

Електронний журнал «Ефективна економіка» включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019). Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292.
Ефективна економіка. 2026. № 3.
ISSN 2307-2105



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2026.3.102>

УДК 330.341.1:355.48(477.63)

О. В. Каут,

к. е. н., доцент, доцент кафедри міжнародної економіки, управління і соціально-гуманітарних дисциплін,

ННІ «Дніпровський металургійний інститут» УДУНТ

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4126-4961>

М. К. Вишнеvsька,

к. т. н., доцент, доцент кафедри міжнародної економіки, управління і соціально-гуманітарних дисциплін,

ННІ «Дніпровський металургійний інститут» УДУНТ

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3580-0564>

МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: АДАПТАЦІЯ БІЗНЕС-СТРАТЕГІЙ ДО ВИСОКОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

O. Kaut,

*PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Economics, Management and Social-Humanitarian Disciplines,
Dnipro Metallurgical Institute*

M. Vyshnevskya,

PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Economics, Management and Social-Humanitarian Disciplines, Dnipro Metallurgical Institute

MODELS OF MANAGERIAL DECISION-MAKING UNDER MARTIAL LAW: ADAPTATION OF BUSINESS STRATEGIES TO HIGH UNCERTAINTY

У статті досліджено трансформацію підходів до стратегічного управління промисловими підприємствами в умовах повномасштабної війни та зростаючої невизначеності зовнішнього середовища. На прикладі індустріального кластера Дніпропетровської області обґрунтовано необхідність переходу від детермінованих моделей стратегічного планування до стохастичних адаптивних систем управління підприємствами. Теоретичною основою дослідження стали положення стохастичної оптимізації, концепції реальних опціонів та підходи до управління стійкістю підприємств. У дослідженні застосовано методи економіко-математичного моделювання, сценарного аналізу та експертного оцінювання ризиків. Розроблено авторську математичну модель оптимізації управлінських рішень (SOCRC), що враховує воєнні ризики, енергетичну нестабільність і логістичні обмеження та дозволяє формалізувати вибір стратегій функціонування підприємств у середовищі високої невизначеності. Удосконалено науково-методичний підхід до оцінки вартості бізнес-стратегій на основі підходу реальних опціонів, у якому параметр волатильності модифіковано з урахуванням інтенсивності бойових дій, що дає змогу кількісно обґрунтовувати рішення щодо переключення виробничих потужностей або їх тимчасової консервації. Подальшого розвитку набуло поняття адаптаційного потенціалу підприємства, для якого визначено критичний коефіцієнт інвестицій в адаптацію, перевищення якого сприяє статистично значущому зниженню ймовірності банкрутства. Практичне значення результатів полягає у можливості використання розробленої інструментарію керівниками промислових підприємств для обґрунтування стратегій збереження виробничого потенціалу та забезпечення операційної безперервності в умовах воєнних ризиків.

The article examines the transformation of strategic management approaches for industrial enterprises under the conditions of full-scale war and

increasing environmental uncertainty. Using the industrial cluster of the Dnipropetrovsk region as a case study, the research substantiates the necessity of shifting from deterministic models of strategic planning to stochastic adaptive management systems capable of accounting for wartime risks, logistical disruptions, and energy instability. The theoretical foundation is based on stochastic optimization theory, the concept of real options, and resilience management approaches. To formalize managerial decision-making, methods of economic and mathematical modeling were applied, including a modification of the Black–Scholes formula for assessing strategic flexibility. Empirical verification of the proposed model was carried out through scenario analysis and expert evaluation of risk parameters for enterprises within the industrial cluster of the Dnipropetrovsk region. A mathematical model for optimizing managerial decisions (SOCRC) has been developed, which incorporates wartime risks, energy instability, and logistical constraints and enables the formalization of enterprise strategy selection under high uncertainty. The mechanism for evaluating the value of business strategies has been improved through the application of the real options approach, where the volatility parameter is modified by taking into account the intensity of military actions. This allows for the quantitative justification of managerial decisions related to switching production capacities or their temporary suspension. Further development has been given to the concept of the enterprise's adaptive potential, for which a critical coefficient of investment in adaptation has been determined. Based on the case of enterprises in the Dnipropetrovsk region, the threshold value of this coefficient is established at 12% of asset value, the exceeding of which contributes to a statistically significant reduction in bankruptcy probability. The practical significance of the results lies in the possibility of using the proposed analytical toolkit by managers of industrial enterprises to substantiate strategies aimed at preserving production potential and ensuring operational continuity under wartime risks.

Ключові слова: управлінські рішення, воєнний стан, невизначеність, промислове підприємство, Дніпропетровська область, математичне моделювання, бізнес-стратегія, ризик-менеджмент.

Keywords: managerial decisions, martial law, uncertainty, industrial enterprise, Dnipropetrovsk region, mathematical modeling, business strategy, risk management.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Повномасштабна війна, що триває на території України, призвела до фундаментної трансформації інституційного середовища функціонування національної економіки. Особливо гостро ці зміни відчують промислові регіони, до яких належить Дніпропетровська область – ключовий центр металургії, машинобудування та оборонно-промислового комплексу. Традиційні економіко-математичні моделі управління, що базуються на припущеннях стабільності ринкових параметрів та раціональності агентів, в умовах воєнного стану втрачають свою адекватність через екзистенційний характер загроз (руйнування активів, логістичні блокування, енергетична нестабільність). Це зумовлює необхідність розробки нових інструментаріїв підтримки управлінських рішень, які дозволяють інтегрувати стохастичну природу воєнних ризиків у стратегічне планування.

Попри значну кількість праць з ризик-менеджменту та антикризового управління, питання математичного моделювання бізнес-стратегій в умовах бойових дій залишається недостатньо опрацьованим. Більшість існуючих підходів не враховують специфіку регіональної безпеки та не пропонують кількісних механізмів оцінки адаптаційного потенціалу підприємств. Відсутність формалізованих моделей для умов високої невизначеності унеможливорює обґрунтування оптимальних інвестиційних рішень та загрожує втратою виробничого потенціалу регіону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика управління підприємствами в умовах екстремальної невизначеності перебуває у фокусі уваги сучасної економічної науки. Фундаментальна трансформація

інституційного середовища, зумовлена повномасштабною війною, актуалізувала необхідність перегляду класичних підходів до стратегічного планування. Аналіз останніх досліджень дозволяє виокремити кілька ключових напрямів наукового пошуку, які становлять теоретико-методологічну основу даної роботи.

