

УДК 542.97

ІВАНЮТА С. П., ПАНОВ Є. М., ІВАНЕНКО О. І., ГАПОН С. В.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОЦІНКА РИЗИКІВ КРИТИЧНІЙ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ В УМОВАХ РОСІЙСЬКОЇ ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ

Вступ. Руйнування інфраструктури населених пунктів відбувається з перших днів вторгнення рф в Україну як внаслідок безпосередніх бойових дій, так і внаслідок цілеспрямованих ракетних і артилерійських ударів по критичній інфраструктурі та об'єктам життєзабезпечення. Відповідно до Національного плану захисту та забезпечення безпеки та стійкості критичної інфраструктури необхідно проводити оцінку загроз та ризиків критичній інфраструктурі у відповідних сферах та оцінку загроз національній безпеці внаслідок реалізації загроз критичній інфраструктурі.

Матеріали та методи. Оцінка ризику втрат інфраструктури від ракетних і артилерійських обстрілів проводилася на основі обчислення ймовірності виникнення відповідних небезпечних ситуацій та ймовірності втрат від них для різних типів інфраструктури за моделлю. Ризик у роботі кількісно визначався як добуток ймовірності виникнення загрози артилерійських і ракетних обстрілів, експозиції та відповідного впливу на неї у вигляді економічних втрат. Ураховуючи отримані результати оцінки ймовірності ракетних і артилерійських обстрілів і втрат різних типів інфраструктури від них, було побудовано матрицю ризику відповідно до моделі, що використовується в ЄС.

Результати та обговорення. Результати оцінки показують, що практично для всіх регіонів держави існує ризик ураження інфраструктури російськими обстрілами. При цьому найвищий рівень ризику втрат інфраструктури від ракетних і артилерійських обстрілів у регіонах України відмічається у Харківській і Донецькій областях. Високий рівень ризику характерний для Запорізької, Луганської, Херсонської, Чернігівської, Миколаївської областей. Середній рівень ризику втрат інфраструктури від ракетних і артилерійських обстрілів відмічається для Київської, Дніпропетровської, Сумської, Одеської, Житомирської областей. Низький рівень ризику більшою мірою відноситься до Черкаської, Полтавської, Вінницької, Львівської, Івано-Франківської, Хмельницької областей. Оцінка ризику втрат інфраструктури за категоріями проводиться згідно з даними Київської школи економіки щодо формування прямих втрат для різних типів об'єктів інфраструктури, відтак будується матриця ризику. При цьому за статистичними даними обчислюється ймовірність виникнення небезпечних подій та ймовірність економічних втрат від них і на цій основі формується відповідна залежність, що й було зроблено для вирішення мети цієї публікації. Результати оцінки свідчать про найбільші значення ймовірності обстрілів для об'єктів критичної інфраструктури (37 %), житлових будівель (25 %) та закладів освіти (8 %). Значно нижчу ймовірність ураження мають об'єкти енергетики (6 %), АПК та промислові підприємства, що складає також 6 %. Оцінюючи ймовірність втрат об'єктів інфраструктури від обстрілів аналогічним чином, було отримано розподіл ймовірності за різними типами інфраструктури. Результати оцінки свідчать про те, що найбільша ймовірність втрат інфраструктури в умовах України характерна для житлових будівель, об'єктів інфраструктури, енергетики, АПК. Разом з тим, найбільшою ймовірністю обстрілів характеризуються житлові будівлі, об'єкти інфраструктури, активи підприємств, промисловість. Ураховуючи отримані результати оцінки ймовірності ракетних і артилерійських обстрілів і втрат різних типів інфраструктури від них, далі побудовано матрицю ризику відповідно до моделі, що використовується в ЄС. Аналіз отриманих результатів показує, що високий ризик прямих втрат характерний для житлових будівель та об'єктів критичної інфраструктури. Підвищений рівень ризику мають активи підприємств, промисловість, АПК, освіти та енергетики. Середній рівень ризику мають об'єкти лісового фонду, торгівлі, ЖКГ, культури, туризму, спорту, охорона здоров'я, а також транспорту. Інші типи об'єктів інфраструктури, що розглядаються в цьому дослідженні, у т. ч. адміністративні будівлі, об'єкти цифрової інфраструктури, соціальної сфери, фінансового сектору характеризуються низьким рівнем ризику.

Висновки. Отримані результати щодо обґрунтованої оцінки ризиків і збитків об'єктам інфраструктури України від російської військової агресії є важливою передумовою для розробки обґрунтованих заходів із запобігання загроз та притягнення агресора до відповідальності для подальшого відшкодування збитків.

Ключові слова: ризик, об'єкт інфраструктури, втрати, ймовірність, військові дії, регіони

DOI: 10.20535/2617-9741.2.2024.307360

* Corresponding author: ivanyuta.sergiy@gmail.com
Received 17 April 2024; Accepted 22 May 2024

Постановка проблеми. Російська військова агресія проти України, окрім масштабних руйнувань об'єктів житлової та критичної інфраструктури, порушення нормальної роботи величезної кількості підприємств, призвела до безпрецедентного погіршення якості життєво важливих ресурсів та катастрофічного екологічного дисбалансу в навколишньому природному середовищі країни.

В різних регіонах України відбувається загострення проблем поводження з відходами, небезпечними хімічними речовинами та природо-господарськими об'єктами, що призводить до надмірного забруднення ґрунтів, водних ресурсів, порушення ландшафтів, природоохоронних об'єктів та територій.

Усе це разом із створенням значних ускладнень у роботі об'єктів атомної енергетики України (насамперед, Чорнобильської та Запорізької АЕС), пошкодження та порушення роботи об'єктів критичної енергетичної інфраструктури, призводить до зростання загроз екологічній безпеці, в тому числі транскордонного характеру.

Відповідно до Закону України «Про критичну інфраструктуру» державна політика у сфері захисту критичної інфраструктури ґрунтується на засадах створення умов та впровадження заходів, спрямованих на ефективне зниження і контроль за ризиками безпеки, на зниження ризику реалізації можливих загроз, ліквідацію та/або мінімізацію наслідків реалізованих загроз, кризових ситуацій та інших їх видів [1].

До завдань формування і реалізації державної політики у сфері захисту критичної інфраструктури належить в тому числі розроблення комплексу заходів з контролю за ризиками безпеки, виявлення, запобігання та ліквідації наслідків інцидентів безпеки на об'єктах критичної інфраструктури.

Руйнування житлової та комунальної інфраструктури населених пунктів відбувається з перших днів вторгнення РФ в Україну як внаслідок безпосередніх бойових дій, так і внаслідок цілеспрямованих ракетних і артилерійських ударів по критичній інфраструктурі та об'єктам життєзабезпечення для терору мирного населення.

Внаслідок обстрілів та активних бойових дій окремі міста були зруйновані більше ніж на 80%. За орієнтовними оцінками, сума збитків внаслідок виведення із ладу інфраструктурних об'єктів оцінювалася щонайменше у 110 млрд дол. Окрім житла, обсяг пошкоджень та руйнувань якого оцінюється у понад 50 млн квадратних метрів, у переліку пошкоджених, зруйнованих або захоплених об'єктів перебувають також заклади освіти та охорони здоров'я, підприємства житлово-комунального господарства, адміністративні будівлі, мости та переходи, транспортна інфраструктура.

