

МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ СЦЕНАРІЇВ ВПЛИВУ ДОМІНАНТ ІНФРАСТРУКТУРНИХ ЗМІН НА РЕЗИЛЬЄНТНІСТЬ ЯКОСТІ ЖИТТЯ НАСЕЛЕННЯ КРАЇНИ

© 2026 ХАУСТОВА В. Є., КИЗИМ М. О., РЕШЕТНЯК О. І., ТРУШКІНА Н. В.

УДК 338.2:338.4:330.5
JEL: C53; H54; I31

Хаустова В. Є., Кизим М. О., Решетняк О. І., Трушкіна Н. В. Методичні засади формування сценаріїв впливу домінант інфраструктурних змін на резильєнтність якості життя населення країни

Актуальність дослідження зумовлена посиленням економічної, технологічної, безпекової та природно-кліматичної невизначеності, за якої стан інфраструктурних систем і їхня здатність підтримувати критичні послуги безпосередньо впливають на умови життя населення. Метою статті є розроблення методичних засад формування альтернативних сценаріїв впливу домінант інфраструктурних змін на резильєнтність якості життя населення в умовах тривалих зовнішніх загроз і невизначеності з урахуванням можливостей адаптації сучасних підходів до умов України. Інформаційну основу дослідження становлять наукові публікації, відібрані у базі даних Scopus за п'ятьма тематичними напрямками, а також звіти провідних міжнародних організацій та аналітичні матеріали. У статті використано структурований контент-аналіз, порівняльний і системний підходи, сценарний аналіз, аналіз критичних невизначеностей, структурно-логічний аналіз і науковий синтез. У результаті узагальнено міжнародні підходи до сценарного планування інфраструктурних трансформацій та визначено можливості їх адаптації до умов України. Запропоновано функціональне структурування сценарного середовища з виділенням довгострокових тенденцій, керованих внутрішніх чинників, структурних вразливостей, критичних невизначеностей, зовнішніх шоків і загроз, інституційних та ресурсних обмежень. Розроблено десятиетапну процедуру формування сценаріїв, яка забезпечує послідовний перехід від визначення сценарних умов і доказової бази до побудови альтернативних траєкторій, їх подальшої параметризації, стрес-перевірки, оцінювання наслідків, моніторингу ранніх сигналів та обґрунтування управлінських рішень. Обґрунтовано типологію інерційного, адаптаційного, трансформаційного та кризового сценаріїв, що розрізняються за характером функціонування системи та співвідношенням зовнішнього навантаження, внутрішньої вразливості й наявних спроможностей, а не за умовною шкалою «краще–гірше». Сформовано систему критеріїв оцінювання сценаріїв, яка охоплює якість сценарної конструкції, структурні спроможності, системну резильєнтність, резильєнтність критичних послуг, а також динамічні та соціально-економічні наслідки. Обґрунтовано, що інфраструктурна трансформація не може автоматично ототожнюватися з підвищенням резильєнтності, оскільки децентралізація, цифровізація та технологічне оновлення здатні одночасно зменшувати одні вразливості й формувати нові залежності та ризики. Наукова новизна полягає в інтеграції сценарного планування, аналізу критичних невизначеностей, міжсекторальних залежностей і людиноцентричного оцінювання в єдину методичну логіку. Практичне значення запропонованого підходу полягає в можливості його використання органами влади, операторами критичної інфраструктури й інвесторами для перевірки рішень за альтернативних умов, виявлення дефіциту спроможностей, моніторингу переходу між сценарними траєкторіями та підтримання прийнятого рівня критичних послуг для населення.

Ключові слова: національна економіка; домінанти інфраструктурних змін; сценарне планування; сценарний аналіз; сценарне середовище; альтернативні сценарії; критичні невизначеності; зовнішні загрози; інфраструктурна резильєнтність; резильєнтність якості життя населення; критичні послуги; міжсекторальні залежності; структурні вразливості; адаптивні спроможності; стрес-тестування; управлінське рішення.

Табл.: 7. Бібл.: 40.

Хаустова Вікторія Євгенівна – доктор економічних наук, професор, директор Науково-дослідного центру індустріальних проблем розвитку НАН України (пров. Інженерний, 1а, 2 пов., Харків, 61166, Україна)

E-mail: v.khaust@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5895-9287>

Кизим Микола Олександрович – доктор економічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, головний науковий співробітник відділу промислової політики та енергетичної безпеки, Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку НАН України (пров. Інженерний, 1а, 2 пов., Харків, 61166, Україна)

E-mail: m.kyzym@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8948-2656>

Решетняк Олена Іванівна – доктор економічних наук, доцент, завідувач сектора промислової політики та інноваційного розвитку відділу промислової політики та енергетичної безпеки, Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку НАН України (пров. Інженерний, 1а, 2 пов., Харків, 61166, Україна)

E-mail: reshetele@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1183-302X>

Трушкіна Наталія Валеріївна – кандидат економічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник сектора промислової політики та інноваційного розвитку відділу промислової політики та енергетичної безпеки, Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку НАН України (пров. Інженерний, 1а, 2 пов., Харків, 61166, Україна)

E-mail: trushkina@nas.gov.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6741-7738>

Khaustova V. Ye., Kyzym M. O., Reshetnyak O. I., Trushkina N. V. Methodological Foundations for Developing Scenarios of the Impact of Dominant Infrastructure Changes on Population Quality-of-Life Resilience

The relevance of the study is determined by growing economic, technological, security, environmental, and climate-related uncertainty, under which the condition of infrastructure systems and their ability to maintain critical services directly affect the living conditions of the population. The aim of the article is to develop methodological foundations for constructing alternative scenarios of the impact of dominant infrastructure changes on population quality-of-life resilience under prolonged external threats and uncertainty, taking into accounts the possibilities for adapting modern approaches to the conditions of Ukraine. The information base of the study comprises scientific publications selected from the Scopus database across five thematic areas, as well as reports by leading international organizations and analytical materials. The study employs structured content analysis, comparative and system approaches, scenario analysis, critical uncertainty analysis, structural and logical analysis, and scientific synthesis. As a result, international approaches to scenario planning for infrastructure transformations were summarized, and the possibilities for their adaptation to the conditions of Ukraine were identified. A functional structure of the scenario environment was proposed, distinguishing long-term trends, manageable internal factors, structural vulnerabilities, critical uncertainties, external shocks and threats, and institutional and resource constraints. A ten-stage procedure for scenario development was designed to provide a consistent transition from defining scenario conditions and the evidence base to constructing alternative trajectories, followed by their parameterization, stress testing, assessment of consequences, monitoring of early signals, and substantiation of managerial decisions. A typology of inertial, adaptive, transformational, and crisis scenarios was substantiated. These scenarios differ according to the way the system functions and the relationship between external pressure, internal vulnerability, and available capacities, rather than according to a conventional "better–worse" scale. A system of criteria for scenario assessment was developed, covering the quality of scenario design, structural capacities, system resilience, resilience of critical services, and dynamic and socioeconomic consequences. It was substantiated that infrastructure transformation cannot automatically be equated with increased resilience, since decentralization, digitalization, and technological modernization can reduce some vulnerabilities while simultaneously creating new dependencies and risks. The scientific novelty of the study lies in integrating scenario planning, critical uncertainty analysis, cross-sectoral dependencies, and human-centered assessment within a single methodological framework. The practical significance of the proposed approach lies in its potential use by public authorities, critical infrastructure operators, and investors to test decisions under alternative conditions, identify capacity shortfalls, monitor transitions between scenario trajectories, and maintain an acceptable level of critical services for the population.

Keywords: national economy; dominant infrastructure changes; scenario planning; scenario analysis; scenario environment; alternative scenarios; critical uncertainties; external threats; infrastructure resilience; population quality-of-life resilience; critical services; cross-sectoral dependencies; structural vulnerabilities; adaptive capacities; stress testing; managerial decisions.

Tabl.: 7. **Bibl.:** 40.

Khaustova Viktoriia Ye. – D. Sc. (Economics), Professor, Director of the Research Center for Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine (2 floor 1a Inzhenernyi Ln., Kharkiv, 61166, Ukraine)

E-mail: v.khaust@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5895-9287>

Kyzym Mykola O. – D. Sc. (Economics), Professor, Corresponding Member of NAS of Ukraine, Chief Research Scientist of the Department of Industrial Policy and Energy Security, Research Center for Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine (2 floor 1a Inzhenernyi Ln., Kharkiv, 61166, Ukraine)

E-mail: m.kyzym@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8948-2656>

Reshetnyak Olena I. – D. Sc. (Economics), Associate Professor, Head of the Sector of Industrial Policy and Innovative Development of the Department of Industrial Policy and Energy Security, Research Center for Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine (2 floor 1a Inzhenernyi Ln., Kharkiv, 61166, Ukraine)

E-mail: reshetele@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1183-302X>

Trushkina Nataliia V. – PhD (Economics), Senior Research Staff Member, Senior Research Fellow of the Sector of Industrial Policy and Innovative Development of the Department of Industrial Policy and Energy Security, Research Center for Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine (2 floor 1a Inzhenernyi Ln., Kharkiv, 61166, Ukraine)

E-mail: trushkina@nas.gov.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6741-7738>

ВСТУП

Сучасний розвиток інфраструктури відбувається в умовах посилення економічної, технологічної, безпекової та природно-кліматичної невизначеності. За таких умов значення інфраструктурних змін виходить далеко за межі технічного оновлення окремих об'єктів і мереж. Від стану інфраструктурних систем, їх надійності та здатності адаптуватися до порушень залежить доступ населення до енергії, водопостачання, транспортних, медичних, цифрових та інших життєво необхідних послуг.

Тому інфраструктурний розвиток дедалі тісніше пов'язується із забезпеченням безперервності базових умов життєдіяльності населення та здатністю інфраструктурних систем підтримувати і відновлювати їх у разі кризових впливів.

Важливою особливістю сучасної інфраструктури є високий рівень взаємозалежності її складових. Зміни або порушення в одному секторі можуть впливати на функціонування інших і спричиняти каскадні наслідки для енергетичної,

транспортної, цифрової, комунальної та соціальної інфраструктури. Унаслідок цього вплив інфраструктурних змін на якість життя населення не є сталим або однозначним. Його характер і масштаби залежать від інтенсивності та тривалості зовнішніх загроз, ресурсних можливостей, інституційної спроможності, управлінських рішень, темпів адаптації та характеру взаємодії між окремими інфраструктурними системами.

За таких умов можливості підходів, заснованих переважно на продовженні сформованих тенденцій, є обмеженими. Єдина прогнозна траєкторія не дає змоги повною мірою врахувати можливі зміни середовища, поєднання критичних невизначеностей і різні варіанти реагування інфраструктурних систем. Сценарний підхід дозволяє розглядати альтернативні траєкторії розвитку, визначати передумови їх формування та оцінювати можливі наслідки різних поєднань зовнішніх і внутрішніх чинників. Його цінність полягає не у спробі передбачити єдиний майбутній стан, а у формуванні декількох обґрунтованих варіантів розвитку подій, що дає змогу завчасно оцінювати потенційні наслідки та враховувати їх під час прийняття управлінських рішень.

Для України ця проблема має особливу актуальність. Тривалі воєнні, енергетичні, логістичні, цифрові та соціально-економічні загрози поєднуються з територіальною нерівномірністю втрат інфраструктури та її відновлення, обмеженістю ресурсів і необхідністю одночасно підтримувати функціонування критично важливих систем та здійснювати їх структурне оновлення. За таких умов одна й та сама інфраструктурна зміна може відрізнитися за швидкістю реалізації, масштабом, ресурсним забезпеченням і результативністю залежно від стану зовнішнього та внутрішнього середовища. Відповідно, визначення пріоритетних напрямів інфраструктурних змін саме по собі не дає можливості оцінити, як змінюватиметься їхній вплив на резильєнтність якості життя населення за різних умов.

Саме це визначає основну наукову проблему дослідження. Попри розвиток сценарного планування, методів аналізу критичних невизначеностей, підходів до оцінювання взаємозалежності інфраструктурних систем та їхніх соціальних наслідків, залишається недостатньо розробленим методичне поєднання цих напрямів у межах єдиної логіки дослідження. Особливої уваги потребує перехід від визначення домінант інфраструктурних змін до формування альтернативних сценаріїв їх впливу на резильєнтність якості життя населення з урахуванням різних поєднань зовнішніх загроз, внутрішніх

умов, критичних невизначеностей, а також ресурсних та інституційних обмежень.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Сценарний підхід дедалі ширше використовується в дослідженнях інфраструктурного розвитку, резильєнтності та територіального планування. Його поширення пов'язане передусім із тим, що традиційне прогнозування має обмежені можливості в умовах, коли майбутній стан системи залежить не лише від продовження наявних тенденцій, а й від поєднання ризиків, технологічних змін, управлінських рішень, ресурсних обмежень і подій, які складно передбачити заздалегідь. Тому сценарій доцільно розглядати не як прогноз одного найбільш імовірного майбутнього, а як спосіб дослідження декількох можливих траєкторій розвитку та підготовки рішень для різних умов їх реалізації [1–5].