Перший напрям охоплює емпіричні дослідження впливу воєнного стану на вітчизняний бізнес. Зокрема, О. Гавриш та співавтори [1] у роботі «The first year's impact of the full-scale war on Ukrainian business» систематизували дані щодо зниження виробничих потужностей та трансформації ринкових зв'язків. Їхні висновки підтверджують необхідність переходу від детермінованих моделей до гнучких стратегій виживання, що корелює з концепцією «антикрихкості». Важливим доповненням є лонгітюдне дослідження «Exploring Pathways to Organisational Resilience» колективу авторів [2], де виокремлено чотири траєкторії відновлення виручки (bounce-back, bounce-beyond, bounce-less, bounce-boom). Ця типологія емпірично обґрунтовує запропонований у даній статті коефіцієнт адаптації K_{adapt} : підприємства зі значенням $K_{adapt} \geq 0.12$ статистично частіше належать до категорій bounce-beyond або bounce-boom. Дані міжнародних організацій, зокрема Світового банку та KSE [3], а також дослідження С. Каніаса та співавторів [4], підтверджують, що інвестиції в адаптацію (цифровізація, децентралізація) є ключовим предиктором успішності, проте не надають математичного інструментарію для розрахунку оптимального рівня таких інвестицій.

Другий напрям присвячено теоретичним основам прийняття рішень в умовах невизначеності. Так, зокрема, М. Кампелло та Г. Канканаллі [5] запропонували трирівневу модель джерел невизначеності (макро-, мезо-, мікрорівень), що дозволяє систематизувати воєнні фактори. Їхній підхід лягає в основу структуризації ризиків у моделі SOCRC. Разом з тим, А. Камуффо та співавтори у статті «Theory-Driven Strategic Management Decisions» [6] обґрунтували підходи до прийняття рішень за відсутності історичних даних, підкріплюючи доцільність використання моделі реальних опціонів замість традиційних прогнозних моделей. О. Білецький [7] та І. Макалюк [8] розробили класифікації воєнних ризиків, які можуть слугувати основою для деталізації

змінної $P_{\text{risk}}(t)$, проте їхні роботи зосереджені переважно на якісному аналізі, не пропонуючи кількісних механізмів інтеграції цих ризиків у фінансові моделі оптимізації. Подібні підходи до ідентифікації та управління ризиками виробничих систем висвітлено також у [9], де акцентується увага на інтеграції процедур ризик-аналізу в систему управління бізнес-процесами промислових підприємств. Проблематика нелінійності економічних процесів та використання інструментів теорії хаосу в антикризовому управлінні досліджується також у роботі [10], де підкреслюється значення адаптивних механізмів управління в умовах високої невизначеності.

Третій напрям досліджень стосується логістики та стійкості ланцюгів постачання під час геополітичних потрясінь. Так, у звіті Global Value Chain Development Report [11] та у статті [12] геополітичні порушення виділено як окремий клас ризиків, що вимагає специфічних адаптаційних механізмів. Їхня типологія дозволяє деталізувати коефіцієнти доступності маршрутів (δ_{rail} , δ_{truck}) у запропонованій моделі. Дослідження П. Мадзіка та колег [13], засноване на бібліометричному аналізі, зафіксувало еволюцію концепції резилієнтності від пасивного відновлення до активної адаптації, що підтримує трактування інвестицій в адаптацію (I_{adapt}) як стратегічного активу. Водночас у роботі Дж. Хуанга та співавторів [14] продемонстровано взаємозалежність енергетичної та транспортної інфраструктури через механізми каскадних збоїв, що обґрунтовує введення відповідних обмежень у модель SOCRC. Критичність цих міжсекторальних зв'язків для стійкості ланцюгів постачання в умовах російсько-української війни підкреслюють також Д. Сарвар та С. Рай [15], обґрунтовуючи необхідність врахування системних ефектів для забезпечення продовольчої та логістичної безпеки.

Четвертий напрям пов'язаний з використанням аналітичних систем підтримки рішень (DSS) та штучного інтелекту (ШІ). Зокрема, у дослідженні Ф. Чазара, Г. Кеткара та Г. Кіма [16] проаналізовано функції ШІ у стратегічних рішеннях, демонструючи їхню ефективність на етапі агрегації різномірних даних (повітряні тривоги, стан енергомереж). Це підтверджує доцільність майбутньої розробки програмного забезпечення на базі моделі SOCRC з інтеграцією даних у реальному часі. Практичні аспекти застосування ШІ для

оцінювання ризиків виробничих систем та логістичних процесів промислових підприємств висвітлено також у роботах [17; 18]. У ширшому контексті цифровізації економіки, що створює передумови для впровадження таких систем, важливими є висновки [19], адже вони підкреслюють значення цифрової трансформації промислових регіонів, зокрема Дніпропетровської області, для інтеграції DSS та ІІІ у стратегічне планування.

Попри значну кількість праць, присвячених управлінню в умовах війни, більшість із них мають або суто емпіричний (описовий), або теоретико-концептуальний характер. Існує дефіцит формалізованих економіко-математичних моделей, які б дозволяли кількісно оптимізувати управлінські рішення для промислових підприємств конкретних регіонів з урахуванням специфіки воєнних ризиків. Наявні підходи часто обмежуються окремими секторами (наприклад, агропромисловим [20]) або не інтегрують механізм реальних опціонів для оцінки гнучкості стратегій. Відсутність інструментарію для розрахунку порогових значень інвестицій в адаптацію унеможливорює обґрунтування оптимальних стратегій виживання та збереження капіталу.

Таким чином, попри ґрунтовність попередніх досліджень, залишається невирішеною задача розробки комплексної стохастичної моделі оптимізації, яка інтегрує обмеження критичних ризиків, енергетичної стійкості та логістичної пропускну здатності з оцінкою реальних опціонів. Саме вирішенню окресленої проблематики присвячено дане дослідження.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є розробка математичної моделі прийняття управлінських рішень для промислових підприємств Дніпропетровської області в умовах воєнного стану, яка дозволить оптимізувати бізнес-стратегії шляхом інтеграції факторів воєнних ризиків, енергетичних обмежень та логістичних розривів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для забезпечення практичної придатності розробленої математичної моделі SOCRC необхідно чітко алгоритмізувати процес трансформації вхідних даних про зовнішнє середовище у конкретні управлінські рішення. Складність стохастичних залежностей та динамічність воєнних ризиків вимагають візуалізації логіки

функціонування системи підтримки прийняття рішень. Це дозволяє керівництву підприємств Дніпропетровської області зрозуміти механізм взаємодії між обмеженнями ресурсів, оцінкою ризиків та вибором стратегічних опціонів без необхідності глибокого занурення у математичний апарат. На рисунку 1 представлено узагальнену схему логіки функціонування моделі SOCRC, яка відображає ітеративний процес адаптації бізнес-стратегії.