Відповідно до Стратегічної цілі 3. Запровадження управління ризиками критичної інфраструктури Національного плану захисту та забезпечення безпеки та стійкості критичної інфраструктури необхідно проводити оцінку загроз та ризиків критичній інфраструктурі у відповідних сферах та оцінку загроз національній безпеці внаслідок реалізації загроз критичній інфраструктурі [2].

В цілому враховуючи системні дослідження сучасного стану екологічної безпеки держави, можна дійти висновку про необхідність уточнення підходів до зниження ризику від природних, техногенних і військових загроз як необхідної умови зміцнення потенціалу держави для більш ефективного захисту населення, об'єктів інфраструктури та довкілля.

Концепція зниження ризику широко використовується в світі шляхом запровадження систематичних зусиль з аналізу та управління важливими факторами катастроф, у тому числі за рахунок зниження схильності до впливу таких факторів, зменшення уразливості населення, господарських об'єктів і довкілля, поліпшення рівня готовності до несприятливих подій.

Беручи до уваги складні соціально-економічні умови, в яких перебуває Україна, для підвищення рівня екологічної безпеки держави необхідно запроваджувати сучасні світові підходи щодо зниження ризику і на цій основі ухвалювати обґрунтовані рішення щодо запобігання і мінімізації негативних наслідків надзвичайних ситуацій і стихійних лих. Робота присвячена розробці методів і програмно-технічних засобів, спрямованих на вирішення завдань оцінки загроз і ризиків екологічній безпеці регіонів держави.

Аналіз попередніх досліджень. Дослідження основних тенденцій і характеру змін загроз різного походження в тому числі військових у світі переконує в тому, що нині відбувається зростання ризику їх виникнення [3]. Актуальні програми і звіти ООН та Світового банку щодо наслідків військових дій для об'єктів інфраструктури в Україні демонструють суттєве зростання економічних збитків від них [4,5]. Проаналізовано основні підходи щодо оцінки ризику від загроз різного походження відносно об'єктів інфраструктури, що застосовуються в Україні [6,7] і світі [8,9].

В роботі [10] подано аналіз проблем енергетичної незалежності країн Європи з огляду на вплив повномасштабного воєнного вторгнення Росії в Україну.

Проведений аналіз засвідчив значне зростання загроз і зниження рівня безпеки численних об'єктів критичної інфраструктури в Україні внаслідок артилерійських і ракетних обстрілів російських військ, що призводять до руйнування та перебоїв функціонування об'єктів інфраструктури різних типів [11,12].

Спричинені військовими діями руйнування та пошкодження багатьох об'єктів критичної інфраструктури, до яких можна віднести водоочисні споруди, хімічні заводи і сільськогосподарські підприємства, становлять серйозну загрозу для населення та довкілля.

Дослідження у сфері запобігання і протидії загрозам різного генезису свідчать про те, що державна система захисту населення від НС природного та техногенного характеру потребує запровадження ризик-орієнтованого підходу для ефективного попередження та зниження ризику катастроф різного походження для об'єктів інфраструктури [13–16].

Треба також ураховувати, що негативний характер змін екологічних і техногенних загроз, що відбувається через російську військову агресію і призводить в тому числі до забруднення басейнів річок і підземних вод, руйнування ландшафтів та об'єктів природно-заповідного фонду, значно знижує рівень безпеки життєдіяльності населення в зоні активних військових дій на території України.

За даними проекту «Росія заплатить», загальна сума прямої шкоди від пошкоджень та руйнувань житлового фонду та інфраструктури тільки за шість місяців повномасштабної війни складала 108,3 млрд дол. або 2,9 трлн гривень. За цей час було завдано прямої шкоди щонайменше 129,9 тис. житловим будівлям на загальну суму 47,7 млрд дол. При цьому 38 % будівель зруйновано без можливості відновлення. Масштаби завданої шкоди житловому фонду розподіляються за областями нерівномірно: на Донецьку, Луганську, Харківську та Київську області припадає понад 82 % від загального обсягу пошкоджень житлового фонду в Україні. Сфера інфраструктури за цей час зазнала збитків на суму 31,6 млрд дол. Зруйновано 2217 освітніх заклади, 903 медичні установи, 89 закладів соціальної сфери.

Така ситуація разом із підвищенням уразливості населення у результаті військових дій, що відбуваються в умовах поширення процесів погіршення стану довкілля, глобальних змін клімату може призвести до зростання ризиків для безпеки критичної інфраструктури, що становитимуть усе більшу загрозу для економіки, населення та збалансованого розвитку.

Метою дослідження є аналіз регіональних особливостей втрат об'єктів інфраструктури від російської військової агресії проти України, проведення оцінки ризиків збитків інфраструктури від артилерійських та ракетних обстрілів на рівні адміністративних областей України, адаптація наявних даних і проведення оцінки ризику прямих втрат інфраструктури від артилерійських і ракетних обстрілів протягом року війни для різних типів об'єктів інфраструктури.

Періодичне проведення оцінки ризиків і загроз критичній інфраструктурі держави в рамках запровадження управління ризиками критичної інфраструктури обумовлене необхідністю підвищення рівня їх захисту від загроз природного і техногенного походження в умовах війни, що регламентується наявною законодавчою базою.

Виклад основного матеріалу

Критична інфраструктура у статті розглядається як актив, об'єкт, обладнання, мережа чи система або частина активу, об'єкта, обладнання, мережі чи системи, необхідних для надання надзвичайно важливих послуг [17].

Об'єкти критичної інфраструктури включають системи, їх частини та їх сукупність, що є важливими для економіки, національної безпеки та оборони, порушення функціонування яких може завдати шкоди життєво важливим національним інтересам.

Надзвичайно важлива послуга означає послугу, що має вирішальне значення для підтримки життєво важливих суспільних функцій, економічної діяльності, громадського здоров'я та безпеки або навколишнього середовища [17].

Ризик розглядається в статті як потенційна можливість втрати або порушення, викликаного інцидентом, що може бути виражена як комбінація величини такої втрати або порушення та ймовірності виникнення інциденту.

Інцидент розглядається як подія, що має потенціал суттєво порушити або порушує надання надзвичайно важливих послуг, у тому числі коли це впливає на національні системи, що захищають верховенство права. Очевидно, що в умовах війни в якості інцидентів розглядаються ракетні та артилерійські обстріли російських військ, що завдають найбільш значних втрат об'єктам інфраструктури.

Оцінка ризику в роботі розглядається як загальний процес визначення характеру та масштабу ризику шляхом ідентифікації та аналізу потенційних відповідних загроз, вразливостей і небезпек, що можуть призвести до інциденту, а також шляхом оцінки потенційної втрати або збою в наданні надзвичайно важливої послуги, викликаной цим інцидентом.

У ЄС критично важливі суб'єкти як постачальники основних послуг відіграють незамінну роль у підтримці життєво важливих суспільних функцій або економічної діяльності на внутрішньому ринку в умовах дедалі більшої взаємозалежності економіки нашої держави та економіки Європейського Союзу. Тому важливо встановити певні рамки з метою як підвищення стійкості критично важливих суб'єктів внутрішнього ринку шляхом встановлення узгоджених мінімальних правил, так і надання їм допомоги за допомогою узгоджених і цілеспрямованих заходів підтримки та нагляду.