Особливо чітко ця логіка простежується у дослідженнях розвитку інфраструктури. Сценарний аналіз дозволяє враховувати можливі зміни зовнішнього середовища, порівнювати альтернативні стани інфраструктурних систем і визначати рішення, які зберігатимуть доцільність за різних умов. У плануванні міської та водної інфраструктури сценарії використовуються для зіставлення альтернативних варіантів просторового, демографічного та інфраструктурного розвитку, оцінювання можливих наслідків і завчасного виявлення проблемних ситуацій у майбутньому [4; 6; 7]. Це суттєво розширює можливості традиційного прогнозування, оскільки предметом аналізу стає не один очікуваний стан системи, а декілька можливих траєкторій її зміни.

Важливою складовою сценарних досліджень є робота з невизначеністю. У такому разі вихідною точкою стає не припущення про рівномірне покращення або погіршення ситуації, а визначення чинників, які можуть суттєво впливати на майбутній стан системи й водночас характеризуються високим рівнем невизначеності [6–9]. Різні поєднання таких чинників формують змістовно відмінні сценарії, що дозволяють відійти від спрощеного поділу на оптимістичний, базовий і песимістичний варіанти.

Водночас для складних інфраструктурних систем зведення сценарію лише до кількох критичних невизначеностей може бути недостатнім. Інфраструктурні зміни відбуваються під одночасним впливом економічних, технологічних, демографічних, інституційних, безпекових та інших чинників. Частина з них має відносно стійкий характер, частина може змінюватися під впливом

управлінських рішень, а частина проявляється як зовнішній шок. Тому, на наш погляд, подальший розвиток сценарного підходу потребує структурування сценарного середовища, у межах якого мають бути розмежовані відносно передбачувані тенденції, керовані та слабо керовані чинники, критичні невизначеності, зовнішні загрози й ресурсні обмеження. Саме таке розмежування дає можливість пояснити не лише те, якими можуть бути сценарії, а й чому формується кожна конкретна траєкторія.

Інший важливий напрям досліджень пов'язаний із переходом від розгляду окремих інфраструктурних об'єктів до аналізу взаємозалежних систем. Енергетика, водопостачання, транспорт, цифрові мережі, охорона здоров'я та інші види інфраструктури функціонують у тісному взаємозв'язку. Порушення роботи одного сектору може обмежувати функціонування інших і спричиняти каскадне поширення негативних наслідків. Тому сучасні підходи до оцінювання резильєнтності дедалі більше враховують міжсекторальні залежності, функціональність інфраструктури та здатність систем підтримувати надання основних послуг під час і після кризових впливів [10–13].

Для сценарного аналізу це має принципове значення. Окрему інфраструктурну зміну не можна оцінювати лише за її безпосереднім результатом. Вона може впливати на інші системи, посилювати або, навпаки, послаблювати їхню вразливість, змінювати масштаби поширення наслідків та швидкість відновлення. Отже, сценарії інфраструктурних змін мають враховувати не лише стан окремих секторів, а й характер взаємодії між ними.

Ще одна важлива зміна в сучасних дослідженнях полягає у поступовому переході від оцінювання фізичного стану інфраструктури до оцінювання результатів її функціонування для населення. Інфраструктура у такому розумінні має цінність не сама по собі, а через можливість забезпечувати доступ до енергії, води, транспорту, медичної допомоги, цифрових та інших життєво необхідних послуг.

Людиноцентричний підхід пов'язує значення інфраструктури з людськими можливостями, добробутом, соціальною вразливістю та нерівномірністю наслідків кризових подій для різних груп населення і територій [12; 14–17]. Такий підхід змінює сам об'єкт оцінювання: замість питання про те, наскільки пошкоджено або відновлено інфраструктуру, важливішим стає питання про те, наскільки її функціонування дозволяє населенню зберігати доступ до необхідних послуг і проживати в прийнятних умовах.

На наш погляд, саме цей перехід має особливе значення для дослідження резильєнтності якості життя. Він дозволяє оцінювати інфраструктурні зміни не лише за технічними або економічними параметрами, а й за їх кінцевими суспільними наслідками. Водночас у наявних роботах людиноцентричні показники переважно застосовуються для оцінювання вже сформованого стану системи або наслідків конкретної надзвичайної події. Значно рідше вони використовуються як критерії для порівняння альтернативних сценаріїв інфраструктурних змін.

Розвиток сценарних досліджень також супроводжується розширенням методичного інструментарію. Якщо базові підходи ґрунтуються на визначенні ключових чинників і критичних невизначеностей, то складніші методики поєднують експертне оцінювання, аналіз взаємного впливу чинників, їх ранжування та формування допустимих сценарних комбінацій [18–22]. Зокрема, метод Делфі поєднується з аналізом перехресного впливу, факторним аналізом, МІСМАС та іншими інструментами для визначення найбільш значущих чинників і характеру зв'язків між ними [18–20]. У сценарному плануванні територіального й міського розвитку також використовуються участь зацікавлених сторін, сценарні матриці та процедури формування альтернативних майбутніх станів [21; 22].

Водночас збільшення кількості методів саме по собі не забезпечує вищої якості сценарного дослідження. Методичний інструментарій має відповідати конкретному завданню. Один метод може використовуватися для відбору чинників, інший – для визначення зв'язків між ними, третій – для формування можливих їхніх комбінацій або оцінювання результатів. Тому доцільнішим видається не максимальне ускладнення методики, а формування логічної й достатньої послідовності процедур, кожна з яких виконує чітко визначену функцію.

Проведене узагальнення дозволило систематизувати наукові підходи, які можуть бути використані для формування сценаріїв інфраструктурних змін та оцінювання їх наслідків (табл. 1).

Порівняння наведених підходів показує, що кожен із них охоплює лише певну частину завдання з оцінювання впливу інфраструктурних змін на резильєнтність якості життя. Сценарно-форсайтний підхід дозволяє працювати з альтернативними траєкторіями майбутнього; підхід на основі критичних невизначеностей пояснює умови формування різних сценаріїв; системний підхід враховує взаємозалежність інфраструктурних секторів; людиноцентричний підхід перено-

**Наукові підходи до формування сценаріїв інфраструктурних змін
та оцінювання їх наслідків**

Підхід	Основна ідея	Методичні засоби	Сильні сторони	Обмеження
Сценарно-форсайтний [1–5]	дослідження декількох можливих траєкторій майбутнього замість одного прогнозу	форсайт, альтернативні сценарії, довгострокове планування	дозволяє враховувати різні напрями розвитку та завчасно готувати управлінські рішення	зв'язок між сценарієм і конкретними соціальними наслідками часто визначено недостатньо
Підхід на основі критичних невизначеностей [6–9]	формування сценаріїв на основі чинників із високим потенційним впливом і значною невизначеністю	визначення ключових чинників, оцінювання невизначеності, сценарні матриці	дозволяє формувати змістовно різні сценарії, а не лише «кращі» та «гірші» варіанти	обмеження кількості ключових чинників може спростувати складну систему
Системний підхід [10–13]	урахування взаємозалежності інфраструктурних систем і каскадних наслідків	моделі міжсекторальних залежностей, мережевий аналіз, оцінювання функціональності	дозволяє враховувати поширення наслідків між різними видами інфраструктури	часто зберігає переважно технічну спрямованість
Людиноцентричний підхід [12; 14–17]	оцінювання інфраструктури через доступність послуг, добробут, вразливість і умови життя населення	оцінювання людського добробуту, соціальної вразливості, нерівності наслідків	переносить центр аналізу з інфраструктурного об'єкта на результат для населення	поки що обмежено використовується безпосередньо для формування альтернативних сценаріїв
Інтегрований методичний підхід [18–22]	поєднання якісних і кількісних методів на різних етапах побудови сценаріїв	експертне оцінювання, Делфі, cross-impact analysis, MICMAC, морфологічний і багатокритеріальний аналіз	дозволяє послідовно перейти від широкого набору чинників до обґрунтованих сценаріїв	може надмірно ускладнювати дослідження за відсутності чіткої функції кожного методу

Джерело: систематизовано та складено авторами на основі опрацювання й узагальнення наукових джерел [1–22].

сильні оцінювання на суспільні результати; комбінований методичний підхід дає інструменти для послідовного формування та перевірки сценаріїв.

Слід наголосити, що перспективним є не вибір одного з цих підходів, а поєднання їх сильних сторін у єдиній логіці сценарного дослідження. Така логіка має пов'язувати альтернативність майбутнього з критичними невизначеностями, враховувати взаємозалежність інфраструктурних систем і оцінювати кінцеві наслідки за допомогою параметрів, що характеризують умови життя населення.

Проведений аналіз також дозволив визначити низку невирішених питань. Насамперед, сценарне планування, інфраструктурна резильєнтність і дослідження якості життя значною мірою розвиваються як окремі наукові напрями. У науковій літературі [4; 6; 10; 14; 15] широко представлені сценарії розвитку окремих інфраструктурних секторів, моделі їх резильєнтності та підходи до оцінювання

соціальних наслідків, однак значно рідше ці складові поєднуються в межах одного дослідження.

Іншою проблемою є переважно секторний характер сценарних досліджень. Значна частина робіт [4; 6; 7; 9; 17; 22] стосується водопостачання, енергетики, транспорту, просторового розвитку або окремих природних і кліматичних загроз. Це дозволяє детально досліджувати конкретну систему, але обмежує врахування ситуацій, коли зміни в одному секторі впливають на функціонування інших і через це змінюють доступ населення одразу до декількох життєво важливих послуг.

Не повністю вирішеним залишається й питання критеріїв оцінювання результатів сценаріїв. Виявлено, що у деяких дослідженнях [7; 10–12] увага зосереджена на технічній надійності, функціональності, економічних втратах, фізичному пошкодженні або швидкості відновлення. Людино-

центричні критерії – доступність основних послуг, соціальна вразливість, нерівність наслідків і добробут населення – вже зустрічаються у науковій літературі [12; 14–17], однак ще не стали системою складовою сценарного аналізу інфраструктурних змін.

Окремою прогалиною є відсутність усталеної методичної послідовності, яка б поєднувала структурування сценарного середовища, визначення критичних невизначеностей, урахування взаємозалежності інфраструктурних систем, формування альтернативних сценаріїв та оцінювання їхніх наслідків для якості життя. Наявні дослідження пропонують окремі ефективні інструменти [18–22], однак їх поєднання визначається об'єктом і метою конкретного дослідження та не формує універсальної процедури.

Варто зазначити, що у проаналізованому масиві публікацій не виявлено комплексного методичного підходу, спеціально орієнтованого на формування сценаріїв впливу домінант інфраструктурних змін на резильєнтність якості життя населення в умовах тривалих зовнішніх загроз. З огляду на це, саме ця прогалина визначає логіку подальшого дослідження та обґрунтовує необхідність розроблення відповідних методичних засад.

МЕТА ТА ДОСЛІДНИЦЬКІ ПИТАННЯ

Проведений огляд літератури показав, що сценарне планування, оцінювання інфраструктурної резильєнтності, робота з критичними невизначеностями та дослідження соціальних наслідків функціонування інфраструктури мають розвинене методичне підґрунтя. Водночас інтеграція цих напрямів для оцінювання впливу інфраструктурних змін на резильєнтність якості життя населення залишається недостатньо опрацьованою.

Тому *метою статті* є розроблення методичних засад формування альтернативних сценаріїв впливу домінант інфраструктурних змін на резильєнтність якості життя населення в умовах тривалих зовнішніх загроз і невизначеності на основі сучасних підходів до сценарного планування та їх адаптації до умов України.

Відповідно до поставленої мети сформульовано такі дослідницькі питання:

1. Які положення сучасних підходів до сценарного планування доцільно використати для дослідження впливу інфраструктурних змін на резильєнтність якості життя населення, і які з них можуть бути адаптовані до умов України?

2. Які групи чинників, ризиків і критичних невизначеностей мають формувати сценарне середовище впливу домінант інфраструктурних змін?
3. Якою має бути методична послідовність формування альтернативних сценаріїв впливу домінант інфраструктурних змін на резильєнтність якості життя населення?
4. Які типи сценаріїв доцільно формувати в умовах тривалих зовнішніх загроз і за якими критеріями оцінювати їхні наслідки?

