичної невизначеності на оптимальний розподіл інвестицій у сфері господарської діяльності та розробити інструменти для прийняття ефективних інвестиційних рішень у нестабільних умовах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Була розроблена програмна реалізація для визначення оптимального розподілу обмежених інвестиційних ресурсів між декількома регіонами з метою максимізації сумарного прибутку, з урахуванням можливих коливань прибутковості.

Основні етапи програмної реалізації (фрагменти наведено на рис. 1):

1. Ініціалізація параметрів:
 - визначається кількість регіонів (n) та максимальний бюджет (m);
 - задається матриця базової прибутковості для кожного регіона при різних обсягах інвестицій;
 - встановлюються параметри експериментів (кількість ітерацій, відсоток відхилення).
2. Генерація варіантів розподілу:
 - програма створює всі можливі комбінації розподілу інвестицій за допомогою `itertools.product`;
 - для кожного варіанту перевіряється, чи не перевищує сумарний обсяг інвестицій заданий бюджет.
3. Розрахунок прибутку з урахуванням невизначеності:
 - до базової матриці прибутковості додається випадкове відхилення ($\pm deviation_percent$);
 - для кожного допустимого розподілу обчислюється сумарний прибуток.
4. Визначення оптимального розподілу:
 - програма знаходить варіант розподілу інвестицій, який забезпечує максимальний прибуток;
 - зберігаються як оптимальний розподіл, так і всі проміжні результати.
5. Експорт результатів: дані зберігаються у файл (Excel або CSV) в обраній папці.

Особливості програмної реалізації:

1. Обробка невизначеності:
 - випадкові коливання прибутковості імітуються за допомогою генератора випадкових чисел;
 - відсоток відхилення можна регулювати (`deviation_percent`).
 2. Гнучкість вхідних даних:
 - можна задавати довільну матрицю прибутковості;
 - підтримується будь-яка кількість регіонів та рівнів інвестування.
 3. Візуалізація результатів: дані експортуються у зручному для аналізу форматі.
- Систематизуємо оптимальні стратегії для різних типів інвесторів.

1. Критерій частотності (Frequency Criterion): відбирає плани, які зустрічаються у $>10\%$ кількості експериментів.

Доцільність застосування:

- коли потрібно визначити найбільш стабільні стратегії розподілу інвестицій;
- для оцінки «надійності» плану: високий % появи свідчить про його стійкість до змін вхідних даних (наприклад, коливань прибутковості).

2. Критерій середньої ефективності (Mean Profit Criterion): сортує плани за середнім сумарним прибутком.

Доцільність застосування:

- для максимізації очікуваного доходу без урахування ризиків;
- коли інвестор орієнтований на довгострокову прибутковість, а не на мінімізацію втрат.

3. Критерій ймовірності успіху (Probability Threshold Criterion): Відбирає плани, де ймовірність отримати прибуток вище заданого рівня $\geq$ певного значення (наприклад, 80%).

Доцільність застосування:

- для консервативних інвесторів, які мінімізують ризик недоотримання цільового прибутку;
- у умовах високої невизначеності (наприклад, кризи, війни), коли критично забезпечити мінімально прийнятний дохід.

Рекомендації щодо комбінації критеріїв:

1. Для агресивних інвесторів: спочатку критерій 2 (максимізація прибутку), потім критерій 1 (стабільність). Ігнорувати критерій 3.

Приклад: венчурні інвестиції у стартапи.

2. Для поміркованих стратегій: критерій 1 $\rightarrow$ критерій 2 $\rightarrow$ відсікання планів із ймовірністю успіху $<70\%$.