В сучасних умовах формується підвищений фізичний ризик через військову агресію росії, стихійні лиха та зміну клімату, що посилює частоту та масштаб екстремальних погодних явищ і призводить до довгострокових змін у середніх кліматичних умовах, які можуть зменшити пропускну спроможність, ефективність та ефективність певних типів інфраструктури, якщо не вжиті адекватні запобіжні заходи. Крім того, в сучасних умовах існує певна невизначеність відносно ідентифікації об'єктів критичної інфраструктури, оскільки відповідні сектори та категорії суб'єктів не визнаються послідовно критичними в усіх державах-членах ЄС.

Дії держав-членів ЄС щодо виявлення та сприяння забезпеченню стійкості критично важливих суб'єктів повинні виходити з підходу, що ґрунтується на оцінці ризику, який зосереджується на суб'єктах, найбільш відповідних для виконання життєво важливих суспільних функцій або економічної діяльності [16]. Щоб забезпечити такий цілеспрямований підхід, кожна держава-член повинна здійснити, в узгоджених рамках, оцінку відповідних природних і антропогенних ризиків, у тому числі міжгалузевих або транскордонних, що можуть вплинути на надання основних послуг, включаючи аварії, стихійні лиха, надзвичайні ситуації у сфері охорони здоров'я, такі як пандемії та гібридні загрози, або інші антагоністичні загрози, включаючи терористичні злочини, кримінальне проникнення та саботаж.

Здійснюючи таку оцінку ризиків, держави-члени ЄС повинні брати до уваги інші загальні або специфічні для секторів оцінки ризиків, проведені відповідно до інших правових актів ЄС, і повинні враховувати ступінь залежності секторів один від одного, в тому числі від секторів в інших державах-членах і третіх країнах. Результати оцінки ризиків держав-членів ЄС повинні використовуватися з метою ідентифікації критичних суб'єктів та надання допомоги цим суб'єктам у виконанні їхніх вимог щодо стійкості. Треба враховувати, що експертиза та знання, отримані шляхом оцінки ризиків, і Комісією, зокрема через різні форми підтримки та співпраці, можуть бути використані, де це доцільно та відповідно до застосовних правових інструментів, на користь третіх країн, зокрема тих, що знаходяться безпосередньо поруч із ЄС, шляхом включення в існуючу співпрацю з питань стійкості [16].

За рік з початку повномасштабного російського військового вторгнення загальна сума прямих задокументованих збитків житловій та нежитловій нерухомості, іншій інфраструктурі склала понад \$143,8 млрд за вартістю заміщення.

Від початку повномасштабного вторгнення, від 24 лютого 2022 року, Росія випустила майже 5 тисяч ракет по території України. Загалом від початку повномасштабної збройної агресії російськими окупаційними військами по об'єктах на території України завдано майже 5 тисяч ракетних і майже 3,5 тисячі авіаційних ударів. Окрім цього, окупанти завдали майже 1,1 тис. ударів із застосуванням безпілотників.

У перші тижні війни, наприкінці лютого - початку березня, бойові дії велися на території 10 областей. Станом на теперішній час року бойові дії тривають в Харківській, Луганській, Донецькій, Херсонській та Запорізькій областях. Найбільш постраждалими щодо прямих втрат інфраструктури є адміністративні області України, в яких безпосередньо велись бойові дії: Донецька, Харківська, Луганська, Миколаївська, Запорізька, Київська та Чернігівська області (рис. 1).

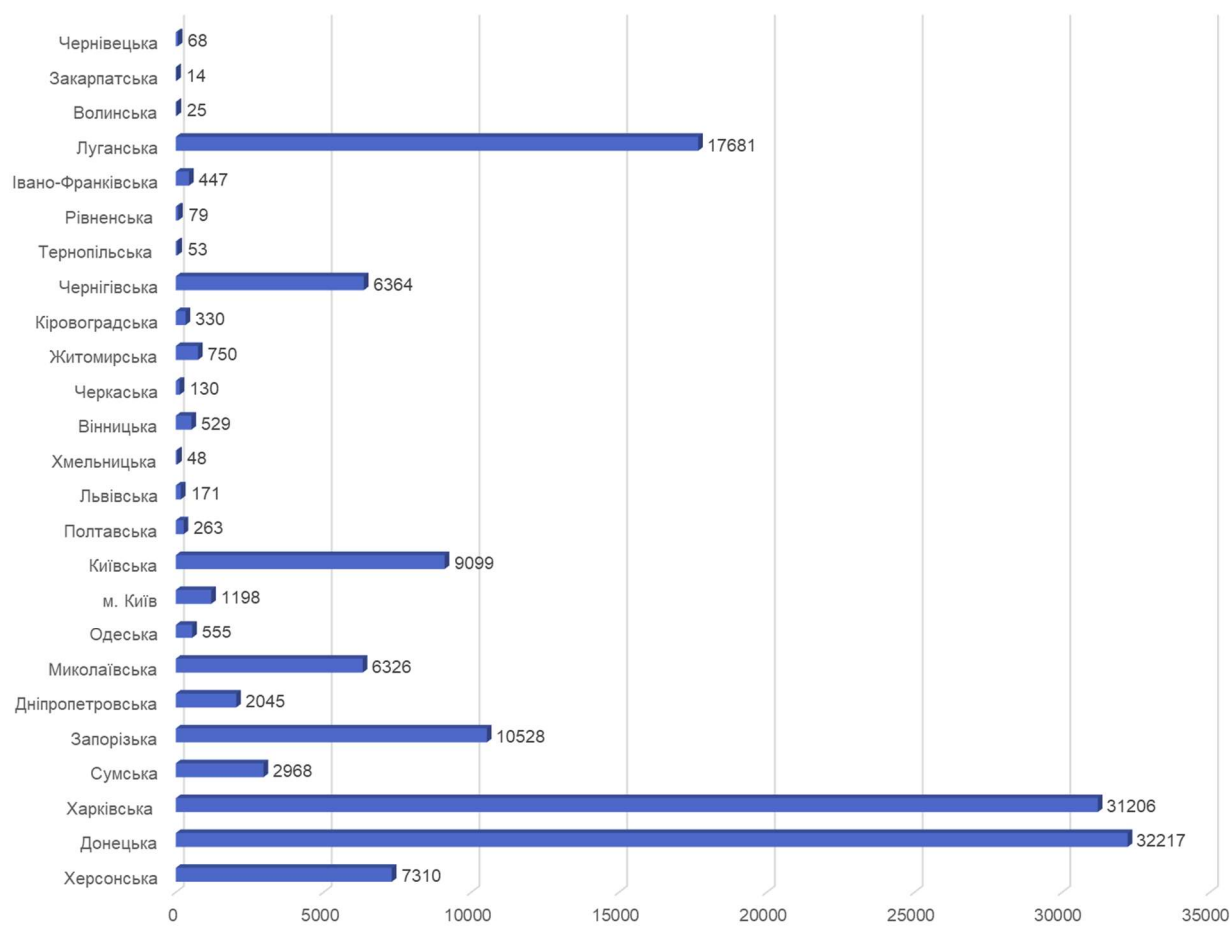


Рис. 1 – Прямі втрати інфраструктури України з лютого 2022 р. по березень 2023 р. , \$млн [12]

Серед міст, що постраждали під час війни найбільше, можна виділити такі як Мар'їнка, Маріуполь, Ірпінь, Харків, Чернігів, Северодонецьк, Лисичанськ, Вугледар, Суми, Рубіжне, Ізюм, Миколаїв, Бахмут, Волноваха.