Формальні гіпотези у дослідженні не висуваються, оскільки його дизайн має концептуально-методичний характер і не передбачає статистичної перевірки гіпотез.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження має концептуально-методичний характер. Його інформаційну основу становлять наукові публікації, відібрані в базі Scopus за п'ятьма тематичними напрямками, сформованими відповідно до предмета та дослідницьких питань статті. Пошук охоплював дослідження, присвячені сценарному плануванню, критичним невизначеностям, інфраструктурній резильєнтності, взаємозалежності інфраструктурних систем і соціальним наслідкам їх функціонування.

Для поглибленого якісного аналізу із масиву (46 зарубіжних публікацій) відібрано 22 найбільш релевантні роботи. Основними критеріями відбору були безпосередня відповідність предмету дослідження, наявність методичних положень щодо формування та оцінювання сценаріїв, урахування критичних невизначеностей і зовнішніх загроз, розгляд взаємозалежності інфраструктурних систем, а також зв'язку їх функціонування із соціальними наслідками та якістю життя населення. Така процедура дала змогу зосередити подальший аналіз на працях, що мають найбільшу методичну цінність для розроблення сценарної конструкції дослідження.

Для вирішення поставлених завдань використано *структурований контент-аналіз* наукових публікацій для виявлення, узагальнення та систематизації сучасних підходів до сценарного планування; *порівняльний аналіз* – для зіставлення підходів, представлених у міжнародних дослідженнях, та визначення можливостей їх адаптації до умов України; *системний підхід* – для врахування взаємозалежності інфраструктурних змін, зовнішніх і внутрішніх чинників та їх впливу на резильєнтність якості життя населення; *сценарний*

підхід і аналіз критичних невизначеностей – для обґрунтування логіки формування альтернативних сценаріїв; *структурно-логічний аналіз і науковий синтез* – для розроблення послідовності формування сценаріїв та визначення критеріїв оцінювання їх наслідків.

Домінанти інфраструктурних змін у межах цього дослідження розглядаються як вихідні елементи сценарного аналізу. Їх повторна ідентифікація та пріоритизація не здійснюються, оскільки основна увага зосереджена на методичних засадах формування альтернативних сценаріїв їх впливу на резильєнтність якості життя населення. Кількісне моделювання параметрів і динаміки сформованих сценаріїв у межах цієї статті не здійснюється.

РЕЗУЛЬТАТИ

У межах дослідження сформовано методичні засади сценарного аналізу впливу домінант інфраструктурних змін на резильєнтність якості життя населення. Наслідки інфраструктурних трансформацій не можна визначати лише шляхом продовження наявних тенденцій або оцінювання окремих чинників.

Одна й та сама домінанта за різних зовнішніх загроз, накопичених вразливостей, ресурсних можливостей, інституційної спроможності та міжсекторальних залежностей може мати різні, а іноді протилежні наслідки. Тому сценарний аналіз має охоплювати різні поєднання майбутніх умов, стан взаємозалежних інфраструктурних систем, функціонування критичних послуг і кінцеві наслідки для населення.

Закордонний досвід у сценарному плануванні інфраструктурних трансформацій. Порівняння міжнародних документів [23–34] і наукових праць показало, що сучасне сценарне планування інфраструктурного розвитку дедалі менше зводиться до прогнозування одного найбільш імовірного майбутнього. Сценарії використовуються для аналізу кількох правдоподібних майбутніх станів, виявлення критичних невизначеностей, перевірки поведінки взаємозалежних систем та оцінювання придатності управлінських рішень за зміни вихідних умов.

У звіті ОЕСР «Infrastructure for a Climate-Resilient Future» [23] довгострокове інфраструктурне планування поєднується з адаптивними траєкторіями, стрес-тестуванням, оцінюванням критичності та багатокритеріальним аналізом. Перевага надається не рішенням, оптимальному лише за одного прогнозу, а такому, що забезпечує прийнятний результат за різних майбутніх умов. Адаптивні траєкторії передбачають також

ранні сигнали й порогові значення, після досягнення яких рішення потрібно переглянути або змінити [23].

У документі «Principles for Resilient Infrastructure» [24] інфраструктура розглядається як відкрита взаємозалежна система, до якої належать фізичні об'єкти, технології, управлінські процеси, регулювання, людські ресурси та зв'язки із зовнішнім середовищем. За такого підходу сценарне оцінювання не обмежується можливими пошкодженнями окремого об'єкта. Важливо встановити, чи здатна система зберігати суспільно значущі функції, поглинати порушення, відновлюватися, адаптуватися і за потреби переходити до іншої конфігурації [24].

Світовий банк у звіті «Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity» [25] пропонує оцінювати резильєнтність послідовно на рівні інфраструктурних об'єктів, послуг і кінцевих користувачів. Це дає змогу відокремити фізичний збиток від його суспільних наслідків. Відмова окремого елемента може мати обмежений вплив за наявності резервних маршрутів і альтернативних способів надання послуги або, навпаки, спричинити значні втрати, якщо цей елемент є критичним для інших систем. Тому критичність доцільно визначати передусім за наслідками відмови для функціонування мережі та доступу населення до життєво важливих послуг [25].

Міжнародна практика використовує різні способи побудови сценаріїв. У Звіті Delta Scenarios 2024 [26] базові сценарії описують зовнішній контекст, а не наперед задану управлінську відповідь. Вони формуються через поєднання критичних невизначеностей і створення внутрішньо узгоджених описів майбутніх змін. Сценарії не ранжуються за бажаністю і не потребують штучного присвоєння ймовірностей. Події з особливо високою невизначеністю розглядаються як додаткові умови «що, якщо», за допомогою яких перевіряють уже сформовані траєкторії [26].

У британському документі «National Risk Register 2026» [27] використовується обґрунтований найгірший сценарій – складний, але правдоподібний прояв конкретного ризику, достатній для перевірки готовності системи. Оцінювання враховує масштаб, тривалість і варіації наслідків, пов'язані ризики, каскадне поширення та рівень упевненості в доказовій базі [27]. У документах з інфраструктурної резильєнтності ця логіка доповнюється здатністю системи передбачати порушення, протистояти їм, поглинати наслідки, відновлювати функції та пристосовуватися до нових умов [28].

Спільний дослідницький центр Європейської комісії застосовує інший спосіб формування альтернативних майбутніх станів. У «Reference Foresight Scenarios of the Global Standing of the European Union in 2040» [29] сценарії будуються через послідовний аналіз трендів, припущень і критичних невизначеностей, їх поєднання в короткі узгоджені описи та подальше формування цілісних сценарних траєкторій. Такий підхід придатний для багатовимірних систем, у яких результат залежить від одночасної взаємодії безпекових, технологічних, економічних, соціальних, екологічних та інституційних чинників. Окремо перевіряються правдоподібність, внутрішня узгодженість і змістова відмінність сценаріїв [29].

У «Strengthening European Union's Future Disaster Resilience: A Strategic Foresight Study Identifying Priority Capabilities and Emerging Technologies towards 2040» [30] увага переноситься з опису альтернативних майбутніх станів на оцінювання необхідних спроможностей. Порівняння майбутнього ризикового середовища з фактичними можливостями системи дає змогу виявити дефіцит спроможностей, тобто ситуацію, коли наявних технічних, організаційних або інших можливостей недостатньо для підтримання критичних функцій. Події стрес-сценарії використовуються для аналізу прямих і каскадних наслідків та визначення спроможностей, нестача яких може стати критичною [30].

Територіальний вимір сценарного планування чітко простежується у звіті ОЕСР «Adapting Infrastructure to Changing Climatic Conditions: The Case of the Philippines» [32]. Однакові загальнонаціональні умови можуть мати різні наслідки залежно від експозиції до загроз, стану мереж, демографічної структури, резервованості та місцевої управлінської спроможності. Тому сценарні параметри мають бути просторово диференційованими, а оцінки – регулярно оновлюватися відповідно до нових даних [32].

Системні взаємозалежності найбільш чітко акцентовані у спільному дослідженні ЄС – НАТО [33]. Енергетична, транспортна, цифрова та космічна інфраструктура одночасно є самостійними секторами й забезпечує функціонування інших систем. Отже, первинне порушення може передаватися через фізичні, цифрові, технологічні та постачальницькі зв'язки. Важливим є й висновок про відсутність наперед заданого позитивного ефекту інфраструктурної трансформації: децентралізація, електрифікація або цифровізація можуть одночасно зменшувати одні вразливості та створювати інші [33].

У «NSW Critical Infrastructure Resilience Strategy: Infrastructure Resilience Guide» [34] резильєнтність розкривається як здатність передбачати можливі порушення, поглинати їхній початковий вплив, адаптувати функціонування, відновлювати послуги та за необхідності переходити до стійкішого стану. Оцінювання охоплює не лише інфраструктуру, а й організаційну та громадську спроможність, що важливо для дослідження наслідків порушення критичних послуг для населення.

Узагальнення основних методичних відмінностей наведено в табл. 2.

Кількісне доповнення до наведених підходів дають дослідження D. Henry & J. E. Ramirez-Marquez [35] та R. Pant, K. Barker & C. W. Zobel [36]. Перший колектив вчених [35] розглядає резильєнтність як зміну функціональності системи в часі від вихідного стану після порушення до нового стабілізованого стану. Другий колектив дослідників [36] доповнює цю логіку максимальною втратою функціональності, середнім рівнем функціонування протягом періоду та часом відновлення. Це дає змогу поєднати стратегічне передбачення і якісні сценарії з вимірюванням фактичної динаміки критичних послуг.

У розглянутих підходах повторюються п'ять положень. Сценарій використовується для дослідження кількох правдоподібних майбутніх станів, а не одного прогнозу. Його якість залежить від прозорості припущень і внутрішньої узгодженості. Довгострокові траєкторії доцільно доповнювати окремими стресовими подіями. Оцінювання має переходити від окремого інфраструктурного об'єкта до системи надання критичних послуг. Результати сценарного аналізу потребують регулярного перегляду з урахуванням нових даних і зміни ризикового середовища [23–34].

Водночас ці підходи залишаються фрагментарними щодо предмета цього дослідження. Одні джерела детально розглядають критичні невизначеності; інші – взаємозалежності, стрес-тестування, дефіцит спроможностей, динаміку відновлення або доступність послуг. Значно рідше ці складові поєднуються в одній процедурі, яка простежує, як домінанти інфраструктурних змін через стан і функціональність критичних послуг впливають на резильєнтність якості життя. Ця прогалина стала підставою для подальшого структурування сценарного середовища та розроблення процедури формування сценаріїв.

Сценарне середовище впливу домінант інфраструктурних змін на резильєнтність якості життя. Формування сценарію потребує визначення умов, що створюють відмінності між можли-

**Узагальнення закордонних підходів до сценарного планування
інфраструктурних трансформацій**

Підхід	Сценарна логіка	Ключові інструменти	Значення для дослідження
ОЕСР [23; 31; 32]	Альтернативні умови, адаптивні траєкторії, локалізація	оцінювання ризику і критичності; багатокритеріальний аналіз; стрес-тестування; адаптивні траєкторії; моніторинг	стійкість рішень до зміни умов; територіальна й часова адаптація
Управління ООН зі зменшення ризику катастроф [24]	Системний багаторизиковий аналіз	перевірка припущень; аналіз взаємозалежностей; багаторівневе моделювання	поєднання поглинання, відновлення, адаптації й трансформації
Світовий банк [25]	Об'єкти – послуги – користувачі	прийняття рішень за глибокої невизначеності; аналіз критичних вузлів; резервованість; стрес-тестування	перехід від стану активів до наслідків для населення
Нідерланди [26]	Контекстні пошукові сценарії	критичні невизначеності; сценарні описи; умови «що, якщо»; моніторинг	розмежування зовнішнього майбутнього і управлінської відповіді
Велика Британія [27; 28]	Стрес-орієнтована перевірка готовності	обґрунтований найгірший сценарій; варіації; оцінювання наслідків; рівень упевненості	тестування спроможностей і критичних послуг
Спільний дослідницький центр Європейської комісії [29; 30]	Стратегічне передбачення і сценарії спроможностей	моніторинг ранніх сигналів; поєднання чинників; короткі сценарні описи; дефіцит спроможностей	багатовимірне формування сценаріїв і пошук дефіциту спроможностей
ЄС – НАТО / Новий Південний Уельс [33; 34]	Взаємозалежність і оцінювання спроможностей	каскадні ефекти; критичні залежності; альтернативні канали; оцінювання спроможностей	системна, організаційна та громадська резильєнтність

Джерело: узагальнено авторами на основі [23–34].

вими майбутніми станами. Для цього недостатньо повторювати перелік економічних, соціальних, технологічних, екологічних або безпекових чинників. Один і той самий чинник може виконувати різну роль: задавати довгостроковий напрям змін, бути інструментом управління, формувати структурну вразливість, створювати критичну невизначеність або проявлятися як зовнішній шок.