Приклад: фонди змішаних інвестицій.

```

...
def investment_allocation(n, m, profit_matrix, num_experiments, deviation_percent, output_filename):
    ...
    # Генеруємо матрицю P i(x j) з випадковим відхиленням
    P = profit_matrix * (1 + (deviation_percent/100) * (2*np.random.random(profit_matrix.shape) - 1))
    # Генеруємо всі можливі розподіли інвестицій
    allocations = list(product(range(m+1), repeat=n))

    results = []
    max_profit = -np.inf
    optimal_allocation = np.zeros(n)

    for alloc in allocations:
        total_invested = sum(alloc)

        if total_invested <= m:
            current_profit = sum(P[i, alloc[i]] for i in range(n))

            # Зберігаємо всі результати
            results.append(list(alloc) + [current_profit])

            if current_profit > max_profit:
                max_profit = current_profit
                optimal_allocation = alloc
    ...
def export_results(results, optimal_alloc, max_profit, filename):
    """Експорт результатів у файл"""
    headers = [f'Регіон_{i+1}' for i in range(len(optimal_alloc))] + ['Сумарний_прибуток']
    df = pd.DataFrame(results, columns=headers)
    if filename.endswith('.xlsx'):
        with pd.ExcelWriter(filename) as writer:
            df.to_excel(writer, sheet_name='Результати', index=False)
            optimal_df = pd.DataFrame([list(optimal_alloc) + [max_profit]], columns=headers)
            optimal_df.to_excel(writer, sheet_name='Оптимальний план', index=False)
    elif filename.endswith('.csv'):
        df.to_csv(filename, index=False)
        with open(filename, 'a') as f:
            f.write("\nОптимальний план:\n")
            pd.DataFrame([list(optimal_alloc) + [max_profit]], columns=headers).to_csv(f, index=False,
            header=False)
    else:
        raise ValueError("Підтримуються лише .xlsx або .csv файли")
    ...

```

Рис. 1. Фрагменти програмної реалізації для визначення оптимального розподілу

3. Для консервативних інвесторів: критерій 3 (ймовірність $\geq 90\%$) $\rightarrow$ критерій 2 (середній прибуток), критерій 1 не обов'язковий.

Приклад: Державні облігації або інфраструктурні проекти.

Проілюструємо роботу алгоритму та застосування критеріїв оптимальності наступним прикладом. Для інвестування чотирьох сільських регіонів інвестор може виділити сім грошових одиниць коштів. Нехай $g_i(x_j), i=1,4$ – прибуток від інвестування $x_j, j=0,7$ грошових одиниць коштів у сільський i -й регіон (табл. 1).

В табл. 2 наведено динаміку прибутку в аграрному секторі України за 2020–2024 роки на основі даних Державної служби статистики України.

Таблиця 1

Прибуток від інвестування коштів у сільські регіони

$g_i(x_j)$	x_j							
	0	1	2	3	4	5	6	7
$g_1(x_j)$	0	10	15	20	30	32	34	35
$g_2(x_j)$	0	30	40	50	55	60	65	70
$g_3(x_j)$	0	20	25	30	35	40	45	50
$g_4(x_j)$	0	5	10	15	20	40	45	50

Таблиця 2

Динаміка прибутку в аграрному секторі України (2020–2025)

Рік	Прибуток
2020	+15–20%
2021	+25–30%
2022	-30–40%
2023	-10–15%
2024	+5–10%

Розглянемо приклад для наступних випадків:

- прибуток (табл. 1) може змінюватися за рівномірним законом у межах 10% (на основі даних прибутку за 2023-2024 рр.);
- прибуток (табл. 1) може змінюватися за рівномірним законом у межах 40% (на основі даних прибутку за 2021-2022 рр.).

Знайдемо оптимальні плани задачі розподілу інвестицій для випадку, коли прибуток підпорядковується рівномірному закону розподілу з 10% відхиленням. Зробимо 10000 експериментів. Для кожного запуску будемо фіксувати оптимальний план та значення прибутку (рис. 2).