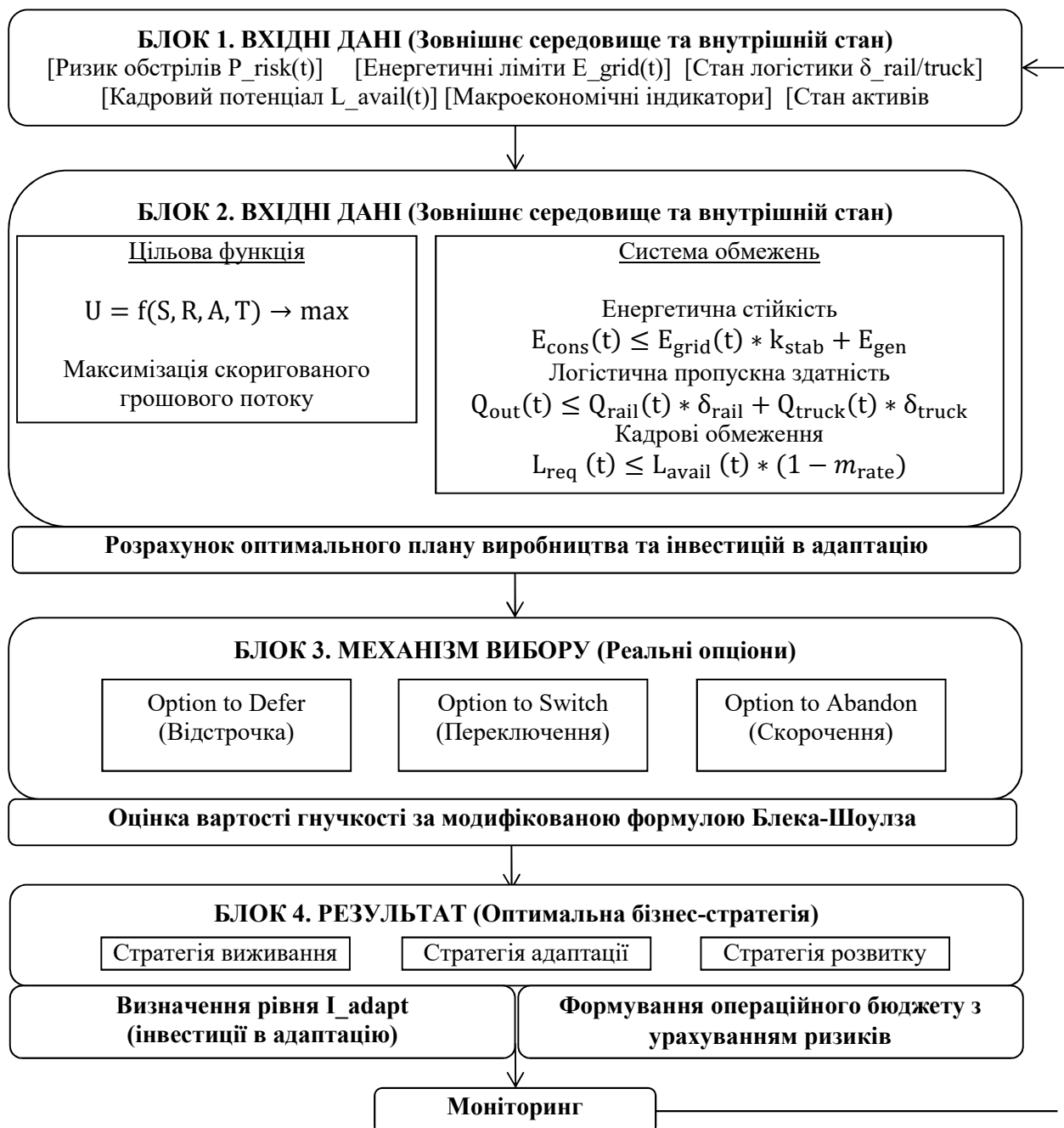


Рис.1. Схема логіки функціонування моделі SOCRC для прийняття управлінських рішень в умовах воєнного стану

Джерело: сформовано авторами.

Представлена схема демонструє замкнутий цикл управління, де ключовим елементом є постійний моніторинг зовнішніх загроз (Блок 1) та їх миттєве відображення у параметрах оптимізаційної моделі (Блок 2). Важливою особливістю запропонованого підходу є наявність зворотного зв'язку: результати реалізації обраної стратегії (Блок 4) та зміни у зовнішньому середовищі стають новими вхідними даними для наступного ітераційного циклу. Це забезпечує адаптивність системи та дозволяє уникнути «заморожування» рішень у довгостроковій перспективі.

Блок 3 виступає своєрідним «фільтром», що трансформує математично оптимальний план у гнучку стратегію. Саме на цьому етапі керівництво підприємства, спираючись на розрахункову вартість реальних опціонів, обирає між консервативним сценарієм (відстрочка інвестицій) та агресивним (переключення виробничих ліній). Для промислових підприємств Дніпропетровської області це означає можливість формалізувати інтуїтивні рішення щодо локації виробництва чи диверсифікації постачальників. Таким чином, модель SOCRC не підміняє менеджера, а надає йому кількісно обґрунтовану базу для вибору між ризиком та потенційною вигодою в умовах високої невизначеності. Для систематизації запропонованого підходу розглянемо його ключові складові, які утворюють концептуальну та методологічну основу моделі SOCRC.

1. Концептуалізація невизначеності в умовах воєнного стану. В умовах воєнного стану невизначеність трансформується з ринкової (попит, ціни) в екзистенційну (загроза знищення активів, блокування логістики, міграція кадрів). Для підприємств Дніпропетровської області це означає необхідність впровадження концепції «антикрихкості» (antifragility).

Традиційна функція максимізації прибутку $P \rightarrow \max$ $P \rightarrow \max$ замінюється на багатокритеріальну функцію виживання та збереження капіталу (формула 1):

$$U = f(S, R, A, T) \rightarrow \max, \quad (1)$$

де S – безпека активів та персоналу; R – операційна стійкість (resilience); A – адаптаційна здатність; T – часовий горизонт планування (який значно скорочується).