Сценарне середовище впливу домінант інфраструктурних змін запропоновано розуміти як упорядковану сукупність процесів, невизначеностей, структурних вразливостей, управлінських можливостей, ресурсних обмежень і потенційних загроз, взаємодія яких визначає характер інфраструктурних змін та їх наслідки для критичних послуг і населення. У такому трактуванні важливим є не лише походження чинника, а його функція у формуванні певного майбутнього стану.

Для сценарного аналізу виділено шість груп чинників сценарного середовища (табл. 3). Їх поділено за роллю у формуванні сценарію, а не за предметною сферою. Це дозволяє уникнути дублюван-

ня та точніше визначити механізм впливу кожної групи.

Довгострокові тенденції визначають загальний напрям змін у середовищі. До них належать цифровізація, демографічна та просторова трансформація, зміна клімату, зелений та енергетичний перехід, зміна структури попиту на інфраструктурні послуги [23; 24; 26; 29]. Їхній напрям часто є порівняно передбачуваним, тоді як темпи, масштаби та локальні прояви залишаються невизначеними. Вони поступово змінюють структуру навантаження, експозицію, технологічні вигоди та потребу в модернізації.

Керовані внутрішні чинники, навпаки, характеризують можливості цілеспрямовано змінювати траєкторію системи. До них належать інвестиційні рішення, превентивне технічне обслуговування, резервування, диверсифікація, децентралізація, моніторинг, раннє попередження, організаційна готовність і координація [23; 24; 31; 34]. Їхня наявність не гарантує позитивного результату, але

Класифікація чинників сценарного середовища впливу домінант інфраструктурних змін на резильєнтність якості життя

Група	Типовий зміст	Передбачуваність / керованість	Сценарна функція
Довгострокові тенденції	кліматичні й демографічні зміни; урбанізація; цифровізація; енергетичний і зелений перехід; зміни попиту	відносно вища щодо напрямку / низька–середня	задають довгостроковий фон та поступово змінюють навантаження й експозицію
Керовані внутрішні чинники	планування; інвестиції; обслуговування; резервування; диверсифікація; дані; координація	середня–висока / відносно висока	визначають потенціал цілеспрямованої адаптації та зміни траєкторії
Структурні чинники та вразливості	фізичний знос; критичні вузли; низька резервованість; цифрові й постачальницькі залежності; просторові диспропорції	середня / низька–середня	визначають чутливість системи й канали поширення порушень
Критичні невизначеності	інтенсивність загроз; темпи технологічних змін; регулювання; поведінка і попит; зовнішня підтримка	низька / переважно низька	створюють точки розгалуження між альтернативними майбутніми станами
Зовнішні шоки та загрози	природні, кліматичні, техногенні, кібернетичні, геополітичні, безпекові та біологічні події	низька щодо часу і масштабу / дуже низька	створюють стресове навантаження та можуть запускати каскадні ефекти
Інституційні й ресурсні обмеження	дефіцит фінансування, даних, технологій і кадрів; регуляторні бар'єри; фрагментація повноважень	середня / середня	визначають межі практичної реалізації адаптаційних і трансформаційних рішень

Джерело: запропоновано та складено авторами на основі опрацювання [23–34].

формує потенціал для зменшення вразливості та підтримання критичних функцій.

Структурні чинники та вразливості змінюються повільніше й часто не можуть бути усунені одним управлінським рішенням. До них належать знос і технологічне старіння, концентрація критичних вузлів, недостатня резервованість, взаємозалежність мереж, цифрові й постачальницькі залежності, територіальні та соціальні диспропорції [30–33]. Саме через них зовнішній вплив перетворюється на функціональну втрату або поширюється між системами.

Критичні невизначеності характеризують параметри, які мають істотне значення для майбутньої функціональності системи, але їхній стан не можна надійно визначити заздалегідь. До них можуть належати інтенсивність і поєднання загроз, темпи технологічного оновлення, регуляторні зміни, майбутній попит, зовнішня підтримка або невідомі наслідки взаємозалежностей [24–26; 29; 33]. Саме такі чинники створюють точки розгалуження між альтернативними сценаріями.

Зовнішній шок – це не невизначений майбутній стан, а потенційна подія або сукупність подій, що різко збільшує навантаження на систему. Тому природна, техногенна, кібернетична або безпекова подія не обов'язково має утворювати окремий базовий сценарій. Її доцільно використовувати як

стресову умову для перевірки вже сформованої траєкторії [26; 27; 30].

Інституційні та ресурсні обмеження визначають, якою мірою потенційні адаптаційні інструменти можуть бути реально використані. Дефіцит фінансування, даних, технологій, матеріалів і кадрів, слабка координація, регуляторні бар'єри та обмежений доступ до аварійних ресурсів можуть істотно зменшувати фактичну спроможність системи навіть за формальної наявності відповідних управлінських механізмів [23; 24; 31; 32].

Запропонована класифікація доповнюється чотирма наскрізними характеристиками. Часова показує, чи накопичується зміна поступово, чи має довгостроковий характер, або чи виникає вона раптово. Просторова відображає відмінності в експозиції до загроз, стані мереж, резервованості та місцевій спроможності [32]. Мережева характеризує канали передачі впливу через критичні вузли, міжсекторальні залежності, цифрові зв'язки та ланцюги постачання [24; 25; 30; 33]. Характеристика спроможностей показує, чи відповідають технічні, організаційні, фінансові та громадські можливості майбутньому навантаженню [30; 34].

Отже, сценарне середовище доцільно розглядати у двох вимірах: за функцією чинника та

за способом його прояву в часі, просторі, мережі взаємозалежностей і відносно наявних спроможностей. Такий підхід враховує, що роль одного й того самого чинника може змінюватися залежно від ситуації. Це також означає, що домінантні інфраструктурних змін не слід наперед поділяти на позитивні й негативні.

Децентралізація може зменшувати залежність від одного великого вузла, але збільшувати кількість розосереджених об'єктів і цифрових зв'язків; технологічна модернізація може підвищувати ефективність, але посилювати залежність від імпортованих компонентів; цифровізація – підвищувати керованість і водночас створювати додаткові кіберризики [33]. Отже, результат залежить від конкретного поєднання умов.

Для зв'язку сценарного середовища з якістю життя необхідно розмежовувати зовнішній вплив і його кінцевий суспільний результат. Загроза або інфраструктурна зміна безпосередньо не визначає резильєнтність якості життя. Її наслідок залежить від експозиції, структурної вразливості, наявних спроможностей і фактичних змін у функціональності критичних послуг [23–25; 32]. Саме ця залежність визначає необхідність формування послідовної процедури переходу від сценарного середовища до альтернативних траєкторій.

Методичні засади формування сценаріїв впливу домінант інфраструктурних змін на резильєнтність якості життя. На основі виявлених міжнародних підходів і запропонованої структури сценарного середовища розроблено процедуру формування сценаріїв впливу домінант інфраструктурних змін. Її завдання полягає в тому, щоб послідовно пов'язати майбутні умови, стан інфраструктурних систем, зміни критичних послуг і наслідки для населення.

Процедура охоплює десять послідовних етапів, до яких можна повертатися після отримання нових даних або перевірки припущень (табл. 4). На першому етапі задаються спільні межі всіх сценаріїв: об'єкт дослідження, територіальний рівень, базовий стан і часовий горизонт. Це забезпечує порівнянність подальших результатів. Одночасно фіксуються вихідні припущення і перевіряється їх обґрунтованість, оскільки сценарний висновок має бути пов'язаний із тими умовами, на яких його побудовано [24; 29].

Другий і третій етапи формують доказову основу. Система домінант, установлена на попередньому етапі дослідження, повторно не визначається, а використовується як вхідна сукупність інфраструктурних змін. До ува-

Таблиця 4

Методична процедура формування сценаріїв впливу домінант інфраструктурних змін на резильєнтність якості життя

Етап	Основна процедура	Методичний результат
1	Визначення мети, об'єкта, просторового рівня, базового стану і часового горизонту; перевірка припущень	Межі сценарного аналізу
2	Формування доказової бази з використанням установлених домінант, трендів, прогнозів і ранніх сигналів	Інформаційна основа
3	Відбір критичних невизначеностей, ризиків, вразливостей і взаємозалежностей; перехресна перевірка інформації	Чинники формування сценарію
4	Визначення альтернативних станів ключових чинників і формування карток чинників	Структурована множина альтернатив
5	Побудова коротких сценарних описів; відбір сумісних комбінацій; формування і перевірка базових сценаріїв	Альтернативні сценарні траєкторії
6	Задання якісних, кількісних, просторових і часових параметрів; визначення поведінки домінант	Сценарії із заданими параметрами
7	Оцінювання експозиції, вразливості, спроможностей, міжсекторального поширення і критичних послуг	Профіль наслідків для резильєнтності якості життя
8	Накладання стресових умов; аналіз чутливості, дефіциту спроможностей, стійкості до зміни умов і невизначеності	Стрес-тест сценаріїв і рішень
9	Визначення ранніх сигналів, порогових умов та підстав для перегляду траєкторії	Адаптивна система моніторингу
10	Формування управлінських рішень, зворотне планування, визначення пріоритетів і адаптивне коригування	Сценарно диференційована управлінська відповідь

Джерело: запропоновано та складено авторами на основі опрацювання [23–36].

ги беруться не лише поточний масштаб чинника, а й невизначеність щодо його майбутнього стану, функціональна критичність, взаємозалежність з іншою інфраструктурою та потенціал каскадного поширення. Для зменшення однобічності доцільно зіставляти статистичні дані, прогнози, міжнародні аналітичні матеріали, результати наукових досліджень та експертні оцінки [29-30]. На цьому етапі також необхідно розмежовувати небезпеку, експозицію, структурну вразливість і спроможність системи. Однакова інтенсивність зовнішнього впливу може мати різні наслідки для територій із різним станом інфраструктури, резервованістю та доступністю ресурсів [32]. Це означає, що загальнонаціональна сценарна траєкторія має передбачати подальшу територіальну параметризацію.

Четвертий і п'ятий етапи перетворюють сукупність чинників на сценарні траєкторії. Для кожного ключового чинника доцільно сформулювати картку, у якій фіксуються поточна тенденція, основна невизначеність, можливі майбутні стани та зв'язок із домінантами. Далі логічно сумісні стани поєднуються у короткі сценарні описи, з яких формуються повні траєкторії.

Слід зазначити, що матриця 2×2 може бути корисною, якщо основний сценарний простір справді визначають дві критичні невизначеності [26]. Проте за складної взаємодії багатьох чинників доцільніший гібридний підхід: спочатку формуються короткі причинно узгоджені описи, а потім відбираються сумісні комбінації [29]. Це зменшує ризик того, що назву сценарію задають наперед, а характеристики підбирають під уже визначений результат.

Після формування сценарії перевіряються за трьома базовими вимогами: правдоподібністю, внутрішньою узгодженістю та змістовою відмінністю [29]. За відсутності окремої ймовірнісної моделі їм не слід штучно присвоювати ймовірності [26]. У цьому дослідженні сценарії виконують пошукову функцію: описують різні можливі траєкторії та створюють основу для порівняння наслідків.

На шостому етапі сценарний опис конкретизується через якісні, кількісні, часові й просторові параметри. Для кожної домінанти важливо визначити не тільки напрям зміни, а й характер її взаємодії з іншими складовими системи. Це необхідно тому, що одна трансформація може одночасно давати позитивний ефект за одним напрямом і створювати нові залежності за іншим [33].

Сьомий етап є центральним для зв'язку сценарного аналізу з резильєнтністю якості життя. Оцінювання має простежувати, як первинний

вплив змінює інфраструктурні функції, через які міжсекторальні канали він поширюється, чи виникають каскадні ефекти, які резервні маршрути або способи надання послуг доступні та яким є кінцевий результат для населення [25; 30; 33]. Фізичний стан активу при цьому не є кінцевим критерієм. Вирішальне значення має фактичне забезпечення електроенергією, водою, транспортною доступністю, зв'язком, медичними та іншими критичними послугами. Часовий вимір цього етапу спирається на підходи D. Henry & J. E. Ramirez-Marquez [35] та R. Pant, K. Barker & C. W. Zobel [36]. Функціональність системи доцільно оцінювати від вихідного стану через момент найбільшого порушення до відновлення. Новий стабільний стан може бути нижчим за вихідний рівень, відповідати йому або перевищувати його [35]. Тому важливо враховувати не лише факт відновлення, а й глибину падіння, тривалість порушення та середній рівень функціонування протягом усього періоду [36].

Восьмий етап передбачає накладання на базові траєкторії однакових стресових умов. У нідерландській практиці для цього використовуються умови «що, якщо», британська практика – обґрунтований найгірший сценарій, а Спільний дослідницький центр Європейської комісії – події стрес-сценарії [26-27; 30]. Такий підхід дозволяє порівнювати, як різні вихідні траєкторії реагують на однакове критичне порушення.