Продовження агресії Російської Федерації впродовж 2022 року та на початку 2023 призвело до зростання суми збитків, що були завдані як ракетними ударами по інфраструктурі країни, особливо енергетичній сфері, так і обстрілами міст та селищ, активними бойовими діями на півдні та сході України. Регулярний моніторинг завданих втрат за вересень 2022 року – лютий 2023 року, що ведеться цивільно-військовими адміністраціями та міністерствами, дозволяє проводити регулярну оцінку чинного стану збитків від російської агресії. За майже пів року з 1 вересня 2023 року Україна додатково понесла понад \$18,4 млрд збитків своїм активам.

Аналіз даних щодо прямих втрат за типами інфраструктури показує, що найбільше зростання пов'язане зі збільшенням збитків житлового фонду. Так, за останні три місяці ця сума у лютому 2023 р. зросла до \$53,6 млрд (табл. 1).

При цьому треба відмітити, що до трійки найбільш постраждалих сфер, окрім руйнувань житлового сектору, належать сфера інфраструктури із сумою збитків у \$36,2 млрд та промисловість й пошкоджені підприємства - на \$11,3 млрд. Ще на \$8,9 млрд росія зруйнувала та пошкодила освітніх закладів, в яких навчалися українці та учні та студенти з інших країн. У \$8,7 млрд оцінюються збитки, завдані земельним ресурсам та АПК за період активної фази збройної агресії з 24 лютого 2022 року.

Таблиця 1 – Загальна оцінка прямих втрат інфраструктури у грошовому вимірі станом на лютий 2023 року [12]

Тип інфраструктури	Оцінка прямих втрат, \$ млрд	Доля прямих втрат за типом майна, % від загальної суми
Житлові будівлі	53,6	37,3
Інфраструктура	36,2	25,2
Активи підприємств, промисловість	11,3	7,9
Освіта	8,9	6,2
АПК та земельні ресурси	8,7	6,1
Енергетика	8,1	5,6
Лісовий фонд	4,5	3,1
Транспортні засоби	3,1	2,2
Торгівля	2,6	1,8
ЖКГ	1,4	1,0
Культура, туризм, спорт	2,2	1,5
Охорона здоров'я	1,8	1,2
Адміністративні будівлі	0,5	0,4
Цифрова інфраструктура	0,6	0,4
Соціальна сфера	0,2	0,1
Фінансовий сектор	0,04	0,01
Разом	143,8	100

У порівнянні з початком червня 2022 року відбулося суттєве збільшення кількості зруйнованих та пошкоджених об'єктів інфраструктури: з 121 тис. до 153 тис. об'єктів зросла кількість житлових об'єктів, які постраждали від війни, з 777 до 1216 – медзакладів, зі 111 до 630 – адмінбудівель, зі 105,2 тис. до 207,5 тис. – приватних легкових автомобілей.

Тактика масованих ракетних і дронівих ударів по об'єктах енергетики України, яку росія почала застосовувати з жовтня 2022 року, призвела до того, що прямі втрати в енергетичній сфері оцінюються вже в \$8,1 млрд, основна частина яких прийшла на електроенергетику.

Методологія оцінки ризику. У загальному випадку оцінка ризику включає декілька етапів:

- ідентифікація ризиків як процес їх розпізнавання та опису;
- аналіз ризику, що передбачає осмислення природи ризику та визначення його рівня;
- оцінювання ризику, що передбачає порівняння результатів аналізу ризиків з критеріями для визначення, чи є ризик прийнятним або допустимим.

Якщо вирішується завдання запобігання та готовності до загрози певного типу, ризик може бути кількісно визначений як функція ймовірності виникнення загрози, експозиції (загальна вартість усіх елементів, що перебувають під впливом ризику) та уразливості (конкретний вплив на експозицію) [5].

Оцінка ризику передбачає перелік кроків, що дозволяють врахувати вплив основних чинників небезпеки. Виходячи з національного і міжнародного досвіду для оцінки ризику R може використовуватися функціонал F , що пов'язує ймовірність P виникнення несприятливої події і математичне очікування збитку L від неї [9]

$$R = F_R \{L, P\} = \sum_i [F_{R_i}(L_i, P_i)] = \int C(L)P(L)dL = \int C(P)L(P)dP, \quad (1)$$

де i – види несприятливих подій, C - вагові функції, що враховують взаємовплив ризиків.

Ймовірність P виникнення несприятливої події чи її складових P_i у загальному випадку визначається як функціонал ймовірності, що залежить від джерел загроз, вражаючих чинників і об'єктів ураження та захисту – людини N , господарських об'єктів T і довкілля E

$$P = F_p \{P_N, P_T, P_E\} = \sum_i [F_{P_i}(P_{N_i}, P_{T_i}, P_{E_i})] \quad (2)$$

При цьому ризик від втрати та ушкодження об'єктів інфраструктури при n інцидентах протягом року може визначатися відповідно до [9] як

$$R_T = \sum_{i=1}^n P_{Ti} (V_{T1i} \cdot L_{T1i} \cdot N_{T1i} + V_{T2i} \cdot L_{T2i} \cdot N_{T2i}) =$$

$$= \sum_{i=1}^n P_{Ti} \left(\frac{N_{T1i}}{N_{Ti}} \cdot L_{T1i} \cdot N_{T1i} + \frac{N_{T2i}}{N_{Ti}} \cdot L_{T2i} \cdot N_{T2i} \right), \quad (3)$$

де P_{Ti} – ймовірність реалізації i – го інциденту із збитками для об'єктів інфраструктури заданого регіону; V_{T1i} – уразливість об'єктів інфраструктури до руйнування від i – го інциденту; V_{T2i} – уразливість об'єктів інфраструктури до ушкодження від i – го інциденту; N_{T1i} – кількість зруйнованих об'єктів інфраструктури при i – му інциденті; N_{T2i} – кількість ушкоджених об'єктів інфраструктури в результаті i – го інциденту; N_{Ti} – загальна кількість об'єктів інфраструктури в даному регіоні; L_{T1i} – збитки від руйнування об'єктів інфраструктури; L_{T2i} – збитки від ушкодження об'єктів інфраструктури в результаті i – го інциденту.

В той же час у країнах ЄС з метою проведення національної оцінки ризику (National Risk Assessment) для критичної інфраструктури рекомендується використовувати матрицю ризику розмірністю 5×5 як засіб для візуалізації результатів оцінки (рис. 2).