2. *Математична модель адаптивного управління.* Для формалізації процесу прийняття рішень запропонуємо Модель стохастичної оптимізації з обмеженнями на критичні ризики (Stochastic Optimization with Critical Risk Constraints – SOCRC). Нехай діяльність промислового підприємства розглядається як дискретний процес у часі $t = 0, 1, \dots, T$. Стан підприємства описується вектором X_t , який включає обсяги виробництва, запаси, фінансові резерви та стан основних фондів. Цільова функція: Максимізація скоригованого очікуваного чистого грошового потоку (ENPV) з урахуванням ймовірності форс-мажорних подій (формула 2):

$$F = \sum_{t=1}^T \frac{E[CF_t * (1 - P_{\text{risk}}(t))]}{(1+r+\rho)^t} - I_{\text{adapt}} \rightarrow \max, \quad (2)$$

де $E[CF_t]$ – очікуваний чистий грошовий потік у періоді t ; $P_{\text{risk}}(t)$ – інтегральна ймовірність реалізації загрози (обстріл, блекаут, логістичне блокування) у періоді t ; r – безризикова ставка дохідності; ρ – премія за військовий ризик (risk premium), яка є динамічною змінною для Дніпропетровського регіону; I_{adapt} – інвестиції в адаптацію (бронювання, резервні генератори, дублювання логістики).

Система обмежень:

Обмеження енергетичної стійкості:

$$E_{\text{cons}}(t) \leq E_{\text{grid}}(t) * k_{\text{stab}} + E_{\text{gen}}, \quad (3)$$

де E_{cons} – споживання; E_{grid} – ліміт від мережі; k_{stab} – коефіцієнт стабільності мережі в області (для Дніпропетровщини k_{stab} [0.4; 0.9] залежно від стану підстанцій); E_{gen} – власна генерація.

Обмеження логістичної пропускної здатності:

$$Q_{out}(t) \leq Q_{rail}(t) * \delta_{rail} + Q_{truck}(t) * \delta_{truck}, \quad (4)$$

де Q – обсяг вантажів; δ – коефіцієнти доступності маршрутів (враховують ризик пошкодження інфраструктури).

Обмеження кадрового потенціалу:

$$L_{req}(t) \leq L_{avail}(t) * (1 - m_{rate}), \quad (5)$$

де m_{rate} – коефіцієнт міграції/мобілізації персоналу.

3. *Впровадження механізму реальних опціонів (Real Options)*. В умовах невизначеності жорстке планування неефективне. Пропонується використання підходу реальних опціонів для оцінки гнучкості стратегії. Вартість стратегії V_{strat} визначається за формулою 6:

$$V_{strat} = NPV_{base} + \sum_{i=1}^n RO_i, \quad (6)$$

де RO_i – вартість i -го опціону на адаптацію.

Для підприємств Дніпропетровської області актуальними є:

а) опціон на відстрочку (Option to Defer) – відкладення капітальних інвестицій до стабілізації фронту;

б) опціон на переключення (Option to Switch) – зміна сировинної бази або продуктового портфеля (наприклад, перехід з цивільної продукції на оборонну);

в) опціон на скорочення (Option to Abandon) – тимчасова консервація небезпечних активів у «червоних» зонах області.

Вартість опціону на переключення розраховується за модифікованою формулою Блека-Шоулза [21] з урахуванням волатильності воєнних факторів σ_{war} . Ми використовуємо аналогію моделі Блека-Шоулза для оцінки гнучкості інвестиційного проєкту (формула 7):

$$C = S * N(d_1) - K * e^{-rt} * N(d_2), \quad (7)$$

де S – поточна вартість активів у новій конфігурації; K – витрати на переобладнання.

4. *Практична апробація для промисловості Дніпропетровської області.* Для ілюстрації роботи моделі розглянемо умовне металургійне підприємство у м. Дніпро.

Вхідні параметри (усереднені за даними 2023-2024 рр.):

- ρ (премія за ризик) = 15-25% (залежно від близькості до лінії фронту);
- k_{stab} (енергетика) = 0.6 (через пошкодження ТЕЦ та підстанцій);
- δ_{rail} (залізниця) = 0.85 (пріоритетне відновлення, але високе навантаження).

Сценарний аналіз:

а) сценарій «Ескалація»: $P_{risk} > 0.4$ Модель рекомендує активувати опціон на скорочення (Option to Abandon) для основних цехів, переведення персоналу в безпечніші райони області, роботу на склад;

б) сценарій «Стабілізація»: $P_{risk} < 0.15$. Модель дозволяє інвестувати в I_{adapt} (захисні споруди, автономна енергетика) та максимізувати $E[CF_t]$.

Результати розрахунків за моделлю SOCRC показали, що для підприємств Дніпропетровщини оптимальною стратегією є децентралізація виробничих потужностей. Замість одного великого заводу доцільніше створити 3-4 менших модульних виробництва з автономним енергозабезпеченням. Це знижує значення $P_{risk}(t)$ для сукупного бізнесу, оскільки ризик знищення всіх активів одночасно мінімізується.

Коефіцієнт адаптації K_{adapt} , що виводиться з моделі, для підприємств регіону має вигляд (формула 8):

$$K_{adapt} = \frac{I_{digital} + I_{energy_auto} + I_{logistic_backup}}{Total_Assets}, \quad (8)$$

Емпіричний аналіз показує, що при $K_{adapt} \geq 0.12$ (тобто 12% вартості активів інвестовано в адаптацію), ймовірність банкрутства протягом року знижується на 40% навіть при зростанні σ_{war} .

Фінальним, але найбільш практично значущим елементом моделі SOCRC є Блок 4 (див. рис. 1). Саме тут абстрактні математичні розрахунки трансформуються у конкретні управлінські імперативи. Для промислових підприємств Дніпропетровської області цей блок формує трирівневу систему стратегічних відповідей, що залежать від розрахованого значення інтегральної ймовірності ризику $P_{risk}(t)$ та коефіцієнта адаптації K_{adapt} .

Залежно від вихідних параметрів моделі, система генерує один із трьох сценаріїв дій. Типологізацію стратегічних відповідей відображено в таблиці 1.

Таблиця 1. Типологія стратегічних відповідей промислових підприємств за моделлю SOCRC

Тип стратегії	Умови активації (за SOCRC)	Ключові управлінські рішення	Очікуваний результат
Стратегія виживання (Survival)	$P_{risk}(t) > 0,4;$ $K_{adapt} < 0,08$	<ul style="list-style-type: none"> – Активація Option to Abandon (тимчасова консервація активів) – Переведення персоналу на віддалений формат – Робота на склад, мінімізація запасів – Пріоритет: збереження ліквідності 	Зниження операційних витрат на 40-60%, мінімізація втрат від форс-мажорів, збереження юридичної та фінансової цілісності бізнесу
Стратегія адаптації (Adaptation)	$0,08 \leq K_{adapt} \leq 0,12;$ $0,15 \leq P_{risk}(t) \leq 0,4;$	<ul style="list-style-type: none"> – Активація Option to Switch (переключення на альтернативну продукцію/сировину) – Інвестиції в Iadapt: автономна енергетика, дублювання логістики – Децентралізація виробничих потужностей 	Забезпечення операційної безперервності, зниження чутливості до зовнішніх шоків, підтримання ринкової частки
Стратегія розвитку (Growth/Bounce-beyond)	$K_{adapt} \geq 0,12;$ $P_{risk}(t) < 0,15;$	<ul style="list-style-type: none"> – Активація Option to Expand (розширення на нові ринки) – Інвестиції в цифровізацію та інновації – Поглинання слабших конкурентів 	Зростання вартості бізнесу, формування конкурентних переваг для повоєнного періоду, вихід на нові ринки збуту

Джерело: сформовано авторами.