Одночасно оцінюється дефіцит спроможностей. Він виникає, коли майбутнє навантаження перевищує технічні, організаційні, фінансові або громадські можливості системи підтримувати необхідний рівень критичних послуг [30]. Саме цей розрив дає змогу відрізнити керовану адаптацію від ситуації, у якій порушення набуває кризового характеру.

Дев'ятий і десятий етапи забезпечують можливість перегляду рішень. Для кожної траєкторії визначаються ранні сигнали та порогові умови, які свідчать про зміну вихідних припущень [23; 29]. Зворотне планування дає змогу, виходячи з можливого майбутнього стану, визначити рішення, які потрібно розпочати заздалегідь. Отже, результатом процедури є не разовий прогноз, а система рішень, яку можна уточнювати зі зміною інформації.

У результаті процедура охоплює три рівні аналізу. Перший стосується формування альтернативних майбутніх станів; другий – поширення впливу через вразливості, взаємозалежності та критичні послуги; третій – перевірки спроможностей, стрес-тестування, моніторингу і коригування управлінських рішень. Це створює основу для змістового розмежування типів сценаріїв та оцінювання їх наслідків.

Типологія сценаріїв та критерії оцінювання їх впливу. Запропонована процедура має приводити до змістово різних траєкторій, а не до кількох варіантів, що відрізняються лише значеннями окремих показників. Тому традиційного поділу на оптимістичний, базовий і песимістичний сценарії недостатньо: він не пояснює, за рахунок яких властивостей система зберігає функціональність або, навпаки, втрачає її.

За результатами узагальнення міжнародних підходів виокремлено чотири базові сценарії: інерційний, адаптаційний, трансформаційний і кризовий. У такій сукупності вони не відтворюють готову типологію з одного джерела, а поєднують підходи до підготовки, поглинання порушень, відновлення, адаптації, структурної трансформації та дефіциту спроможностей [23–34].

Інерційний сценарій характеризується збереженням основної архітектури системи, повільною модернізацією та переважно реактивним використанням ресурсів. Окремі зміни відбуваються, але вони не усувають накопичених вразливостей і критичних залежностей. Після порушення переважає прагнення повернутися до попереднього стану, не змінюючи принципово спосіб функціонування системи [24; 25].

Адаптаційний сценарій передбачає послідовне підвищення здатності наявної системи працювати за нових умов. Посилаються превентивне технічне обслуговування, резервування, моніторинг, раннє попередження, підготовка і координація. Його го-

ловною ознакою є не зміна всієї архітектури, а зменшення глибини і тривалості порушень та швидше відновлення критичних функцій [23–25; 34].

Трансформаційний сценарій передбачає структурно іншу модель функціонування: нову архітектуру мереж, розподілені та модульні рішення, диверсифікацію, цифрову інтеграцію, локальну автономність і зміну способів надання послуг [24; 25; 31; 33]. Відновлення може завершуватися переходом до нового функціонального стану. Водночас така траєкторія не є автоматично «кращою»: висока інвестиційна потреба, нові цифрові й поставальницькі залежності, перехідні витрати та потенційне зростання вартості послуг також мають оцінюватися [32–33].

Кризовий сценарій виникає не просто за високої інтенсивності загрози, а коли навантаження перевищує фактичну здатність системи його передбачати, поглинати, локалізувати та компенсувати. Ознаками стають недостатність резервів, дефіцит ресурсів, інституційне перевантаження, каскадні ефекти та тривале порушення базових послуг [27; 30].

Для зручності порівняння змістові характеристики сценаріїв подано у двох таблицях. У табл. 5 зведено вихідні та системні характеристики альтернативних сценаріїв, а у табл. 6 – їх вплив на забезпечення резильєнтності якості життя населення країни.

Зіставлення у табл. 5 показує, що тип сценарію не визначається одним показником, зокрема, рівнем зовнішньої загрози. Високе навантаження

Таблиця 5

Передумови та системні характеристики альтернативних сценаріїв

Параметр	Інерційний	Адаптаційний	Трансформаційний	Кризовий
Зовнішнє навантаження та вразливість	загрози враховуються неповно; вразливості накопичуються	ризиків враховуються превентивно; критичні вразливості зменшуються	значне навантаження може стимулювати структурні зміни	комбіноване навантаження перевищує наявні спроможності
Ресурсна й інституційна спроможність	обмежені ресурси; фрагментарна координація	концентрація ресурсів на критичних напрямках; координація посилюється	довгострокова мобілізація ресурсів і висока здатність до змін	дефіцит ресурсів; перевантаження інституцій; зниження керованості
Модернізація та обслуговування	повільні зміни; переважно реактивний ремонт	превентивне обслуговування; модернізація критичних сегментів	системна модернізація та заміна вразливих рішень	аварійне відновлення; відкладання модернізації
Архітектура та залежності	недостатня резервованість; критичні залежності зберігаються	резерви й альтернативні канали посилюються	диверсифікована та розподілена архітектура; можливі нові залежності	низька замінність і високий потенціал каскадного поширення

Джерело: запропоновано та складено авторами на основі опрацювання наукових джерел [23–34] і результатів власних попередніх досліджень [37–40].

Вплив альтернативних сценаріїв для забезпечення резильєнтності якості життя населення країни

Параметр	Інерційний	Адаптаційний	Трансформаційний	Кризовий
Передбачення і поглинання порушень	переважно реактивне реагування	розвинені підготовка, раннє попередження і поглинальна спроможність	інтегроване прогнозування й висока структурна гнучкість	спроможності не-достатні відносно масштабу навантаження
Критичні послуги	повторні й нерівномірні перебої; зберігаються диспропорції	масштаб і тривалість перебоїв обмежуються	безперервність підтримується альтернативними способами надання	тривале або масштабне погіршення доступності
Відновлення та кінцевий стан	повернення близько до вихідного стану зі збереженням вразливостей	відновлення з підвищенням адаптаційної спроможності	перехід до нового функціонального стану	ризик тривалого перебування нижче вихідного рівня
Резильєнтність якості життя	короткострокова стабільність за накопичення довгострокових ризиків	нижча чутливість до порушень і швидше відновлення умов життя	потенційно стійкіші умови, але можливі перехідні витрати й нерівні ефекти	значні втрати доступності, добробуту і здатності населення адаптуватися

Джерело: запропоновано та складено авторами на основі опрацювання наукових джерел [23–36] і результатів власних попередніх досліджень [37–40].

може поєднуватися з трансформаційною траєкторією, якщо система має достатні ресурси, координацію та здатність до структурної перебудови. І навпаки, відносно помірне навантаження не виключає інерційного розвитку, якщо вразливості продовжують накопичуватися. Визначальним є співвідношення зовнішнього тиску, внутрішньої вразливості та наявних спроможностей.

Чотири базові траєкторії не замінюють аналіз конкретних критичних подій. Одну й ту саму природу, техногенну, кібернетичну або безпекову подію доцільно накладати на кожен сценарій і порівнювати отримані наслідки. Це показує, наскільки попередня траєкторія розвитку змінила готовність системи до однакового зовнішнього навантаження [26; 27; 30].

Для порівняння сценаріїв необхідно відокремлювати якість їхньої побудови від фактичної резильєнтності системи. Один перелік показників змішував би різні рівні аналізу – вихідні спроможності, властивості критичних послуг і наслідки порушення. Тому критерії згруповано у п'ять блоків (табл. 7).

Перший блок стосується якості самого сценарію. Правдоподібність означає, що описана комбінація умов може виникнути в межах обраного часового горизонту, а внутрішня узгодженість – що включені до сценарію припущення не суперечать одне одному. Рівень довіри до оцінки дає змогу розрізняти параметри, підтверджені даними, модельні

результати та експертні припущення [27; 29].

Структурні спроможності визначають, з яким потенціалом система входить у сценарну ситуацію. Особливе значення мають резервованість, адаптивність і фінансова спроможність. При цьому фінансові ресурси необхідно оцінювати не лише за їх номінальною наявністю, а й за оперативною доступністю в момент їх вичерпання [32].

Системна резильєнтність відображає взаємозалежну природу інфраструктури. Критичність вузла залежить від його системного значення; резервованість може забезпечуватися не лише запасною потужністю, а й альтернативним маршрутом, вузлом, постачальником, технологією або способом надання послуги [33]. Це дозволяє оцінювати здатність локалізувати первинне порушення до того, як воно перетвориться на каскадне.

Для резильєнтності якості життя центральним є блок критичних послуг. Формальна наявність послуги ще не означає реального доступу до неї. Світовий банк наголошує на відмінності між доступом і надійним доступом [25], а ОЕСР – на необхідності одночасно враховувати надійність, фізичну й територіальну доступність та прийнятність вартості послуг [32]. Отже, критична послуга має оцінюватися за безперервністю, стабільністю, доступністю, вартістю та якістю. Це особливо важливо для трансформаційного сценарію, оскільки

Система критеріїв оцінювання сценаріїв та їх наслідків

Блок	Основні критерії	Аналітичне призначення
Якість сценарної конструкції	правдоподібність; внутрішня узгодженість; змістова відмінність; прозорість припущень; стійкість до зміни умов; рівень довіри до доказової бази	перевірка сценарію
Структурні спроможності	передбачення; готовність; поглинальна спроможність; резервованість; відновлюваність; адаптивність; трансформаційна, інституційна й фінансова спроможність	оцінка потенціалу системи протистояти порушенню й змінюватися
Системна резильєнтність	критичність і замінність вузлів; диверсифікація; міжсекторальні залежності; альтернативні канали; локалізація каскадних ефектів; концентрація критичних ланцюгів постачання	визначення ризику поширення порушень
Резильєнтність критичних послуг	безперервність; надійність; фізична й територіальна доступність; цінова доступність; якість; мінімально прийнятний рівень послуги	оцінка фактичного забезпечення базових потреб населення
Динамічні та соціально-економічні наслідки	максимальна і середня функціональність; частота і тривалість порушень; час відновлення; кінцевий стан; ненаданий обсяг послуги; втрати й уникнені втрати; нерівномірність наслідків	формування багатовимірного профілю резильєнтності якості життя

Джерело: систематизовано та складено авторами на основі опрацювання наукових джерел [23–36] і результатів власних попередніх досліджень [37–40].

технологічне посилення системи не повинно супроводжуватися неприйнятним погіршенням цінової доступності.

Динамічні наслідки доцільно оцінювати через профіль функціональності у часі. На основі [35; 36] для кожного сценарію необхідно визначати вихідний рівень надання послуги, максимальну глибину її втрати, середній рівень функціонування під час порушення, тривалість порушення, час відновлення та кінцевий функціональний стан. До профілю також можуть включатися обсяг ненаданої послуги, каскадні наслідки, ресурси на відновлення та запобігання соціально-економічним втратам.

Принципово важливо не оцінювати резильєнтність лише за швидкістю відновлення. Система, яка швидко повернулася після майже повної втрати функціональності, може мати гірший суспільний результат, ніж система з дещо довшим відновленням, яка протягом усього періоду зберігала значну частину базових послуг [36]. Отже, глибина, тривалість і середній рівень функціональності мають розглядатися разом.

Наслідки кожного сценарію доцільно додатково характеризувати за охопленням, масштабом і тривалістю. Така конструкція дозволяє відрізнити короткострокове локальне по-

рушення від довготривалої системної кризи навіть за однакового початкового шоку [27]. Територіальна та соціальна диференціація є обов'язковою, оскільки прийнятне середнє значення може приховувати непропорційні втрати окремих регіонів або вразливих груп населення.

Порівняння витрат також не повинно обмежуватися лише прямою вартістю модернізації. Значні початкові інвестиції у трансформаційну траєкторію можуть супроводжуватися зменшенням майбутньої тривалості перебоїв, обсягу ненаданих послуг і соціально-економічних збитків. Тому поряд із витратами необхідно враховувати уникнуті втрати [31].

Запропонована система не передбачає автоматичного зведення всіх характеристик до одного інтегрального показника. Один сценарій може бути кращим за одними параметрами і слабшим за іншими: технологічна модернізація може підвищувати надійність, але створювати нові початальницькі залежності; швидке відновлення може поєднуватися з глибоким початковим падінням функціональності; фізична надійність – із погіршенням цінової доступності. Тому на першому етапі доцільно формувати багатовимірний профіль сценарної резильєнтності, а інтегральне оцінювання проводити лише після аналізу окремих складових [32; 35; 36].