0115	_0520_	_0610_	_1222_	_1231_	_1240_	_1312_	_1321_	_1330_	_1411_	_1420_	_1510_	_2221_	_2230_	_2311_	_2320_
94,957	92,7022	93,0539	90,0664	90,5271	88,8683	93,324	96,2511	95,1921	95,3128	92,013	93,7524	89,3992	90,8369	95,9178	95,5935
94,8111		91,2504	91,1178		91,9175	95,3217	91,3599	95,3488	95,2342	92,2741	93,2759	92,6392	91,1487	96,9472	93,0356
93,0639		91,6493	91,5834		90,566	96,1959	92,8644	94,2839	96,1449	94,1689	93,1821	90,3892	88,7202	96,1654	95,5145
95,9424		93,3518	90,275		91,4903	92,1672	96,0464	94,0299	91,7258	94,8277	95,6715		91,8592	96,1398	96,2527
96,6261		92,4406			93,039	93,5704	94,1333	93,7506	93,3033	94,1208	96,9836		91,9852	97,6748	95,0303
91,8184		92,1301			90,8905	97,1422	96,3623	93,8319	95,0229	94,5684	96,6062			93,3919	95,1113
94,2044		89,677			89,8964	94,4572	95,2792	95,9517	95,8846	96,0522	93,2831			94,0311	97,1894
92,8438		90,8134			90,6246	95,7665	93,887	97,1236	94,8251	94,4205	95,5438			98,2373	93,4927
94,9924		88,4897			91,524	91,5845	95,5061	93,7801	96,3595	94,8472	92,2069			92,9357	92,7215
90,8356		91,1147			88,2234	96,9339	94,6074	96,0925	91,8134	91,2421	94,0412			94,1662	91,9743
91,1447		90,8705			90,9016	96,2969	92,821	95,7858	89,3351	93,7315	91,5406			96,5264	95,2012
96,7804		89,9883			88,7764	95,0636	97,6209	94,2612	96,5412	94,0524	95,5636			93,5822	96,7152
92,4028		89,9914			90,2771	94,8959	96,7143	98,1122	93,5213	95,5021	96,078			96,4776	95,3718
95,1956		89,4739			91,7161	97,1523	94,2309	91,5151	94,0094	94,2216	92,8695			94,5533	97,3948
96,0774		92,3097			91,388	90,6736	91,1751	95,3288	95,2293	92,9881	93,5724			96,047	96,7607
93,5942		90,7337				95,9531	96,7929	89,3105	93,234	94,8128	88,7759			95,6996	90,7993
91,7769		90,6868				97,4176	93,8612	96,3208	95,4537	97,0859	96,6144			94,7928	96,9685
95,8782		89,6071				94,8661	92,8081	97,7199	93,6235	93,8497	91,5712			92,7205	96,3131
94,1633		89,9805				94,5506	93,6511	95,7051	97,3482	96,481	92,3255			92,546	97,0764
93,5828		90,6752				96,0707	95,1035	93,8773	95,082	96,5781	92,9983			96,2733	92,8491
96,6847		90,1489				93,42	96,664	96,1786	96,4848	88,8984	94,4962			89,8409	96,1982
88,092		91,5664				93,1919	96,9496	95,5649	93,5325	97,6439	93,7837			94,6302	95,7935
95,3474		91,2237				96,4371	94,4891	98,0456	92,2368	92,0362	94,3485			94,118	96,6595
92,5846		90,0858				94,7964	95,7753	96,5483	89,8418	96,6964	90,0914			94,3323	95,158
95,0925		92,7459				93,2184	93,3306	95,3303	96,4123	97,2606	95,1543			94,4846	93,8496
94,9319		90,8074				93,9477	95,8998	94,7242	93,0305	96,0957	95,7946			96,5451	91,0144
94,7864		91,1913				95,7368	95,1243	95,3564	94,5085	96,694	94,3292			95,7026	93,1227
93,6763		91,0969				93,8742	92,5896	94,6307	96,4119	89,5367	91,3167			96,679	94,2875
95,267		90,9597				95,4822	91,4543	97,0888	94,8642	93,8169	95,2186			95,9972	96,0598
94,4087		92,0549				95,2013	96,0276	98,2026	95,1254	90,8164	91,8331			94,455	91,0692

Рис. 2. Фрагмент таблиці значень оптимального плану та значення прибутку для 10% відхилення

Було отримано 22 набори оптимальних планів. Застосуємо комбінацію критеріїв оптимальності для поміркованих стратегій. Першим кроком застосуємо критерій частотності. Відсортуємо за цим критерієм оптимальні плани, що мають кількість (у відсотках) більшу за 10% (табл. 3). Отримали 4 оптимальних планів, що відповідають розглянутому критерію. Застосуємо критерій середньої ефективності та знайдемо середньоарифметичний сумарний прибуток для 4 оптимальних планів (табл. 4). Застосуємо критерій ймовірності успіху та відберемо плани, що забезпечують отримання прибутку вище 93,5 од. з ймовірністю $\geq 70\%$ (табл. 5).