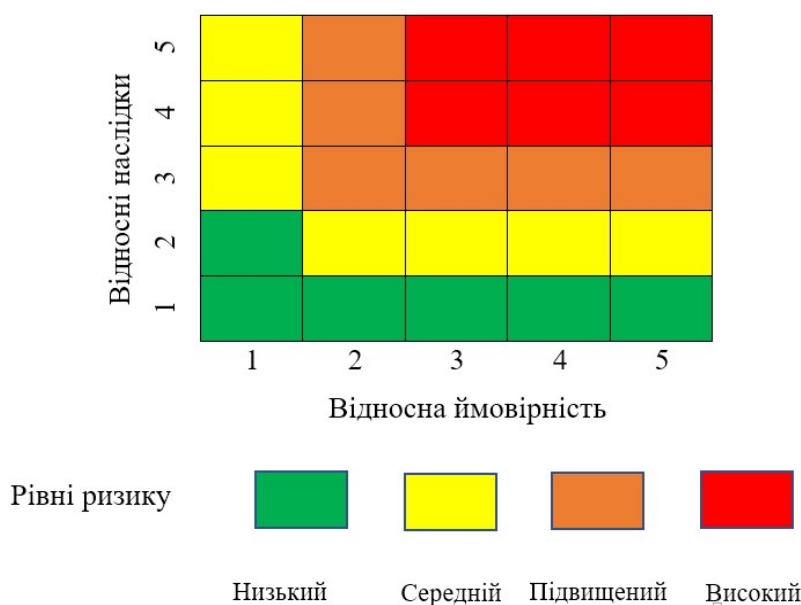


Рис. 2 – Матриця ризику [5]

Оцінка ризиків повинна проводитися на основі трьох різних категорій впливу і враховувати негативні наслідки для людини (населення), економіки (та довкілля), а також політичні й соціальні наслідки. При цьому для перших двох категорій впливу негативні наслідки визначаються у кількісному вигляді як кількість загиблих (травмованих) осіб або економічних збитків у грн (євро). Наслідки для третьої категорії впливу, з огляду на соціальні та політичні взаємозв'язки, визначаються через якісні показники.

У Європейському Союзі кожна країна має проводити оцінку ризиків для кожної категорії наслідків і відповідно будувати три різні матриці ризику при проведенні оцінки ризиків для критичної інфраструктури. Серед усіх загроз різного походження для безпеки критичної інфраструктури (КІ) найбільш важливими визначено такі [5]:

- природні: повені, екстремальні погодні явища, лісові пожежі, землетруси, епідемії та пандемії, епізоотії;
- техногенні:

а) незловмисні: промислові аварії, ядерні/радіологічні аварії, аварії на транспорті, втрата критично важливої інфраструктури;

б) зловмисні: кібератаки, терористичні атаки.

В даній роботі оцінка ризику прямих втрат інфраструктури від ракетних і артилерійських обстрілів на регіональному рівні проводилася згідно з даними Київської школи економіки та Української Гельсінської Спілки з прав людини щодо втрат різних типів інфраструктури та обсягів ракетних і артилерійських обстрілів в регіонах України [2,3].

Результати. За вказаними статистичними даними обчислюється ймовірність виникнення небезпечних ситуацій та ймовірність втрат від них і на цій основі визначається відповідний ризик втрат інфраструктури від ракетних і артилерійських обстрілів, що й було зроблено для вирішення мети цієї публікації (рис. 2). Ймовірність артилерійських і ракетних обстрілів визначалася як співвідношення кількості обстрілів у відповідному регіоні держави до їх загальної кількості в Україні, що сталися протягом року війни (табл. 2).

Таблиця 2 – Ймовірність артилерійських і ракетних обстрілів у регіонах України

№	Регіон	Ймовірність артилерійських і ракетних обстрілів, %	Ризик втрат інфраструктури, \$млн/рік
1	Херсонська	9,99	730,52
2	Донецька	20,30	6538,74
3	Харківська	17,60	5492,03
4	Сумська	2,80	83,04
5	Запорізька	17,97	1892,01
6	Дніпропетровська	4,80	98,10
7	Миколаївська	4,99	315,75
8	Одеська	0,89	4,93
9	Київська	2,06	187,63
10	Полтавська	0,21	0,54
11	Львівська	0,13	0,22
12	Хмельницька	0,06	0,03
13	Вінницька	0,09	0,49
14	Черкаська	0,06	0,07
15	Житомирська	0,66	4,94
16	Кіровоградська	0,09	0,29
17	Чернігівська	8,25	525,29
18	Тернопільська	0,02	0,01
19	Рівненська	0,09	0,07
20	Івано-Франківська	0,02	0,10
21	Луганська	4,76	842,37
22	Волинська	0,01	0,00
23	Закарпатська	0,00	0,00
24	Чернівецька	0,01	0,01

Результати розрахунків свідчать про те, що найбільші значення ймовірності артилерійських і ракетних обстрілів спостерігаються на території Донецької, Запорізької, Харківської, Херсонської, Чернігівської, Луганської областей.

Враховуючи отримані результати оцінки ймовірності артилерійських і ракетних обстрілів, далі проведено оцінку ризику прямих втрат інфраструктури від ракетних і артилерійських обстрілів. При цьому даний ризик у роботі кількісно визначений як добуток ймовірності виникнення загрози артилерійських і ракетних обстрілів, експозиції та відповідного впливу на неї у вигляді економічних втрат (рис. 3).



Рис. 3 – Ризик втрат інфраструктури від ракетних і артилерійських обстрілів у регіонах України

Результати оцінки показують, що практично для всіх регіонів держави існує ризик ураження інфраструктури російськими обстрілами. При цьому найвищий рівень ризику втрат інфраструктури від ракетних і артилерійських обстрілів у регіонах України відмічається у Харківській і Донецькій областях. Високий рівень ризику характерний для Запорізької, Луганської, Херсонської, Чернігівської, Миколаївської областей. Середній рівень ризику втрат інфраструктури від ракетних і артилерійських обстрілів відмічається для Київської, Дніпропетровської, Сумської, Одеської, Житомирської областей. Низький рівень ризику більшою мірою відноситься до Черкаської, Полтавської, Вінницької, Львівської, Івано-Франківської, Хмельницької областей.

Оцінка ризику втрат інфраструктури за категоріями проводиться згідно з даними Київської школи економіки щодо формування прямих втрат для різних типів об'єктів інфраструктури, відтак будується матриця ризику. При цьому за статистичними даними обчислюється ймовірність виникнення небезпечних подій та ймовірність економічних втрат від них і на цій основі формується відповідна залежність, що й було зроблено для вирішення мети цієї публікації. Ймовірність виникнення небезпечних подій (ракетних і артилерійських обстрілів) визначалася як співвідношення кількості таких подій для відповідного типу до їх загальної кількості, що сталися упродовж періоду з лютого 2022 р. по березень 2023 р. (рис. 4).