У сукупності результати даного дослідження формують послідовну методичну основу: від визначення сценарного середовища та правил побудови альтернативних траєкторій – до їх типології й оцінювання через функціонування критичних послуг. Така логіка дає змогу перейти від опису інфраструктурних змін до аналізу умов, за яких вони підтримують або, навпаки, послаблюють резильєнтність якості життя населення. Одержані результати потребують зіставлення з наявними підходами до сценарного планування та резильєнтності інфраструктури, а також оцінювання їхніх наукових відмінностей і меж застосування. Ці питання розглядаються далі в розділі «Обговорення».

ОБГОВОРЕННЯ

Одержані результати узгоджуються з сучасним розумінням сценарного планування як інструменту дослідження кількох правдоподібних майбутніх станів, а не прогнозування одного найбільш імовірного варіанта. У працях T. Chermack et al. [1], A. Volkery & T. Ribeiro [3], I. Sircar et al. [5] сценарний підхід пов'язується насамперед із роботою в умовах невизначеності, порівнянням альтернативних траєкторій та підготовкою рішень, придатних для різних майбутніх умов. Запропонований у цьому дослідженні підхід розвиває цю логіку стосовно інфраструктурних змін, оскільки пов'язує можливі майбутні стани не лише з трансформацією самої інфраструктури, а й зі зміною критичних послуг та їхніми наслідками для резильєнтності якості життя.

Однією з відмінностей отриманих результатів є ширше трактування сценарного середовища. У значній частині досліджень формування альтернативних сценаріїв ґрунтується передусім на критичних невизначеностях. C. A. Scott et al. [6], J. Carneiro et al. [7], D. Landuyt et al. [8] і C. Caramuta et al. [9] показують, що зміна ключових невизначених чинників може істотно впливати на конфігурацію майбутнього та результати сценарного аналізу. Такий підхід є продуктивним, однак для взаємозалежних інфраструктурних систем його доцільно доповнювати чинниками іншої природи. Довгострокові тенденції, структурні вразливості, керовані внутрішні чинники, зовнішні шоки та ресурсно-інституційні обмеження виконують різні функції під час формування сценарію. Їх розмежування дає змогу пояснити не лише можливу траєкторію змін, а й причини, через які однаковий зовнішній вплив може спричинити різні наслідки.

Цей висновок має безпосередній зв'язок із до-

слідженнями взаємозалежності критичної інфраструктури. W. Sun, P. Bocchini & B. D. Davison [10] наголошують на необхідності врахування зв'язків між інфраструктурними системами під час оцінювання резильєнтності. C. A. Davis [11] розмежує фізичний стан інфраструктури та її фактичну функціональність, а Y. Yang, Y. Mou & B. Wang [12] показують значення міжсекторальних залежностей для підтримання пріоритетних функцій. E. L. Roach & M. Al-Saidi [13], аналізуючи водо- та енергопостачання в умовах конфліктів, також доводять, що стійкість системи визначається не лише станом окремих об'єктів, а й здатністю зберігати життєво необхідні послуги. Одержані результати доповнюють ці дослідження тим, що взаємозалежність включається безпосередньо до логіки формування й оцінювання альтернативних сценаріїв.

Це також пояснює, чому інфраструктурну трансформацію недоцільно наперед оцінювати як позитивну чи негативну. Модернізація, цифровізація чи децентралізація можуть одночасно зменшувати одні вразливості та створювати інші. Такий висновок близький до позиції F. Cappellano, C. Matti & M. Vidmar [2], які пов'язують трансформаційну резильєнтність зі здатністю системи змінювати підходи до розвитку. Водночас результати цього дослідження свідчать про необхідність обережнішого трактування трансформації як безумовно сприятливого стану. Структурні зміни можуть підвищувати автономність, диверсифікацію та адаптивність, але можуть потребувати значних ресурсів, формувати нові технологічні й постачальницькі залежності або створювати нерівномірні соціальні наслідки. Саме тому трансформаційний сценарій не отожднюється з оптимістичним, а інерційний – автоматично з песимістичним.

Запропонована типологія інерційного, адаптаційного, трансформаційного та кризового сценаріїв відрізняється від поширеного поділу майбутнього за ступенем його сприятливості. У дослідженнях [6–9], що ґрунтуються на критичних невизначеностях, головна увага приділяється формуванню змістовно різних комбінацій майбутніх умов. У цьому дослідженні додатковим критерієм розмежування стає характер функціонування системи та співвідношення між зовнішнім навантаженням і наявними спроможностями. Це дозволяє аналізувати не лише те, яким може бути майбутній стан, а й те, чому система переходить до певної траєкторії та які наслідки це має для критичних послуг.

Методично важливим є й розмежування базової траєкторії розвитку та конкретної стресової події. У прикладних дослідженнях [7; 9; 22] сценарій нерідко формується навколо певного ризику

або кризового впливу. Для оцінювання наслідків це виправдано, однак такий підхід не завжди дозволяє відокремити силу зовнішнього шоку від вихідної резильєнтності системи. Запропонована процедура передбачає можливість застосування однакової стресової умови до різних базових траєкторій. Завдяки цьому можна встановлювати, наскільки попередній характер інфраструктурного розвитку змінив здатність системи підтримувати критичні послуги за однакового зовнішнього навантаження.

Розроблена десятиетапна процедура має спільні риси з комбінованими методиками сценарного планування. V. A. Bañuls & M. Turoff [18] поєднують метод Делфі та аналіз перехресного впливу, P. Radeljak Kaufmann [19] – факторний аналіз та експертне оцінювання, S. Abdoli, F. Habib & M. Babazadeh [20] використовують інструменти стратегічного передбачення у просторовому плануванні, а Y. Sunitiyoso et al. [21] застосовують сценарний підхід із залученням зацікавлених сторін. Спільною рисою цих робіт є поступовий перехід від широкої сукупності чинників до обмеженої кількості внутрішньо узгоджених сценаріїв.

Відмінність запропонованої процедури полягає в тому, що вона задає насамперед послідовність аналітичних завдань, а не обов'язковий набір конкретних методів. Це дає змогу добирати інструментарій відповідно до об'єкта дослідження, територіального рівня, доступності даних та складності системи. Така гнучкість є перевагою під час практичного застосування, але водночас означає, що способи кількісної параметризації, відбору чинників і встановлення порогових значень потребують додаткового обґрунтування для кожного конкретного випадку.

Найбільш суттєвою відмінністю запропонованого підходу є перенесення кінцевого рівня оцінювання з інфраструктурного об'єкта на функціонування критичних послуг і його наслідки для населення. Ця позиція узгоджується з людиноцентричним напрямом досліджень резильєнтності. S. S. Clark, T. P. Seager & M. V. Chester [14] пов'язують пріоритизацію критичної інфраструктури з її внеском у людські можливості; S. Dhakal & L. Zhang [15] включають до оцінювання суспільний добробут і справедливість розподілу наслідків; K. Dharmadasa, U. Kulatunga & I. Eranga [16] показують значення критичної інфраструктури для відновлення умов життя після катастроф; M. Dutta et al. [17] наголошують на територіальній і соціальній нерівномірності наслідків різних сценаріїв.

Запропонована система критеріїв розвиває цей напрям, оскільки безперервність, надійність, територіальна та цінова доступність критичних послуг розглядаються як складові порівняння альтернативних сценаріїв. Це дає змогу пов'язати технічну та системну резильєнтність інфраструктури з її суспільним результатом. Водночас резильєнтність якості життя в межах цього дослідження охоплює передусім ту її частину, яка залежить від інфраструктурного забезпечення. Такі складові, як суб'єктивне благополуччя, соціальні відносини, культурні особливості та інші неінфраструктурні чинники якості життя, безпосередньо не оцінюються. Отже, запропонована методика не претендує на охоплення всіх вимірів цього поняття.

Оцінювання динаміки критичних послуг узгоджується з підходами D. Henry & J. E. Ramirez-Marquez [35] та R. Pant, K. Barker & C. W. Zobel [36], у яких резильєнтність розглядається як зміна функціональності системи в часі. Результати цього дослідження підтверджують, що швидкість відновлення сама по собі недостатня характеристика. Значення мають також глибина втрати функціональності, тривалість порушення, середній рівень надання послуг і стан системи після завершення відновлення. Для оцінювання наслідків для населення до цього доцільно додавати ненаданий обсяг критичних послуг, соціально-економічні втрати та територіальну нерівномірність цих наслідків.

З цієї причини передчасне зведення всіх параметрів до одного інтегрального показника може спрощувати реальні відмінності між сценаріями. Вища технічна надійність може супроводжуватися більшою вартістю послуг, структурна трансформація – новими залежностями, а швидке відновлення – значною початковою втратою функціональності. На першому етапі доцільніше порівнювати багатовимірні профілі сценарної резильєнтності, а інтегральне оцінювання застосовувати лише після аналізу окремих складових.

Практичне застосування запропонованого підходу особливо актуальне для України, де тривалі зовнішні загрози поєднуються з територіально нерівномірними інфраструктурними втратами, ресурсними обмеженнями та одночасною потребою у відновленні й модернізації. Водночас результати статті не дають підстав визначати найбільш імовірний сценарій для України або кількісно оцінювати наслідки кожної траєкторії. На цьому етапі сформовано методичну основу, яка потребує подальшої параметризації та емпіричної перевірки.

Основні обмеження дослідження випливають із його концептуально-методичного характеру. По-перше, запропоновані сценарії не моделювалися на фактичних даних України, тому не встановлено їх імовірності, кількісні параметри та прогнозу точність. По-друге, огляд наукової літератури ґрунтувався на публікаціях, відібраних із бази даних Scopus за визначеними тематичними напрямками. По-третє, домінанти інфраструктурних змін у цій статті приймалися як уже визначені вихідні елементи і повторно не ідентифікувалися. По-четверте, системні й територіальні взаємозалежності включено до методичної процедури, але їх кількісне моделювання та конкретні порогові значення переходу між сценарними станами не визначено.

Подальший етап дослідження має бути спрямований на практичну апробацію запропонованої процедури в Україні. Це передбачає кількісну параметризацію чотирьох базових траєкторій, територіальну деталізацію, використання однакових стресових умов для їх порівняння та оцінювання динаміки критичних послуг. Така перевірка дозволить визначити, які елементи методики є універсальними, а які потребують уточнення залежно від виду інфраструктури, території та характеру зовнішніх загроз.

Отже, запропонований підхід не заперечує наявні напрями сценарного планування та оцінювання інфраструктурної резильєнтності, а поєднує їх навколо спільного об'єкта – здатності інфраструктурних систем підтримувати критичні послуги за різних майбутніх умов. Його основна відмінність полягає у зв'язку між структурою сценарного середовища, взаємозалежністю інфраструктур, альтернативними траєкторіями та наслідками для резильєнтності якості життя населення.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження дозволило сформулювати методичні засади побудови альтернативних сценаріїв впливу домінант інфраструктурних змін на резильєнтність якості життя населення. Вихідною позицією є те, що наслідки інфраструктурної зміни не визначаються лише її напрямом, масштабом або технологічним змістом. Одна й та сама зміна за різних рівнів зовнішнього навантаження, накопичених вразливостей, ресурсного забезпечення, інституційної спроможності та міжсекторальних залежностей може мати різні наслідки. Тому сценарний аналіз має охоплювати не окрему домінанту саму по собі, а умови її реалізації, стан взаємозалежних інфраструктурних систем, їхню спроможність підтримувати критичні послуги та пов'язані з цим наслідки для умов життя населення.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у поєднанні в єдиній методичній логіці складових, які в наявних підходах переважно розглядаються окремо. Запропоновано функціональне структурування сценарного середовища з розмежуванням довгострокових тенденцій, керованих внутрішніх чинників, структурних вразливостей, критичних невизначеностей, зовнішніх шоків та ресурсно-інституційних обмежень. Розроблено десятиетапну процедуру, яка визначає послідовність переходу від формування сценарних умов до побудови альтернативних траєкторій та передбачає їх подальшу параметризацію, перевірку за стресових умов, оцінювання наслідків і обґрунтування диференційованих управлінських рішень. Обґрунтовано типологію інерційного, адаптаційного, трансформаційного та кризового сценаріїв, які розрізняються не за умовною шкалою «краще–гірше», а за характером функціонування системи та співвідношенням зовнішнього навантаження, внутрішньої вразливості й наявних спроможностей. Оцінювання сценаріїв запропоновано здійснювати не лише за станом інфраструктурних об'єктів, а насамперед за безперервністю, надійністю та доступністю критичних послуг, а також характером і темпами їх відновлення після порушень.

Принциповим є висновок про те, що трансформацію інфраструктури не слід автоматично ототожнювати з підвищенням резильєнтності. Децентралізація, цифровізація, технологічне оновлення або зміна архітектури мереж можуть зменшувати одні вразливості та водночас створювати нові залежності й ризики. Так само кризовий сценарій визначається не самим фактом високої інтенсивності зовнішньої загрози, а ситуацією, коли навантаження перевищує фактичну здатність системи його поглинати, локалізувати та компенсувати. Отже, інфраструктурні зміни доцільно оцінювати не як наперед «позитивні» чи «негативні», а за тим, наскільки вони дозволяють зберігати або відновлювати критичні послуги та підтримувати прийнятні умови життя населення за різних сценарних умов.