Таблиця 3

Кількість оптимальних планів у відсотках

План	Кількість, відсотки
0 1 1 5	13
1 4 2 0	11,9
1 5 1 0	17,4
4 2 1 0	12,6

Таблиця 4

Середньоарифметичний сумарний прибуток, од.

План	Середньоарифметичний сумарний прибуток, од.
0 1 1 5	94
1 4 2 0	94,5
1 5 1 0	94,4
4 2 1 0	94

Таблиця 5

Ймовірність отримати прибуток, більший за 93,5 од., відсотки

План	Ймовірність отримати прибуток, більший за 93,5 од., відсотки
1 4 2 0	71,7

На підставі аналізу отриманих оптимальних планів для реалізації рекомендовано наступний розподіл інвестиційних коштів: у перший сільський регіон інвестувати 1 грошову одиницю, у другий регіон – 4 од., у третій – 2 од., у четвертий – 0 од.

Знайдемо оптимальні плани задачі розподілу інвестицій для випадку, коли прибуток підпорядковується рівномірному закону розподілу з 40% відхиленням. Зробимо 10000 експериментів. Для кожного запуску будемо фіксувати оптимальний план та значення прибутку (рис. 3).

Для 10000 запусків було отримано 60 наборів оптимальних планів. Застосуємо комбінацію критеріїв оптимальності для консервативних інвесторів. Застосуємо критерій ймовірності успіху та відберемо плани, що забезпечують отримання прибутку вище 100 од. з ймовірністю $\geq 90\%$ (табл. 6). Отримали 25 оптимальних планів, що відповідають розглянутому критерію. Застосуємо критерій середньої ефективності та знайдемо середньоарифметичний сумарний прибуток для 25 оптимальних планів (табл. 6).

На підставі аналізу отриманих оптимальних планів для реалізації рекомендовано наступний розподіл інвестиційних коштів: у перший сільський регіон інвестувати 3 грошові одиниці, у другий регіон – 3 од., у третій – 1 од., у четвертий – 0 од. Даний оптимальний план має максимальне значення за критерієм середньої ефективності.

У випадку, коли поставлена задача мінімізувати ризик, то слід додатково застосувати критерій частотності (табл. 7). В цьому випадку для реалізації рекомендовано наступний розподіл інвестиційних коштів: у перший сільський регіон інвестувати 1 грошову одиницю, у другий регіон – 5 од., у третій – 1 од., у четвертий – 0 од.

Висновки та перспективи розвитку. Проведене дослідження довело ефективність запропонованого підходу до розподілу інвестиційних ресурсів у умовах економічної нестабільності. Ключові результати роботи включають:

1. Розробку інструменту прогнозування прибутковості, який враховує вплив невизначеності через: моделювання рівномірного розподілу прибутковості з заданим відсотком відхилення; багатокритеріальну оптимізацію для різних сценаріїв.