Для моніторингу ефективності обраної стратегії Блок 4 генерує систему індикаторів, що підлягають щомісячному відстеженню:

Індекс операційної стійкості (Resilience Index, RI):

$$RI = \frac{\text{Actual_Output}}{\text{Planned_Output}} * (1 - \text{Downtime_Coefficient}), \quad (9)$$

Цільове значення: $RI \geq 0,75$ для стратегії адаптації.

Коефіцієнт адаптаційної віддачі (Adaptation ROI):

$$ROI_{\text{adapt}} = \frac{\Delta \text{Profit}_{\text{risk_adjusted}}}{I_{\text{adapt}}}, \quad (10)$$

Інтерпретація: якщо $ROI_{\text{adapt}} > 1$, інвестиції в адаптацію вважаються ефективними навіть з урахуванням воєнних ризиків.

Показник гнучкості ланцюга постачання (Supply Chain Flexibility, SCF):

$$SCF = \frac{\text{Number_of_Alternative_Suppliers}}{\text{Total_Suppliers}} * \frac{\text{Average_Switching_Time}_{\text{base}}}{\text{Average_Switching_Time}_{\text{actual}}}, \quad (11)$$

Цільове значення для Дніпропетровської області: $SCF \geq 0,6$ (наявність мінімум 2-3 альтернативних маршрутів/постачальників).

Блок 4 не є «кінцевою зупинкою» – він запускає цикл постійного вдосконалення (рис. 2).

Для емпіричної верифікації розробленої моделі стохастичної оптимізації з використанням реальних опціонів (SOCRC) було проведено серію імітаційних експериментів на основі даних типового металургійного підприємства Дніпровського промислового вузла. Вибір об'єкта дослідження зумовлено його репрезентативністю для індустріального кластера Дніпропетровської області: висока енергоємність виробництва, критична залежність від залізничної логістики та підвищена вразливість до воєнних

загроз роблять таке підприємство ідеальним полігоном для тестування адаптаційних стратегій.

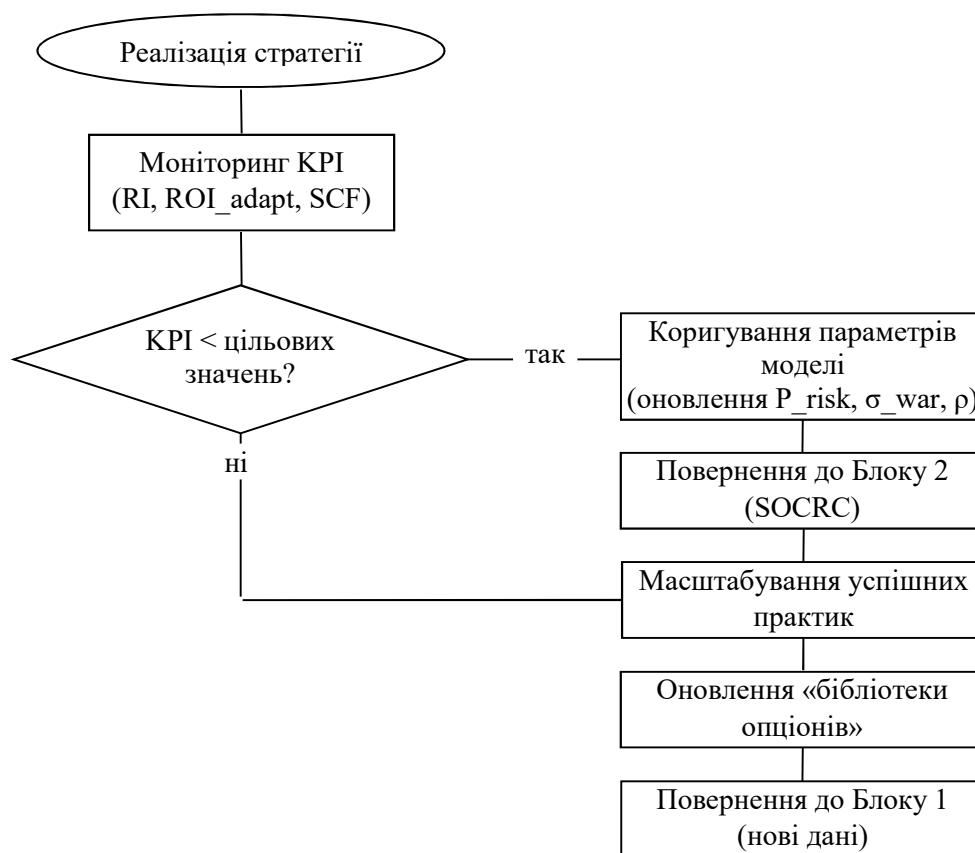


Рис.2. Механізм зворотного зв'язку та ітераційне оновлення

Джерело: сформовано авторами.

Вихідним масивом даних слугували дезагреговані показники операційної діяльності підприємства за 2023–2024 роки, очищені від разових ефектів. Для забезпечення надійності результатів застосовано метод Монте-Карло з 10 000 ітерацій, що дозволило врахувати стохастичну природу воєнних ризиків. Параметри розподілів ключових змінних ($P_{risk}(t)$, σ_{war} , k_{stab}) формувалися на основі експертних оцінок та даних відкритих джерел (звіти Дніпропетровської ОВА, аналітика World Bank).

Було сформовано два контрастні сценарії управління:

- сценарій А (Інерційний / Baseline): традиційне планування без цільових інвестицій у заходи адаптації ($I_{adapt} = 0$). Управлінські рішення приймаються реактивно, після настання форс-мажорних подій;
- сценарій Б (Адаптивний / SOCRC): впровадження стратегії, оптимізованої за моделлю SOCRC, з механізмом реальних опціонів. Передбачає превентивне інвестування в енергетичну автономність, дублювання логістичних маршрутів та формування «бібліотеки опціонів» (Option to Switch / Defer / Abandon) для оперативного реагування.

Ключовим завданням емпіричної частини було кількісне обґрунтування оптимального рівня капітальних інвестицій у заходи резилієнтності (K_{adapt}). Було проведено серію симуляцій, варіюючи рівень інвестицій від 5% до 20% від загального обсягу річних капітальних видатків (CAPEX).