Практична цінність запропонованого підходу полягає у можливості використовувати сценарії як інструмент підготовки конкретних управлінських, інвестиційних та інфраструктурних рішень, а не лише як опис можливих станів майбутнього. З огляду на одержані результати доцільними є такі практичні рекомендації:

Центральним органам виконавчої влади, відповідальним за інфраструктурну політику, відновлення та цивільний захист, доцільно формувати узгоджені сценарні умови для ключових видів критичної інфраструктури та регулярно їх

переглядати. Для кожної траєкторії необхідно визначати мінімально прийнятний рівень критичних послуг, ключові вразливості, дефіцит спроможностей, ранні сигнали та порогові умови, за яких потрібне коригування політики. Інвестиційні й відновлювальні рішення варто перевіряти не за одним очікуваним прогнозом, а за кількома альтернативними сценаріями із застосуванням зіставних стресових умов.

Обласним, міським і місцевим органам влади доцільно конкретизувати загальнонаціональні сценарні умови з урахуванням рівня впливу загроз на відповідні території, фактичного стану мереж, критичних вузлів, резервних потужностей, наявних ресурсів і вразливих груп населення. Результатом мають бути не лише загальні плани реагування, а й заздалегідь визначені альтернативні способи енерго-, водо-, тепло-, транспортного, цифрового та іншого критичного забезпечення у разі порушення основних каналів надання послуг.

Операторам критичної інфраструктури варто включати сценарний аналіз до планування технічного обслуговування, модернізації та відновлення. Для цього необхідно підтримувати актуальну інформацію про критичні вузли й міжсекторальні залежності, оцінювати можливі каскадні наслідки їх відмови та передбачати альтернативні маршрути, постачальників, технології й способи надання послуг. Готовність системи до порушень доцільно оцінювати не лише за часом відновлення, а й за глибиною втрати функціональності, тривалістю перебоїв та обсягом критичних послуг, який система здатна підтримувати під час порушення.

Державним і приватним інвесторам, фінансовим установам та міжнародним партнерам, які фінансують відновлення й модернізацію інфраструктури, доцільно доповнювати традиційні критерії вартості й приросту потужності оцінюванням сценарної резильєнтності проектів. Під час відбору варто враховувати можливе скорочення тривалості перебоїв, уникнення втрати критичних послуг, вплив на рівень резервування та міжсекторальні залежності, доступність послуг для населення, а також ризик формування нових технологічних або постачальницьких залежностей. Особливої уваги потребує не лише обсяг доступного фінансування, а й можливість його оперативного залучення та використання в умовах порушення функціонування інфраструктури.

Органам влади, операторам інфраструктури та територіальним громадам доцільно пов'язувати моніторинг резильєнтності з ранніми сигналами можливого переходу системи до іншої сценарної траєкторії. До таких сигналів можуть належати стійке погіршення надійності критич-

них послуг, зростання частоти й тривалості перебоїв, скорочення резервів, посилення залежності від окремих вузлів або постачальників, погіршення територіальної чи цінової доступності послуг. Їх систематичне відстеження дасть змогу своєчасно коригувати інвестиційні, технічні та організаційні рішення до того, як накопичення вразливостей призведе до тривалого порушення критичних функцій.

Таким чином, практичне застосування запропонованих методичних засад має бути орієнтоване не на пошук одного найкращого сценарію, а на підготовку системи до кількох можливих траєкторій. Доцільним слід вважати рішення, яке не лише забезпечує прийнятний результат за сприятливих умов, а й дозволяє зберігати критично необхідний рівень послуг у разі посилення зовнішніх загроз, накопичення внутрішніх вразливостей або обмеження доступних ресурсів.

Подальші дослідження доцільно зосередити на кількісному сценарному моделюванні для України з територіальною параметризацією інерційної, адаптаційної, трансформаційної та кризової траєкторій і їх перевіркою за однакових зовнішніх стресових умов. Це дозволить встановити, як різні поєднання домінант інфраструктурних змін впливають на безперервність критичних послуг, глибину й тривалість порушень, темпи відновлення та територіальну нерівномірність наслідків для населення. Практичним результатом має стати визначення управлінських, інвестиційних та інфраструктурних рішень, які зберігають прийнятну результативність за різних зовнішніх умов, а також ранніх сигналів і порогових значень, що дають змогу своєчасно виявляти перехід системи до іншої сценарної траєкторії та, відповідно, коригувати управлінські рішення. ■

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Chermack T., Crawford M., Haigh N., Phadnis S., Ramírez R., Schoemaker P. Scenario Planning for Strategic Decision-Making, Learning, and Managing Uncertainty. *California Management Review*. 2026. Vol. 68. Iss. 3. P. 5–19. DOI: <https://doi.org/10.1177/00081256261432933>
2. Cappellano F., Matti C., Vidmar M. Building anticipatory capacity for transformative resilience: Lessons from UK and EU applying strategic foresight in grand societal challenge-oriented regional policy. *Technology in Society*. 2026. Vol. 88. Article 103453. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2026.103453>
3. Volkery A., Ribeiro T. Scenario planning in public policy: Understanding use, impacts and the role of institutional context factors. *Technological*

- Forecasting and Social Change*. 2009. Vol. 76. Iss. 9. P. 1198–1207.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.07.009>
4. Mikovits C., Rauch W., Kleidorfer M. Importance of scenario analysis in urban development for urban water infrastructure planning and management. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2018. Vol. 68. P. 9–16.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.09.006>
5. Sircar I., Sage D., Goodier C., Fussey P., Dainty A. Constructing Resilient Futures: Integrating UK Multi-Stakeholder Transport and Energy Resilience for 2050. *Futures*. 2013. Vol. 49. P. 49–63.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2013.04.003>
6. Scott C. A., Bailey C. J., Marra R. P., Woods G. J., Ormerod K. J., Lansey K. Scenario planning to address critical uncertainties for robust and resilient water-wastewater infrastructures under conditions of water scarcity and rapid development. *Water*. 2012. Vol. 4 (4). P. 848–868.
DOI: <https://doi.org/10.3390/w4040848>
7. Carneiro J., Loureiro D., Cabral M., Covas D. Integrating Uncertainty in Performance Assessment of Water Distribution Networks by Scenario Building. *Water*. 2024. Vol. 16 (7). Article 977.
DOI: <https://doi.org/10.3390/w16070977>
8. Landuyt D., Broekx S., Engelen G., Uljee I., Van der Meulen M., Goethals P. L. M. The importance of uncertainties in scenario analyses – A study on future ecosystem service delivery in Flanders. *Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 553. P. 504–518.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.098>
9. Caramuta C., Grosso A., Longo G. Mitigating uncertainty due to the Red Sea Crisis: A scenario development application to the Port of Trieste, Italy. *Case Studies on Transport Policy*. 2026. Vol. 23. Article 101703.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2025.101703>
10. Sun W., Bocchini P., Davison B. D. Overview of Interdependency Models of Critical Infrastructure for Resilience Assessment. *Natural Hazards Review*. 2022. Vol. 23. Iss. 1. Article 535.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000535](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000535)
11. Davis C. A. Understanding Functionality and Operability for Infrastructure System Resilience. *Natural Hazards Review*. 2021. Vol. 22. Iss. 1. Article 431.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000431](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000431)
12. Yang Y., Mou Y., Wang B. Resilient Preventive Dispatch Considering Load Priority and Interdependence of Critical Infrastructures. *IET Smart Grid*. 2025. Vol. 8. Iss. 1. Article e70012.
DOI: <https://doi.org/10.1049/stg2.70012>
13. Roach E. L., Al-Saidi M. Rethinking infrastructure rehabilitation: Conflict resilience of urban water and energy supply in the Middle East and South Sudan. *Energy Research & Social Science*. 2021. Vol. 76. Article 102052.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102052>
14. Clark S. S., Seager T. P., Chester M. V. A capabilities approach to the prioritization of critical infrastructure. *Environment Systems and Decisions*. 2018. Vol. 38. P. 339–352.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10669-018-9691-8>
15. Dhakal S., Zhang L. A Social Welfare-Based Infrastructure Resilience Assessment Framework: Toward Equitable Resilience for Infrastructure Development. *Natural Hazards Review*. 2023. Vol. 24. Iss. 1. Article 597.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000597](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000597)
16. Dharmadasa K., Kulatunga U., Eranga I. Significance of critical infrastructure development in post-disaster resettlement in Sri Lanka. *International Journal of Construction Management*. 2025. Vol. 25. Iss. 3. P. 312–321.
DOI: <https://doi.org/10.1080/15623599.2024.2320972>
17. Dutta M., Herreros-Cantis P., McPhearson T., Mustafa A., Palmer M. I., Tosca M., Ventrella J., Cook E. M. New York City 2100: Environmental justice implications of future scenarios for addressing extreme heat. *Landscape and Urban Planning*. 2025. Vol. 254. Article 105249.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105249>
18. Bañuls V. A., Turoff M. Scenario construction via Delphi and cross-impact analysis. *Technological Forecasting and Social Change*. 2011. Vol. 78. Iss. 9. P. 1579–1602.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.03.014>
19. Radeljak Kaufmann P. Integrating factor analysis and the Delphi method in scenario development: A case study of Dalmatia, Croatia. *Applied Geography*. 2016. Vol. 71. P. 56–68.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.04.007>
20. Abdoli S., Habib F., Babazadeh M. Making spatial development scenario for south of Bushehr province, Iran, based on strategic foresight. *Environment, Development and Sustainability*. 2018. Vol. 20. P. 1293–1309.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-017-9940-x>
21. Sunitiyoso Y., Wicaksono A., Pambudi N. F., Rahayu W. A., Nurdayat I. F., Hadiansyah F., Nuraeni S., Muhammad A. A. Future of mobility in Jakarta Metropolitan Area: A Multi-Stakeholder scenario planning. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. 2023. Vol. 19. Article 100810.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100810>
22. Alikaei S., Bakhtiar Nasrabadi A. Towards a Resilient Urban Future: Implementing Risk-Sensitive Physical Urban Planning in Tehran's Earthquake-Prone District 10 Based on Scenario Building Technique. *International Journal of Environmental Research*. 2025. Vol. 19. Article 236.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s41742-025-00873-w>

23. Infrastructure for a Climate-Resilient Future. Paris : OECD Publishing, 2024. 180 p.
DOI: <https://doi.org/10.1787/a74a45b0-en>
24. Principles for Resilient Infrastructure. Geneva : United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), 2022. 72 p. URL: <https://www.undrr.org/publication/principles-resilient-infrastructure>
25. Hallegatte S., Rentschler J., Rozenberg J. Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity. Sustainable Infrastructure Series. Washington, DC : World Bank, 2019. 224 p.
DOI: <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1430-3>
26. Van der Brugge R., de Winter R. C. Delta Scenarios 2024: outlook on water in the Netherlands – main report. Delft : Deltares, 2024. Report No. 11209219-000-ZKS-0004. 94 p. URL: <https://www.deltares.nl/en/news/delta-scenarios-2024>
27. Cabinet Office. National Risk Register 2026. London : HM Government, 2026. 223 p. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/national-risk-register-2026>
28. Cabinet Office. Government Response to the National Infrastructure Commission Report “Anticipate, React, Recover : Resilient Infrastructure Systems”. London: HM Government, 2021. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/government-response-to-the-national-infrastructure-commission-report-anticipate-react-recover-resilient-infrastructure-systems>
29. Vesnic-Alujevic L., Muench S., Stoermer E. Reference Foresight Scenarios of the Global Standing of the European Union in 2040. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2023. 64 p.
DOI: <https://doi.org/10.2760/490501>
30. Tasoulas V., Skiadaresis G., De Maleville A., Favino R., Redecker C., Sangiorgi M., Sfalagkiaris C. E., Puie M., Montalti E., Tripeni M., Galarotis I. Strengthening European Union's Future Disaster Resilience: A Strategic Foresight Study Identifying Priority Capabilities and Emerging Technologies towards 2040. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2026. 180 p.
DOI: <https://doi.org/10.2760/8720215>
31. Compendium of Good Practices on Quality Infrastructure 2024: Building Resilience to Natural Disasters. Paris : OECD Publishing, 2024. 100 p.
DOI: <https://doi.org/10.1787/54d26e88-en>
32. Adapting Infrastructure to Changing Climatic Conditions: The Case of the Philippines. OECD Environment Policy Papers. Paris : OECD Publishing, 2024. 59 p.
DOI: <https://doi.org/10.1787/a4c3f35a-en>
33. EU-NATO Task Force on the Resilience of Critical Infrastructure. Final Assessment Report. Brussels : NATO, 2023. 10 p. URL: https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_216631.htm
34. Dean S., Quin C. NSW Critical Infrastructure Resilience Strategy Guide: A Focus on Outcome Strategy 3: Improved Community Resilience. Sydney : Resilience NSW, 2021. 33 p. URL: <https://data.nsw.gov.au/data/dataset/3-19286-nsw-critical-infrastructure-resilience-strategy-guide>
35. Henry D., Ramirez-Marquez J. E. Generic metrics and quantitative approaches for system resilience as a function of time. *Reliability Engineering & System Safety*. 2012. Vol. 99. P. 114–122.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.res.2011.09.002>
36. Pant R., Barker K., Zobel C. W. Static and dynamic metrics of economic resilience for interdependent infrastructure and industry sectors. *Reliability Engineering & System Safety*. 2014. Vol. 125. P. 92–102.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.res.2013.09.007>
37. Кизим М. О., Хаустова В. Є., Решетняк О. І., Попович М. В., Юденко Є. В. Поняття «резильєнтність якості життя населення»: сутнісне наповнення та складові. *Проблеми економіки*. 2025. № 3. С. 235–254.
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2025-3-235-254>
38. Кизим М. О., Хаустова В. Є., Решетняк О. І., Трушкіна Н. В. Вплив структурних інфраструктурних змін на забезпечення резильєнтності якості життя населення: теоретичні аспекти. *Ефективна економіка*. 2025. № 12.
DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.12.12>
39. Хаустова В. Є., Трушкіна Н. В. Методичний підхід до визначення домінант інфраструктурних змін у забезпеченні резильєнтності якості життя населення України. *Вісник Східноєвропейського університету економіки і менеджменту*. 2025. № 2 (34). С. 198–220.
DOI: [https://doi.org/10.58253/2078-1628-2025-2\(34\)-014](https://doi.org/10.58253/2078-1628-2025-2(34)-014)
40. Хаустова В. Є., Кизим М. О., Решетняк О. І., Трушкіна Н. В. Концептуальні засади визначення домінант інфраструктурних змін у забезпеченні резильєнтності якості життя населення. *Агросвіт*. 2026. № 10. С. 86–96.
DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2026.10.86>