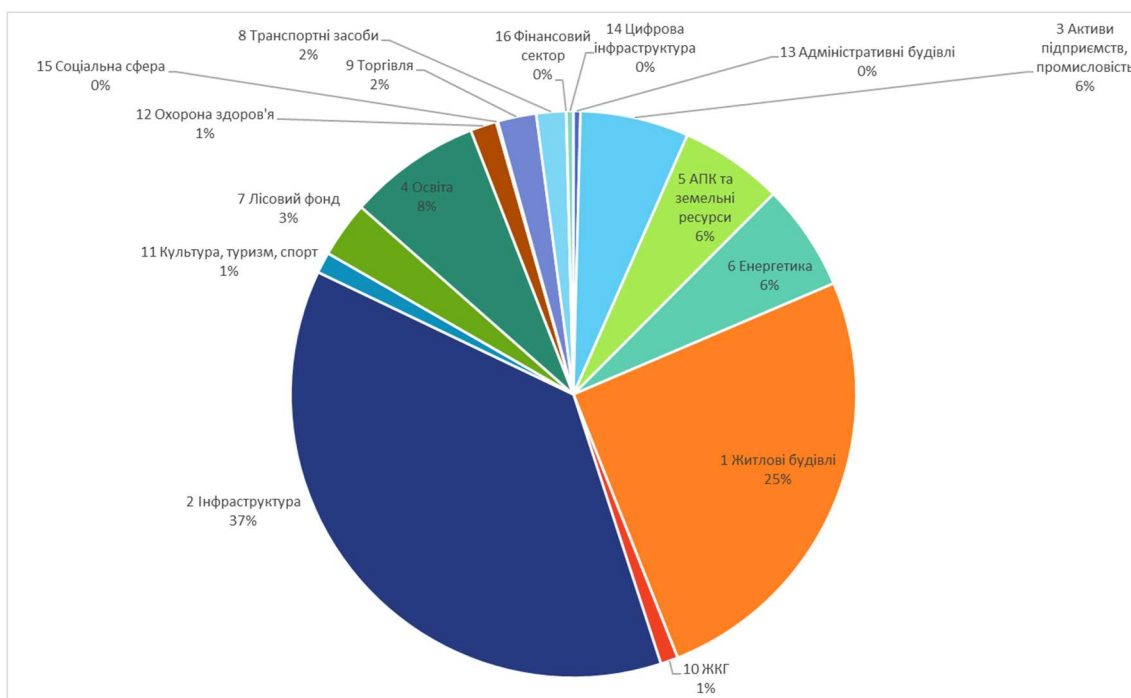


Рис. 4 – Оцінка ймовірності виникнення небезпечних подій для об'єктів інфраструктури

Результати оцінки свідчать про найбільші значення ймовірності обстрілів для об'єктів критичної інфраструктури (37%), житлових будівель (25%) та закладів освіти (8%). Значно нижчу ймовірність ураження мають об'єкти енергетики (6%), АПК та промислові підприємства, що складає також 6%.

Оцінюючи ймовірність втрат об'єктів інфраструктури від обстрілів аналогічним чином, отримуємо розподіл ймовірності за різними типами інфраструктури (рис. 5).

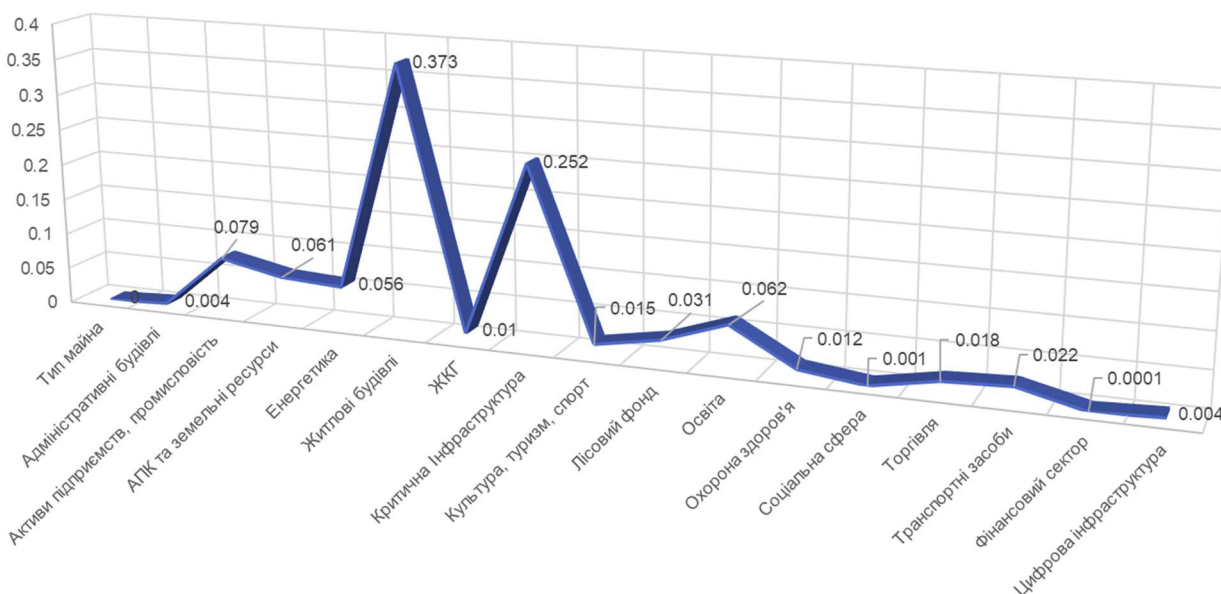


Рис. 5 – Ймовірність втрат об'єктів інфраструктури від обстрілів

Результати оцінки свідчать про те, що найбільша ймовірність втрат інфраструктури в умовах України характерна для житлових будівель, об'єктів інфраструктури, енергетики, АПК. Разом з тим, найбільшою ймовірністю обстрілів характеризуються житлові будівлі, об'єкти інфраструктури, активи підприємств, промисловість.

Для подальшої побудови матриці ризиків далі формується розподіл типів інфраструктури за категоріями ризику, що певним чином відображає приналежність відповідного об'єкту до категорії критичності (табл. 3).

Таблиця 3 – Оцінка ризику втрат інфраструктури за категоріями

№	Тип інфраструктури	Ймовірність втрат	Категорія ризику
13	Адміністративні будівлі	0,004	1
3	Активи підприємств, промисловість	0,079	4
5	АПК та земельні ресурси	0,061	4
6	Енергетика	0,056	4
1	Житлові будівлі	0,373	5
10	ЖКГ	0,01	2
2	Критична інфраструктура	0,252	5
11	Культура, туризм, спорт	0,015	2
7	Лісовий фонд	0,031	3
4	Освіта	0,062	4
12	Охорона здоров'я	0,012	2
15	Соціальна сфера	0,001	1
9	Торгівля	0,018	3
8	Транспортні засоби	0,022	3
16	Фінансовий сектор	0,0001	1
14	Цифрова інфраструктура	0,004	1

Ураховуючи отримані результати оцінки ймовірності ракетних і артилерійських обстрілів і втрат різних типів інфраструктури від них, далі побудовано матрицю ризику відповідно до моделі, що використовується в ЄС (рис. 6).

Аналіз отриманих результатів показує, що високий ризик прямих втрат характерний для житлових будівель та об'єктів критичної інфраструктури. Підвищений рівень ризику мають активи підприємств, промисловість, АПК, освіти та енергетики. Середній рівень ризику мають об'єкти лісового фонду, торгівлі, ЖКГ, культури, туризму, спорту, охорона здоров'я, а також транспорту. Інші типи об'єктів інфраструктури, що розглядаються в цьому дослідженні, у т. ч. адміністративні будівлі, об'єкти цифрової інфраструктури, соціальної сфери, фінансового сектору характеризуються низьким рівнем ризику.

З точки зору прийняття управлінських рішень щодо зниження втрат різних типів інфраструктури від обстрілів очевидно, що першочергова увага має бути спрямована саме на протидію та зниження ризиків для житлових будівель і об'єктів критичної інфраструктури.