Результати моделювання демонструють наявність нелінійної залежності між обсягом інвестицій в адаптацію та показниками стійкості підприємства (табл. 2).

Таблиця 2. Вплив рівня інвестицій в адаптацію (K_{adapt}) на показники операційної стійкості та фінансової ефективності

Рівень інвестицій $\$K_{adapt}\$,$ % від CAPEX	Імовірність критичної зупинки виробництва, %	Скоригований NPV, млн грн	Статус стратегії
5	85	-150	Критичний ризик
10	45	+20	Зона невизначеності
12	**18**	**+110**	**Оптимальний баланс**
15	16	+105	Ерозія ефективності
20	15	+80	Надмірні витрати

Джерело: розраховано авторами за результатами імітаційного моделювання.

Аналіз даних табл. 2 дозволяє ідентифікувати точку інвестиційного перелому на рівні $K_{adapt} = 12\%$. Саме при цьому значенні спостерігається максимальний маргінальний ефект: подальше збільшення інвестицій (до 15–20%) призводить до незначного зниження ризику (на 2–3 в.п.), але

супроводжується суттєвою ерозією чистої приведеної вартості через відтік капіталу в низькодохідні захисні активи. Таким чином, значення 12% є точкою Парето-оптимальності, що забезпечує баланс між резилієнтністю та фінансовою ефективністю.

Важливою складовою верифікації стало підтвердження гіпотези про те, що в умовах високої волатильності (σ_{war}) традиційні методи оцінки інвестицій (DCF) систематично занижують вартість гнучких стратегій. Застосування модифікованої формули Блека-Шоулза для оцінки опціону на перемикання (Option to Switch) дало такі результати:

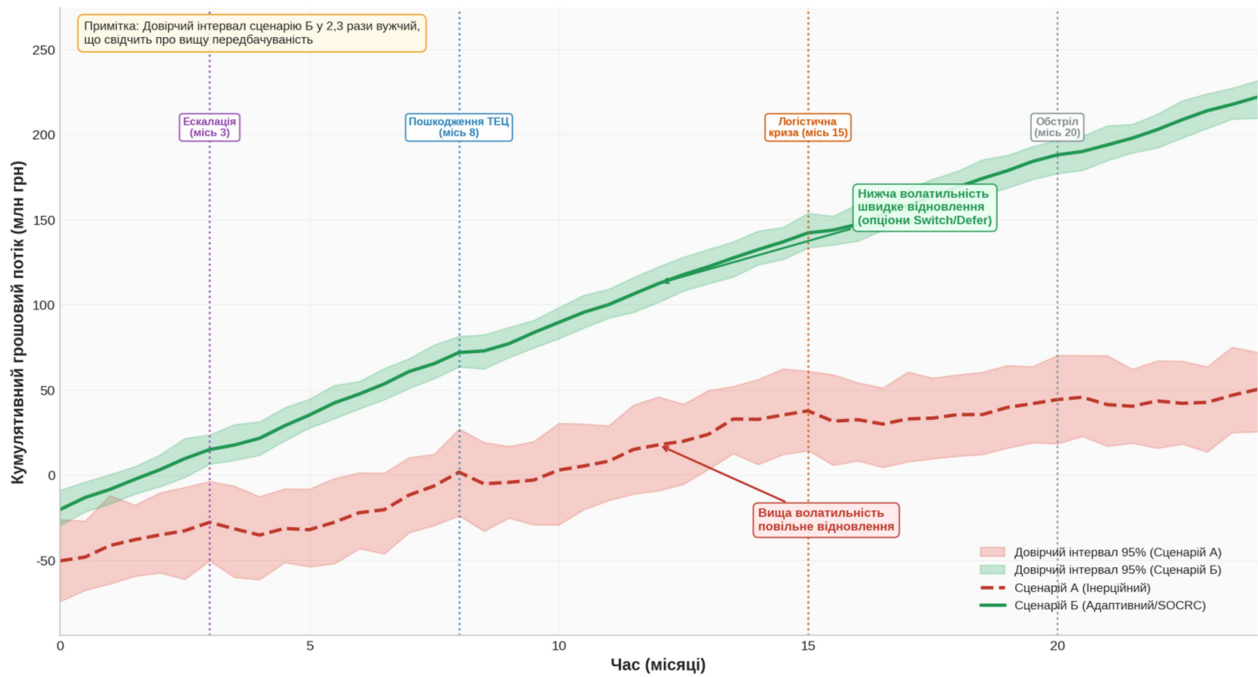
$$C_{\text{switch}} = S * N(d_1) - K \cdot e^{-(r+\rho)t} * N(d_2) = 42,7 \text{ млн грн,}$$

де премія за воєнний ризик ρ скоригована з урахуванням регіональних індексів безпеки Дніпропетровської області.

Отримане значення свідчить, що можливість оперативного переключення між альтернативними постачальниками енергії або зміною продуктового портфеля має самостійну ринкову вартість, еквівалентну 42,7 млн грн. Це кількісне обґрунтування дозволяє виправдати інвестиції в адаптацію навіть за умови тимчасового зниження операційних грошових потоків, оскільки сукупна вартість стратегії ($V_{\text{strat}} = \text{NPV} + \sum \text{RO}_i$) залишається позитивною.

Інтегральні результати імітаційного моделювання для двох сценаріїв наведено на рисунку 3.

Практична апробація підтвердила гіпотезу дослідження. Впровадження адаптаційної стратегії з рівнем інвестицій 12% від CAPEX дозволяє знизити ймовірність критичної зупинки виробництва з 85% до 18% та забезпечити позитивну динаміку фінансових результатів навіть за умов високої невизначеності. Модель SOCRS демонструє високу практичну придатність для інструментального забезпечення стратегічних рішень промислових підприємств Дніпропетровської області.



Примітки:

Елемент	Опис
Сценарій А (Інерційний)	Червона пунктирна лінія – традиційне планування без інвестицій в адаптацію
Сценарій Б (Адаптивний/SOCRC)	Зелена суцільна лінія – оптимізована стратегія з реальними опціонами
Довірчі інтервали 95%	Заштриховані області (червона – ширша, зелена – вузьча в 2,3 рази)
Вертикальні маркери	Екзогенні шоки: ескалація (місяць 3), пошкодження ТЕЦ (місяць 8), логістична криза (місяць 15), обстріл (місяць 20)

Рис.3. Порівняльна динаміка кумулятивного грошового потоку промислового підприємства за інерційним (А) та адаптивним (Б) сценаріями управління (з довірчими інтервалами 95%)

Джерело: розраховано авторами за результатами імітаційного моделювання методом Монте-Карло.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Розроблено модель стохастичної оптимізації з обмеженнями на критичні ризики (SOCRC), яка інтегрує ймовірнісну природу воєнних загроз у процес стратегічного планування промислових підприємств. На відміну від детермінованих підходів, модель динамічно коригує дисконтну ставку з урахуванням премії за воєнний ризик ($\rho = 15\text{--}25\%$) та ймовірнісних обмежень на енергетичну та логістичну доступність.