REFERENCES

- Abdoli S., Habib F. & Babazadeh M. (2018). Making spatial development scenario for south of Bushehr province, Iran, based on strategic foresight. *Environment, Development and Sustainability*, 20, 1293–1309. <https://doi.org/10.1007/s10668-017-9940-x>
- Alikaei S. & Bakhtiar Nasrabadi A. (2025). Towards a Resilient Urban Future: Implementing Risk-Sensitive Physical Urban Planning in Tehran's Earthquake-Prone District 10 Based on Scenario Building Technique. *International Journal of Environmental Research*, 19, Article 236. <https://doi.org/10.1007/s41742-025-00873-w>
- Bañuls V. A. & Turoff M. (2011). Scenario construction via Delphi and cross-impact analysis. *Technological*

- Forecasting and Social Change*, 9(78), 1579–1602. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.03.014>
- Cabinet Office. (2026). National Risk Register 2026. *London: HM Government*. <https://www.gov.uk/government/publications/national-risk-register-2026>
- Cabinet Office. (2021). Government Response to the National Infrastructure Commission Report “Anticipate, React, Recover: Resilient Infrastructure Systems”. *London: HM Government*. <https://www.gov.uk/government/publications/government-response-to-the-national-infrastructure-commission-report-anticipate-react-recover-resilient-infrastructure-systems>
- Cappellano F., Matti C. & Vidmar M. (2026). Building anticipatory capacity for transformative resilience: Lessons from UK and EU applying strategic foresight in grand societal challenge-oriented regional policy. *Technology in Society*, 88, Article 103453. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2026.103453>
- Caramuta C., Grosso A. & Longo G. (2026). Mitigating uncertainty due to the Red Sea Crisis: A scenario development application to the Port of Trieste, Italy. *Case Studies on Transport Policy*, 23, Article 101703. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2025.101703>
- Carneiro J., Loureiro D., Cabral M. & Covas D. (2024). Integrating Uncertainty in Performance Assessment of Water Distribution Networks by Scenario Building. *Water*, 7(16), Article 977. <https://doi.org/10.3390/w16070977>
- Chermack T., Crawford M., Haigh N., Phadnis S., Ramírez R. & Schoemaker P. (2026). Scenario Planning for Strategic Decision-Making, Learning, and Managing Uncertainty. *California Management Review*, 3(68), 5–19. <https://doi.org/10.1177/00081256261432933>
- Clark S. S., Seager T. P. & Chester M. V. (2018). A capabilities approach to the prioritization of critical infrastructure. *Environment Systems and Decisions*, 38, 339–352. <https://doi.org/10.1007/s10669-018-9691-8>
- Davis C. A. (2021). Understanding Functionality and Operability for Infrastructure System Resilience. *Natural Hazards Review*, 1(22), Article 431. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000431](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000431)
- Dean S. & Quin C. (2021). NSW Critical Infrastructure Resilience Strategy Guide: A Focus on Outcome Strategy 3: Improved Community Resilience. *Sydney: Resilience NSW*. <https://data.nsw.gov.au/data/dataset/3-19286-nsw-critical-infrastructure-resilience-strategy-guide>
- Dhakal S. & Zhang L. (2023). A Social Welfare-Based Infrastructure Resilience Assessment Framework: Toward Equitable Resilience for Infrastructure Development. *Natural Hazards Review*, 1(24), Article 597. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000597](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000597)
- Dharmadasa K., Kulatunga U. & Eranga I. (2025). Significance of critical infrastructure development in post-disaster resettlement in Sri Lanka. *International Journal of Construction Management*, 3(25), 312–321. <https://doi.org/10.1080/15623599.2024.2320972>
- Dutta M., Herreros-Cantis P., McPhearson T., Mustafa A., Palmer M. I., Tosca M., Ventrella J. & Cook E. M. (2025). New York City 2100: Environmental justice implications of future scenarios for addressing extreme heat. *Landscape and Urban Planning*, 254, Article 105249. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105249>
- EU–NATO Task Force on the Resilience of Critical Infrastructure. (2023). Final Assessment Report. *Brussels: NATO*. https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_216631.htm
- Hallegatte S., Rentschler J. & Rozenberg J. (2019). *Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity*. Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1430-3>
- Henry D. & Ramirez-Marquez J. E. (2012). Generic metrics and quantitative approaches for system resilience as a function of time. *Reliability Engineering & System Safety*, 99, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.res.2011.09.002>
- Khaustova V. Ye. & Trushkina N. V. (2025). Metodichnyi pidkhd do vyznachennia dominant infrastrukturykh zmin u zabezpechenni rezyliientnosti yakosti zhyttia naseleennia Ukrainy [Methodological approach to determining the dominants of infrastructure changes in ensuring the resilience of the quality of life of the population of Ukraine]. *Visnyk Skhidnoievropeiskoho universytetu ekonomiky i menedzhmentu*, 2 (34), 198–220. [https://doi.org/10.58253/2078-1628-2025-2\(34\)-014](https://doi.org/10.58253/2078-1628-2025-2(34)-014)
- Khaustova V. Ye., Kyzym M. O., Reshetniak O. I. & Trushkina N. V. (2026). Kontseptualni zasady vyznachennia dominant infrastrukturykh zmin u zabezpechenni rezyliientnosti yakosti zhyttia naseleennia [Conceptual foundations for determining the dominants of infrastructure changes in ensuring the resilience of the quality of life of the population]. *Ahrosvit*, 10, 86–96. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2026.10.86>
- Kyzym M. O., Khaustova V. Ye., Reshetniak O. I. & Trushkina N. V. (2025). Vplyv strukturnykh infrastrukturykh zmin na zabezpechenni rezyliientnosti yakosti zhyttia naseleennia: teoretychni aspekty [Impact of structural infrastructure changes on ensuring the resilience of the population’s quality of life: theoretical aspects]. *Efektivna ekonomika*, 12. <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.12.12>
- Kyzym M. O., Khaustova V. Ye., Reshetniak O. I., Popovych M. V. & Yudenko Ye. V. (2025). Poniattia «rezyliientnist yakosti zhyttia naseleennia»: sutnisne napovnenia ta skladovi [The concept of “resilience of the population’s quality of life”: essential content and components]. *Problemy ekonomiky*, 3, 235–254. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2025-3-235-254>
- Landuyt D., Broekx S., Engelen G., Uljee I., Van der Meulen M. & Goethals P. L. M. (2016). The importance of uncertainties in scenario analyses – A study on fu-

- ture ecosystem service delivery in Flanders. *Science of the Total Environment*, 553, 504–518. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.098>
- Mikovits C., Rauch W. & Kleidorfer M. (2018). Importance of scenario analysis in urban development for urban water infrastructure planning and management. *Computers, Environment and Urban Systems*, 68, 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.09.006>
- OECD Publishing (2024). *Compendium of Good Practices on Quality Infrastructure 2024: Building Resilience to Natural Disasters*. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/54d26e88-en>
- OECD Publishing. (2024). *Adapting Infrastructure to Changing Climatic Conditions: The Case of the Philippines*. <https://doi.org/10.1787/a4c3f35a-en>
- OECD Publishing (2024). *Infrastructure for a Climate-Resilient Future*. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/a74a45b0-en>
- Pant R., Barker K. & Zobel C. W. (2014). Static and dynamic metrics of economic resilience for interdependent infrastructure and industry sectors. *Reliability Engineering & System Safety*, 125, 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2013.09.007>
- Radeljka Kaufmann P. (2016). Integrating factor analysis and the Delphi method in scenario development: A case study of Dalmatia, Croatia. *Applied Geography*, 71, 56–68. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.04.007>
- Roach E. L. & Al-Saidi M. (2021). Rethinking infrastructure rehabilitation: Conflict resilience of urban water and energy supply in the Middle East and South Sudan. *Energy Research & Social Science*, 76, Article 102052. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102052>
- Scott C. A., Bailey C. J., Marra R. P., Woods G. J., Ormerod K. J. & Lansey K. (2012). Scenario planning to address critical uncertainties for robust and resilient water-wastewater infrastructures under conditions of water scarcity and rapid development. *Water*, 4(4), 848–868. <https://doi.org/10.3390/w4040848>
- Sircar I., Sage D., Goodier C., Fussey P. & Dainty A. (2013). Constructing Resilient Futures: Integrating UK Multi-Stakeholder Transport and Energy Resilience for 2050. *Futures*, 49, 49–63. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2013.04.003>
- Sun W., Bocchini P. & Davison B. D. (2022). Overview of Interdependency Models of Critical Infrastructure for Resilience Assessment. *Natural Hazards Review*, 1(23), Article 535. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000535](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000535)
- Sunitiyoso Y., Wicaksono A., Pambudi N. F., Rahayu W. A., Nurdayat I. F., Hadiansyah F., Nuraeni S. & Muhammad A. A. (2023). Future of mobility in Jakarta Metropolitan Area: A Multi-Stakeholder scenario planning. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 19, Article 100810. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100810>
- Tasoulas V., Skiadaresis G., De Maleville A., Favino R., Redecker C., Sangiorgi M., Sfalagkiaris C. E., Puie M., Montalti E., Tripeni M. & Galariotis I. (2026). *Strengthening European Union's Future Disaster Resilience: A Strategic Foresight Study Identifying Priority Capabilities and Emerging Technologies towards 2040*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/8720215>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UN-DRR). (2022). *Principles for Resilient Infrastructure*. <https://www.undrr.org/publication/principles-resilient-infrastructure>
- Van der Brugge R. & de Winter R. C. (2024). *Delta Scenarios 2024: outlook on water in the Netherlands – main report*. Delft: Deltares. <https://www.deltares.nl/en/news/delta-scenarios-2024>
- Vesnic-Alujevic L., Muench S. & Stoermer E. (2023). *Reference Foresight Scenarios of the Global Standing of the European Union in 2040*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/490501>
- Volkery A. & Ribeiro T. (2009). Scenario planning in public policy: Understanding use, impacts and the role of institutional context factors. *Technological Forecasting and Social Change*, 9(76), 1198–1207. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.07.009>
- Yang Y., Mou Y. & Wang B. (2025). Resilient Preventive Dispatch Considering Load Priority and Interdependence of Critical Infrastructures. *IET Smart Grid*, 1(8), Article e70012. <https://doi.org/10.1049/stg2.70012>

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.
Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.
Під час підготовки статті інструменти ШІ не використовувалися.

Стаття надійшла до редакції / Received: 25.07.2026
Статтю прийнято до публікації / Accepted: 15.08.2026
Оприлюднено / Published: 08.10.2026