0106	0115	0124	0142	0160	0205	0214	0223	0232	0241	0250	0313	0322	0331	0340
94,7394	100,451	98,761	97,2155	102,048	98,4072	101,006	102,985	105,517	97,8178	95,5281	102,393	114,446	100,016	110,901
103,383	114,007			97,3652	96,642		106,53		99,89	98,8367	99,9977	112,934	110,362	109,119
86,4492	101,867			100,627	102,505				110,169	105,495	102,532	109,119	108,304	109,434
104,629	110,213			97,788	94,2631					109,683	102,703	108,953	107,109	112,263
89,7654	94,039			95,9509	99,992					98,7142	108,301	115,92	106,349	108,6
96,7318	108,608			103,586	101,23					104,9	104,245	114,734	99,6452	108,31
88,4617	110,29			99,492	100,101					106,818	114,26	105,976	116,545	107,652
99,735	117,813			104,097	107,932					100,199	115,407	113,489	108,879	117,126
100,792	102,629			91,2767	94,3951					110,455	94,967	101,666	98,1518	113,908
98,9007	100,693			103,943	102,33					98,7372	115,227			112,196
102,633	101,533			100,686	98,4694					108,381	118,378			112,423
101,617	109,617			95,8854	107,394					101,278	107,338			103,911
99,1447	112,961			96,4949	105,101					104,99	101,011			104,693
96,7512	103,323			104,218	107,772					87,6291	116,098			116,994
93,4782	102,842			94,957	96,2859					103,39	100,723			106,046
100,308	105,48				103,356					95,4752				112,431
100,35	109,309				107,412					104,262				112,872
103,015	102,58				104,212					108,534				100,889
102,647	106,289				108,512					98,4274				107,237
	121,341				99,195					103,933				103,34
	118,914				97,6672					106,066				110,604
	114,945				109,635					97,6342				112,101
	110,002				103,05					100,808				109,109
	101,447				104,408					99,6728				114,433
	105,231				110,033					105,614				103,129
	111,647				104,39					105,872				106,355
	108,763				106,721					105,39				105,647
	111,488				94,9526					97,1115				114,376
	105,797				109,232					98,8759				102,592
	116,358				100,899					97,7401				110,363
	111,14				106,124					99,7961				110,831

Рис. 3 Фрагмент таблиці значень оптимального плану та значення прибутку для 40% відхилення

Таблиця 6

Критерій ймовірності успіху та критерій середньої ефективності

План	Ймовірність отримати прибуток, більший за 100 од., відсотки	Середньоарифметичний сумарний прибуток, од.
0 2 1 4	100	101
0 2 2 3	100	104,8
0 2 3 2	100	105,6
0 3 2 2	100	110,8
0 3 4 0	92,3	108,4
0 4 2 1	100	110,2
0 4 3 0	90	108,4
0 5 1 1	93	108,7
0 5 2 0	90,7	108,6
1 1 0 5	100	106,4
1 1 1 4	100	104,2
1 3 1 2	93,8	110,2
1 3 2 1	92	110,1
1 3 3 0	92,3	110,6
1 4 1 1	92,3	110,7
1 4 2 0	93,8	110,8
1 5 1 0	92	109,9
2 2 1 2	100	106,8
2 3 1 1	96,3	111,2
2 3 2 0	94,7	111,6
2 4 1 0	94,4	111,2
3 2 2 0	92,5	107,1
3 3 1 0	95,5	112,1
4 2 1 0	92,7	109,6
4 3 0 0	100	107,7

Таблиця 7

Кількість оптимальних планів у відсотках

План	Кількість, відсотки
1 5 1 0	11,3

2. Систему критеріїв оптимальності, що дозволяє: виявляти статистично значущі стратегії розподілу (критерій частотності); максимізувати очікуваний дохід (критерій середньої ефективності); контролювати ризики через ймовірнісні межі (критерій ймовірності успіху).

3. Практичну цінність для різних груп користувачів: інвестори отримують інструмент для обґрунтованого вибору стратегій у нестабільних умовах; органи влади можуть використовувати модель для підтримки ключових галузей; аналітики – для сценарного моделювання з урахуванням зовнішніх шоків.

4. Перспективи подальших досліджень: впровадження складніших розподілів (нормальний, Пуассона); інтеграція додаткових факторів ризику (валютні коливання, політична нестабільність); застосування методів машинного навчання для прогнозування динаміки прибутковості.

Отримані результати підтверджують, що запропонована методика: знижує інвестиційні ризики за рахунок кількісного аналізу невизначеності; забезпечує гнучкість прийняття рішень через модульну структуру критеріїв; відкриває нові напрями для дослідження стохастичних моделей в економіці. Дослідження становить теоретичну базу для подальшого розвитку інструментів управління інвестиціями в умовах високої волатильності ринків.