Відносні втрати	(5)					
	(4)				1,2	
	(3)	7,10		3,5	4,6	
	(2)		11,12	8,9		
	(1)	15,16	13,14			
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
		Відносна ймовірність				

Примітки:

1 – Житлові будівлі; 2 – Критична інфраструктура; 3 – Активи підприємств, промисловість;
4 – Освіта; 5 – АПК та земельні ресурси; 6 – Енергетика; 7 – Лісовий фонд; 8 – Транспортні засоби;
9 – Торгівля; 10 – ЖКГ; 11 – Культура, туризм, спорт; 12 – Охорона здоров'я; 13 – Адміністративні будівлі; 14 – Цифрова інфраструктура; 15 – Соціальна сфера; 16 – Фінансовий сектор

Рис. 6 – Матриця ризику прямих втрат інфраструктури від артилерійських і ракетних обстрілів протягом року війни

У свою чергу, науковий підхід до управління та певною мірою зниження ризику передбачає процес його модифікування за різними сценаріями:

- уникнення ризику, тобто завершення чи відмова від діяльності, що спричиняє ризик;
- прийняття ризику для того, щоб скористатись певними можливостями;
- виключення джерела ризику;
- зміна ймовірності;
- зміна наслідків;
- розподіл ризику з іншою стороною шляхом укладання контрактів чи фінансування ризиків;
- збереження існуючого рівня ризику на основі узгодженого рішення.

В умовах військових дій і складних взаємозв'язків і взаємовпливів основних факторів формування загроз для інфраструктури ефективний процес зниження ризику передбачатиме комбіновану реалізацію декількох вказаних сценаріїв, що можуть включати заходи із посилення їхнього захисту та дублювання життєво важливих функцій щодо забезпечення життєдіяльності та господарювання.

Висновки

В умовах російської військової агресії проти України відбувається посилення загрозової тенденції до подальшого зниження рівня безпеки та перешкоджання роботи багатьох об'єктів критичної інфраструктури, що виникають унаслідок ракетних і артилерійських обстрілів російських військ та формують серйозні загрози їх руйнування та пошкодження.

Аналіз основних тенденцій та характеру змін втрат об'єктів інфраструктури України в умовах російської військової агресії на регіональному та загальнодержавному рівні показав значну уразливість цих об'єктів для ракетних і артилерійських обстрілів. Особливо потерпають інфраструктурні об'єкти тих регіонів України, що розташовані на кордоні з РФ в зоні впливу активних військових дій.

Проведена оцінка ризиків збитків інфраструктури від артилерійських та ракетних обстрілів на рівні адміністративних областей України продемонструвала, що практично для всіх регіонів держави існує ризик ураження інфраструктури російськими обстрілами. При цьому найвищий рівень ризику втрат інфраструктури від ракетних і артилерійських обстрілів у регіонах України відмічається у Харківській і Донецькій областях.

Високий рівень ризику для об'єктів інфраструктури різних типів характерний для Запорізької, Луганської, Херсонської, Чернігівської, Миколаївської областей.

Адаптовано наявні статистичні дані для їх використання для оцінки ризику для об'єктів інфраструктури за моделлю, що використовується в країнах ЄС. Побудована в роботі матриця ризику прямих втрат інфраструктури від артилерійських і ракетних обстрілів протягом року війни для 16 типів об'єктів дозволила встановити, що високий ризик прямих втрат характерний для житлових будівель та об'єктів критичної інфраструктури.

Відповідно до проведених оцінок підвищений рівень ризику мають активи підприємств, промисловість, АПК, освіти та енергетики. Середній рівень ризику мають об'єкти лісового фонду, торгівлі, ЖКГ, культури, туризму, спорту, охорона здоров'я, а також транспорту. Інші типи об'єктів інфраструктури, що розглядаються в цьому дослідженні, у т. ч. адміністративні будівлі, об'єкти цифрової інфраструктури, соціальної сфери, фінансового сектору характеризуються низьким рівнем ризику.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження у цій сфері пов'язані з проведенням більш повного визначення втрат об'єктів інфраструктури від російської військової агресії проти України, здійснення на цій основі оцінки ризиків для об'єктів інфраструктури України різних типів на регіональному та загальнодержавному рівні, проведення їх категоризацією за видами і рівнями ризику, а також розробленням обґрунтованих заходів із запобігання загроз з масштабними негативними наслідками для об'єктів критичної інфраструктури.

Науково обґрунтоване визначення ризиків і збитків об'єктам інфраструктури України від російської військової агресії є важливою передумовою для притягнення агресора до відповідальності та подальшого відшкодування збитків.

Список використаної літератури

1. Закон України «Про критичну інфраструктуру» №1882-IX від 16.11.2021. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20>
2. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2023 р. № 825-р «Про затвердження Національного плану захисту та забезпечення безпеки та стійкості критичної інфраструктури». <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/825-2023-%D1%80#Text>
3. The Global Risks Report 2022, 17th Edition, is published by the World Economic Forum. https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2022.pdf
4. Rapid Environmental Assessment of Kakhovka Dam Breach Ukraine, 2023 United Nations Environment Programme. DOI: <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/43696>
5. Ukraine: Rapid Damage and Needs Assessment. March 2023, the World Bank, the Government of Ukraine, the European Union, the United Nations. <https://ukraine.un.org/en/224376-ukraine-rapid-damage-and-needs-assessment>
6. Organizational and legal aspects of ensuring the safety and stability of critical infrastructure of Ukraine: analyst. add. / [Bobro D. G., Ivaniuta S. P., Kondratov S. I., Sukhodolya O. M.] / by general ed. O. M. Sukhodoli. - K.: NISD, 2019. - 224 p.
7. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013. Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику. URL: <http://khoda.gov.ua/image/catalog/files/dstu%2031010.pdf>
8. Risk assessment methodologies for critical infrastructure protection. Part II: A new approach. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015. – 40 p. DOI:10.2788/621843
9. Fairman R. et al. Environmental Risk Assessment - Approaches, Experiences and Information Sources: Environmental issues report No 4. / Prepared at Monitoring and Assessment Research Centre, King's College, London. EEA (European Environment Agency) Copenhagen, Denmark. 1999-2011.
10. M. Zgurovsky, M. Kravchenko, K. Boiarynova, O. Ilyash, K. Kopishynska, I. Pyshnograiev, 2022. Analysis of the impact of Russia's military invasion of Ukraine on the energy independence of European countries. Системні дослідження та інформаційні технології, 2022, № 2. DOI: 10.20535/SRIT.2308-8893.2022.2.01
11. Statistics from the T4P Global Initiative War Crimes Database. Ukrainian Helsinki Union for Human Rights. <https://t4pua.org/1200>
12. Report on the direct damage to the infrastructure from the destruction caused by Russia's military aggression against Ukraine a year after the start of the full-scale invasion. <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/za-rik-povnomasshtabnoyi-viyni-rosiya-zavdala-zbitkiv-infrastrukturi-ukrayini-na-mayzhe-144-mlrd/>

13. S. Ivaniuta. Priority directions for neutralization of environmental and man-made threats in the zone of military conflict in Donbas/ S. Ivaniuta // Strategic priorities. - 2019. - N 2. - P. 38-45.
14. S. Ivaniuta. Priorities for reducing the risks of occurrence of emergency situations in the context of critical infrastructure protection / S. Ivaniuta // Strategic priorities. - 2017. - N 4 (45). - P. 43-54.
15. Ivaniuta S., Kachinsky A. Ecological and natural-technogenic safety of Ukraine: a regional dimension of threats and risks: monograph / National in-t of strategic research. - K.: NISS, 2012. - 308 p.
16. Ivanenko O. Implementation of risk assessment for critical infrastructure protection with the use of risk matrix / ScienceRise. - 2020. - № 2. - P. 26 - 38.
17. Directive (EU) 2022/2557 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 on the resilience of critical entities and repealing Council Directive 2008/114/EC. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2022/2557/oj>