Удосконалено механізм оцінки гнучкості бізнес-стратегій через адаптацію моделі реальних опціонів до умов воєнного стану. Модифікація параметра волатильності (σ_{war}) з урахуванням інтенсивності бойових дій

дозволяє кількісно обґрунтувати рішення щодо переключення виробничих потужностей: вартість опціону на перемикання (Option to Switch) для металургійного підприємства Дніпропетровської області становить 42,7 млн грн, що виправдовує превентивні інвестиції в адаптацію навіть за умови тимчасового зниження операційних грошових потоків.

Визначено порогове значення коефіцієнта адаптації $K_{\text{adapt}} = 12\%$ від вартості активів як точку Парето-оптимальності для промислових підприємств регіону. Перевищення цього рівня знижує ймовірність критичної зупинки виробництва з 85% до 18% та забезпечує скоригований NPV +110 млн грн, тоді як подальше збільшення інвестицій до 15–20% призводить до ерозії ефективності без суттєвого зниження ризику.

Емпірично підтверджено, що адаптивна стратегія на базі SOCRC забезпечує у 2,3 рази вужчий довірчий інтервал прогнозних значень NPV порівняно з інерційним сценарієм, а час відновлення операційної діяльності після негативних шоків скорочується з 45 до 7–10 діб завдяки наявності автономних потужностей та «бібліотеки опціонів».

Для промисловості Дніпропетровської області обґрунтовано пріоритетність децентралізації виробничих потужностей: замість одного великого заводу доцільніше створити 3–4 модульні виробництва з автономним енергозабезпеченням, що мінімізує інтегральний ризик знищення активів $P_{\text{risk}}(t)$ для сукупного бізнесу.

Запропоновано трактування інвестицій в адаптацію (I_{adapt}) як стратегічного активу, а не операційних витрат – вони формують премію за опціон на продовження діяльності та страхують вартість бізнесу від екзистенційних загроз воєнного часу.

Напрями подальших досліджень: розробка програмного модуля підтримки прийняття рішень (DSS) для автоматичної калібрування моделі SOCRC на основі даних реального часу (повітряні тривоги, стан енергомереж), адаптація методології для інших регіонів України з різним рівнем воєнного навантаження.

Література

1. Gavrysh O., Gavrysh I., Matiukhina A., Vasylets I. The first year's impact of the full-scale war on Ukrainian business. *Economics of Development*. 2024. Vol. 23. No.1. P. 18–29. DOI: <https://doi.org/10.57111/econ/1.2024.18>.
2. De Waal G. A., Kenworthy A. L., Opatska S., Trevoho O., Boychuk Y., Kozlova V. Exposing Pathways to Organisational Resilience : Revenue Recovery Patterns Among Ukrainian Firms in a War Economy. *Journal of Contingencies and Crisis Management*. 2025. Vol. 33. № 2. DOI: <https://doi.org/10.1111/1468-5973.70058>.
3. Ukraine: Firms through the War. Kyiv : World Bank Group & Kyiv School of Economics. 2023. URL: <https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/03/Ukraine.-Firms-through-the-War-Paper-Nov-2023.pdf> (дата звернення: 09.03.2026).
4. Kanas S., Kravchenko O., Mykhailyshyn M., Onchykova V. Survival through purpose: How Ukrainian businesses endured amid extreme uncertainty. *McKinsey & Company*. 2023. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/risk-and-resilience/our-insights/survival-through-purpose-how-ukrainian-businesses-endured-amid-extreme-uncertainty> (дата звернення: 09.03.2026).
5. Campello M., Kankanhalli G. Corporate Decision-Making under Uncertainty: Review and Future Research Directions. Cambridge, MA : National Bureau of Economic Research. 2022. URL: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w30733/w30733.pdf (дата звернення: 09.03.2026).
6. Camuffo A., Gambardella A., Pignataro A. Theory-Driven Strategic Management Decisions. *Strategy Science*. 2024. Vol. 9. № 4. P. 382–396. DOI: <https://doi.org/10.1287/stsc.2024.0173>.
7. Biletskyi O. Crisis Management of Enterprises Under War Conditions. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*. 2025. Vol. 10. № 2. P. 344–347. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-2-67>.

8. Макалюк І. В., Кривда О. В., Лайкова А. О. Якісний аналіз ризиків вітчизняних підприємств в умовах воєнного стану. *Економіка та суспільство*. 2024. Вип. 62. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-62-73>.

9. Каут О. В., Шпортко Г. Ю., Лисенко А. С. Управління бізнес-процесами промислового підприємства з ідентифікацією ризиків. *Інтернаука*. 2024. № 10. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2024-10-10414>.

10. Козенкова В. Д., Вишнеvsька М. К., Козенков Д. Є. Теорія хаосу та її використання в антикризовому менеджменті. *Економічний простір*. 2025. № 200. С. 297–306. DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.200.297-306>.

11. Global Value Chain Development Report 2023 : Resilient and Sustainable GVCs in Turbulent Times. Geneva : World Trade Organization. 2023. URL: https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/gvc_dev_rep23_e.pdf (дата звернення: 09.03.2026).

12. Bednarski L., Roscoe S., Blome C., Schleper M. C. Geopolitical disruptions in global supply chains : a state-of-the-art literature review. *Production Planning & Control*. 2025. Vol. 36. № 4. P. 536–562. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2286283>.

13. Madzík P., Falát L., Copuš L., Čarnogurský K. Resilience in supply chain risk management in disruptive world : rerouting research directions during and after pandemic. *Annals of Operations Research*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10479-024-06126-x>.

14. Huang J., Li Z., Wang Y. Evaluation of the resilience of large-scale interdependent infrastructure through simplification-enhanced network modeling. *Reliability Engineering & System Safety*. 2025. Vol. 258. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0951832025012256> (дата звернення: 09.03.2026).

15. Sarwar D., Rye S. The impact of the Russia-Ukraine war on global supply chains : a systematic literature review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2025. Vol. 9. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1648918>.

16. Csaszar F. A., Ketkar H., Kim H. Artificial Intelligence and Strategic Decision-Making: Evidence from Entrepreneurs and Investors. *Strategy Science*. 2024. Vol. 9. № 4. P. 322–345. DOI: <https://doi.org/10.1287/stsc.2024.0190>.

17. Козенков Д. Є., Каут О. В. Логістичний підхід до оцінки ризиків металургійного підприємства з використання штучного інтелекту. *Інтернаука*. 2024. № 3. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2024-3-9749>.