Список використаних джерел:

1. Бобиль В. В., Гненний О. М., Пивоварова Г. Б. До питання оцінки ефективності інвестицій в умовах ризику. *Ефективна економіка*. 2021. № 4. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.4.2>
2. Запорожець Г. В. Теоретико-методичні засади управління інвестиційними ресурсами організації. *Бізнес Інформ*. 2020. № 4. С. 433–439. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-4-433-439>
3. Македон В., Михайленко О. Управління внутрішніми інвестиційними проектами в регіональному промисловому кластері підприємств. *Підприємництво та інновації*. 2022. № 25. С. 56–63. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/25.9>
4. Маслій В., Питель С. Статистичний аналіз географічної структури прямих іноземних інвестицій в Україну. *Вісник економіки*. 2021. № 2. С. 160–175. URL: <http://dspace.wunu.edu.ua/handle/316497/42589>
5. Нікітіна В., Шершенюк О., Курчата І., Попкова К., Христофорова О. Управління інвестиційними проектами як важлива складова менеджменту підприємства у глобальному просторі. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*. 2021. № 2(33). С. 473–481. DOI: <https://doi.org/10.18371/fcaptp.v2i33.207210>
6. Подковаліхіна О. О., Логвіненко В. О., Бахрушин В. Є. Задача розподілу інвестицій в умовах статистичної невизначеності. *Системні технології*. 2019. Том 2, № 121. С. 56–63. URL: <https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st/article/view/460>
7. Пурій Г. М. Сучасний стан та основні тенденції залучення прямих іноземних інвестицій в економіку України. *Інфраструктура ринку*. 2020. № 44. С. 199–203. DOI: <https://doi.org/10.32843/infrastructure44-33>
8. Тимоць М. В., Стахів Г. І. Фінансові аспекти залучення іноземних інвестицій в умовах воєнного стану. *Економіка та суспільство*. 2023. № 47. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-47-70>
9. Benuzzi M., Ploner M. Skewness-seeking behavior and financial investments. *Ann Finance*. 2024. № 20. P. 129–165. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10436-023-00437-y>
10. Berton F., Colombo M. G., Quas A. The changing patterns of venture capital investments in Europe. *Journal of Industrial and Business Economics*. 2019. № 46. P. 229–250. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40812-019-00113-1>
11. Bondemark A., Andersson H., Brundell-Freij K. Public preferences for distribution in the context of transport investments. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2022. № 157. P. 160–184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.01.013>
12. Govaerts N., Bruninx K., Le Cadre H., Delarue Er. Forward-looking distribution network charges considering lumpy investments. *Journal of Regulatory Economics*. 2021. № 59. P. 280–302. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11149-021-09428-1>
13. Jongok K., Munsoo Ch. An Analysis on the Effect of Intangible Asset Investments on the Valuation of Distribution Companies. *J. Channel Retail*. 2021. № 26(1). P. 25–46. DOI: <https://doi.org/10.17657/jcr.2021.01.31.2>
14. Lausberg C., Lee S., Müller M. et al. Risk measures for direct real estate investments with non-normal or unknown return distributions. *Z Immobilienökonomie*. 2020. № 6. P. 3–27. DOI: <https://doi.org/10.1365/s41056-019-00028-x>
15. Montoya O. D., Grisales-Noreña L. F., Perea-Moreno A. P. Optimal Investments in PV Sources for Grid-Connected Distribution Networks: An Application of the Discrete-Continuous Genetic Algorithm. *Sustainability*. 2021. № 13(24). DOI: <https://doi.org/10.3390/su132413633>
16. Pereira G., da Silva P., Cerqueira P. Electricity distribution incumbents' adaptation toward decarbonized and smarter grids: Evidence on the role market, regulatory, investment, and firm-level factors. *Energy Policy*. 2020. № 142. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111477>
17. Prettico G., Marinopoulos A., Vitiello S. Guiding electricity distribution system investments to improve service quality: A European study. *Utilities Policy*. 2022. № 77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101381>