Serhii Ivaniuta, Evgen Panov, Olena Ivanenko, Serhii Gapon

ASSESSMENT OF RISKS TO THE CRITICAL INFRASTRUCTURE OF UKRAINE IN THE CONDITIONS OF RUSSIAN MILITARY AGGRESSION

The destruction of the infrastructure of populated areas has been occurring since the first days of the invasion of the Russian Federation into Ukraine, both as a result of direct hostilities and as a result of targeted missile and artillery strikes on critical infrastructure and life support facilities. In accordance with the National Plan for the Protection and Ensuring the Safety and Stability of Critical Infrastructure, it is necessary to conduct an assessment of threats and risks to critical infrastructure in the relevant areas and an assessment of threats to national security as a result of threats to critical infrastructure. The evaluation of the risk of infrastructure losses from missile and artillery attacks was carried out based on the calculation of the probability of the occurrence of relevant dangerous situations and the likelihood of losses from them for different types of infrastructure according to the model. The risk in work was quantified as the product of the probability of the threat of artillery and missile attacks, exposure, and the corresponding impact on it in the form of economic losses. Taking into account the results obtained in assessing the probability of missile and artillery attacks and losses of various types of infrastructure from them, a risk matrix was built according to the model used in the EU. The results of the assessment show that for almost all regions of the country, there is a risk of damage to the infrastructure by Russian shelling. At the same time, the highest level of risk of infrastructure losses from missile and artillery fire in the regions of Ukraine is noted in the Kharkiv and Donetsk regions. A high level of risk is characteristic of the Zaporizhia, Luhansk, Kherson, Chernihiv, and Mykolaiv regions. The average level of risk of infrastructure losses from rocket and artillery fire is noted for the Kyiv, Dnipropetrovsk, Sumy, Odesa, and Zhytomyr regions. The low level of risk mainly applies to Cherkasy, Poltava, Vinnytsia, Lviv, Ivano-Frankivsk, and Khmelnytskyi regions. The assessment of the risk of infrastructure losses by category is carried out according to data from the Kyiv School of Economics regarding the formation of direct losses for various types of infrastructure objects. Thus, a risk matrix is constructed. At the same time, statistical data calculates the probability of dangerous events and the probability of economic losses from them. On this basis, the corresponding dependence is formed, which was done to solve the purpose of this publication. The results of the assessment indicate the highest values of the probability of shelling for critical infrastructure objects (37%), residential buildings (25%), and educational institutions (8%). Energy facilities (6%), agro-industrial complexes, and industrial enterprises have a much lower probability of damage, which is also 6%. A probability distribution was obtained for different types of infrastructure to estimate the likelihood of losses of infrastructure objects from shelling similarly. The results of the assessment indicate that the most significant probability of infrastructure losses in the conditions of Ukraine is characteristic of residential buildings, infrastructure facilities, the energy industry, and the agricultural sector. At the same time, residential buildings, infrastructure facilities, enterprise assets, and industry are characterized by the highest probability of shelling. Taking into account the results obtained in assessing the likelihood of missile and artillery attacks and the loss of various types of infrastructure from them, a risk matrix was constructed in accordance with the model used in the EU. The analysis of the obtained results shows that a high risk of direct losses is characteristic of residential buildings and critical infrastructure facilities. The assets of enterprises, industries, agriculture, education, and energy have an increased level of risk. Objects of the forest fund, trade, housing and communal services, culture, tourism, sports, health care, and transport have an average level of risk. Other types of infrastructure objects considered in this study, including administrative buildings, digital infrastructure objects, the social sphere, and the financial sector, are characterized by a low level of risk. The results obtained regarding the

reasonable assessment of risks and damages to Ukraine's infrastructure resulting from Russian military aggression are an essential prerequisite for the development of sensible measures to prevent threats and bring the aggressor to justice for further compensation for damages.

Keywords: *risk, infrastructure object, losses, probability, military actions, regions*

References

1. Law of Ukraine "On Critical Infrastructure" N1882-IX dated November 16, 2021. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20>
2. Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated September 19, 2023, No. 825-r "On the approval of the National Plan for the Protection and Ensuring the Safety and Stability of Critical Infrastructure. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/825-2023-%D1%80#Text>
3. The Global Risks Report 2022, 17th Edition, is published by the World Economic Forum. https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2022.pdf
4. Rapid Environmental Assessment of Kakhovka Dam Breach Ukraine, 2023 United Nations Environment Programme. DOI: <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/43696>
5. Ukraine: Rapid Damage and Needs Assessment. March 2023, the World Bank, the Government of Ukraine, the European Union, and the United Nations. <https://ukraine.un.org/en/224376-ukraine-rapid-damage-and-needs-assessment>
6. Organizational and legal aspects of ensuring the safety and stability of critical infrastructure of Ukraine: analyst. add. / [Bobro D. G., Ivaniuta S. P., Kondratov S. I., Sukhodolya O. M.] / by general ed. O. M. Sukhodoli. - K.: NISD, 2019. - 224 p.
7. DSTU IEC/ISO 31010:2013. Risk management. Methods of general risk assessment. URL: <http://khoda.gov.ua/image/catalog/files/dstu%2031010.pdf>
8. Risk assessment methodologies for critical infrastructure protection. Part II: A new approach. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015. – 40 p. DOI:10.2788/621843
9. Fairman R. et al. Environmental Risk Assessment - Approaches, Experiences and Information Sources: Environmental issues report No 4. / Prepared at Monitoring and Assessment Research Centre, King's College, London. EEA (European Environment Agency) Copenhagen, Denmark. 1999-2011.
10. M. Zgurovsky, M. Kravchenko, K. Boiarynova, O. Ilyash, K. Kopishynska, I. Pyshnograiev, 2022. Analysis of the impact of Russia's military invasion of Ukraine on the energy independence of European countries. Системні дослідження та інформаційні технології, 2022, № 2. DOI: 10.20535/SRIT.2308-8893.2022.2.01
11. Statistics from the T4P Global Initiative War Crimes Database. Ukrainian Helsinki Union for Human Rights. <https://t4pua.org/1200>
12. Report on the direct damage to the infrastructure from the destruction caused by Russia's military aggression against Ukraine a year after the start of the full-scale invasion. <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/za-rik-povnomasshtabnoyi-viyni-rosiya-zavdala-zbitkiv-infrastrukturi-ukrayini-na-mayzhe-144-mlrd/>
13. S. Ivaniuta. Priority directions for neutralization of environmental and man-made threats in the zone of military conflict in Donbas/ S. Ivaniuta // Strategic priorities. - 2019. - N 2. - P. 38-45.
14. S. Ivaniuta. Priorities for reducing the risks of occurrence of emergency situations in the context of critical infrastructure protection / S. Ivaniuta // Strategic priorities. - 2017. - N 4 (45). - P. 43-54.
15. Ivaniuta S., Kachinsky A. Ecological and natural-technogenic safety of Ukraine: a regional dimension of threats and risks: monograph / National in-t of strategic research. - K.: NISS, 2012. - 308 p.
16. Ivanenko O. Implementation of risk assessment for critical infrastructure protection with the use of risk matrix / ScienceRise. – 2020. – № 2. – P. 26 – 38.
17. Directive (EU) 2022/2557 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 on the resilience of critical entities and repealing Council Directive 2008/114/EC. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2022/2557/oj>.