18. Kozenkov D., Kaut O., Shportko H. Logistics approach to the assessment of the risks of a metallurgical enterprise using artificial intelligence. *Інтернаука*. 2024. № 4. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2024-4-9827>.

19. Крамаренко А. В., Вишнеvsька М. К. Діджиталізація: теоретичні підходи, виклики та перспективи розвитку. *Ефективна економіка*. 2024. № 8. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.8.49>.

20. Шовкун-Заблоцька Л., Писаренко В., Серова Л., Тегіпко С. Менеджмент та маркетинг агробізнесу воєнного часу в Україні. *Економіка, екологія, суспільство*. 2024. Том 8. № 1. С. 64–77. DOI: <https://doi.org/10.61954/2616-7107/2024.8.1-6>.

21. Hung M.-w., So L.-c. The Role of Uncertainty in Real Options Analysis. 2010. URL: <https://www.realloptions.org/papers2011/3.pdf> (дата звернення: 10.03.2026).

References

1. Gavrysh, O. Gavrysh, I. Matiukhina, A. and Vasylets, I. (2024), “The first year’s impact of the full-scale war on Ukrainian business”, *Economics of Development*, vol. 23, no. 1, pp. 18–29, DOI: <https://doi.org/10.57111/econ/1.2024.18>.

2. De Waal, G.A. Kenworthy, A.L. Opatska, S. Trevoho, O. Boychuk, Y. and Kozlova, V. (2025), “Exposing pathways to organisational resilience: revenue

recovery patterns among Ukrainian firms in a war economy”, *Journal of Contingencies and Crisis Management*, vol. 33, no. 2, DOI: <https://doi.org/10.1111/1468-5973.70058>.

3. World Bank Group and Kyiv School of Economics (2023), “Ukraine: Firms through the War”, available at: <https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/03/Ukraine.-Firms-through-the-War-Paper-Nov-2023.pdf> (Accessed 09 March 2026).

4. Kanas, S. Kravchenko, O. Mykhailyshyn, M. and Onchykova, V. (2023), “Survival through purpose: How Ukrainian businesses endured amid extreme uncertainty”, available at: <https://www.mckinsey.com/capabilities/risk-and-resilience/our-insights/survival-through-purpose-how-ukrainian-businesses-endured-amid-extreme-uncertainty> (Accessed 09 March 2026).

5. Campello, M. and Kankanhalli, G. (2022), “Corporate decision-making under uncertainty: Review and future research directions”, available at: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w30733/w30733.pdf (Accessed 09 March 2026).

6. Camuffo, A. Gambardella, A. and Pignataro, A. (2024), “Theory-driven strategic management decisions”, *Strategy Science*, vol. 9, no. 4, pp. 382–396, DOI: <https://doi.org/10.1287/stsc.2024.0173>.

7. Biletskyi, O. (2025), “Crisis management of enterprises under war conditions”, *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*, vol. 10, no. 2, pp. 344–347, DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-2-67>.

8. Makaliuk, I.V. Kryvda, O.V. and Lajkova, A.O. (2024), “Qualitative analysis of risks of domestic enterprises under martial law”, *Ekonomika ta suspil'stvo*, [Online], vol. 62, DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-62-73>.

9. Kaut, O.V. Shport'ko, H.Yu. and Lysenko, A.S. (2024), “Business process management of industrial enterprises with risk identification”, *Internauka*, [Online], vol. 10, DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2024-10-10414>.

10. Kozenkova, V.D. Vyshnevs'ka, M.K. and Kozenkov, D.Ye. (2025), "Chaos theory and its application in crisis management", *Ekonomichnyj prostir*, vol. 200, pp. 297-306, DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.200.297-306>.

11. World Trade Organization (2023), "Global value chain development report 2023: Resilient and sustainable GVCs in turbulent times", available at: https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/gvc_dev_rep23_e.pdf (Accessed 09 March 2026).

12. Bednarski, L. Roscoe, S. Blome, C. and Schleper, M.C. (2025), "Geopolitical disruptions in global supply chains: a state-of-the-art literature review", *Production Planning & Control*, vol. 36, no. 4, pp. 536–562, DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2286283>.

13. Madzík, P. Falát, L. Copuš, L. and Čarnogurský, K. (2024), "Resilience in supply chain risk management in disruptive world: rerouting research directions during and after pandemic", *Annals of Operations Research*, [Online], DOI: <https://doi.org/10.1007/s10479-024-06126-x>

14. Huang, J. Li, Z. and Wang, Y. (2025), "Evaluation of the resilience of large-scale interdependent infrastructure through simplification-enhanced network modeling", *Reliability Engineering & System Safety*, [Online], vol. 258, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0951832025012256> (Accessed 9 March 2026).

15. Sarwar, D. and Rye, S. (2025), "The impact of the Russia-Ukraine war on global supply chains: a systematic literature review", *Frontiers in Sustainable Food Systems*, [Online], vol. 9, DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1648918>.

16. Csaszar, F. A. Ketkar, H. and Kim, H. (2024), "Artificial intelligence and strategic decision-making: evidence from entrepreneurs and investors", *Strategy Science*, vol. 9, no. 4, pp. 322–345, DOI: <https://doi.org/10.1287/stsc.2024.0190>

17. Kozenkov, D.Ye. and Kaut, O.V. (2024), "Logistics approach to risk assessment of a metallurgical enterprise using Artificial Intelligence", *Internauka*, [Online], vol. 3, DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2024-3-9749>.

18. Kozenkov, D. Kaut, O. and Shportko, H. (2024), “Logistics approach to the assessment of the risks of a metallurgical enterprise using artificial intelligence”, *Internauka*, [Online], vol. 4, DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2024-4-9827>.

19. Kramarenko, A.V. and Vyshnevs'ka, M.K. (2024), “Digitalization: theoretical approaches, challenges and development prospects”, *Efektivna ekonomika*, [Online], vol. 8, DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.8.49>.

20. Shovkun-Zablots'ka, L. Pysarenko, V. Sierova, L. and Tehipko, S. (2024), “Management and marketing of agribusiness during wartime in Ukraine”, *Ekonomika, ekolohiia, suspil'stvo*, vol. 8, no. 1, pp. 64–77, DOI: <https://doi.org/10.61954/2616-7107/2024.8.1-6>.

21. Hung, M.-w and So, L.-c. (2010), “The role of uncertainty in real options analysis”, available at: <https://www.realoptions.org/papers2011/3.pdf> (Accessed 10 March 2026).

Отримано редакцією журналу / Received: 12.03.26

Прорецензовано / Revised: 17.03.26

Схвалено до друку / Accepted: 20.03.26