

Валентин ГИРЯ,

аспірант кафедри економіки будівництва

ORCID: 0009-0007-6288-5325

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

АРХІТЕКТУРНА ВРАЗЛИВІСТЬ У ПЕРІОДИ ВОЄН, ПРИРОДНИХ КАТАСТРОФ І ТЕХНОГЕННИХ ЗАГРОЗ ЯК ФАКТОР ВТРАТИ САКРАЛЬНОЇ СПАДЩИНИ

Сакральна архітектура є одним із найцінніших носіїв духовної та культурної пам'яті людства, проте саме вона виявляє найбільшу вразливість у періоди воєн, природних катастроф і техногенних загроз. Руйнування храмів, монастирів і святинь не лише призводить до втрати унікальних архітектурних форм, а й порушує духовну тяглість культурної ідентичності. Архітектурна вразливість у таких умовах розглядається як багатфакторний процес, де взаємодіють фізичні, природні, соціальні й символічні чинники.

Війни стають випробуванням не лише для міцності споруд, а й для духовної стійкості суспільства. Цілеспрямоване знищення сакральних об'єктів перетворюється на акт культурного геноциду, спрямованого на руйнування колективної пам'яті. Природні катастрофи, у свою чергу, проявляють матеріальну старість храмів і недосконалість технологій минулих епох, тоді як техногенні загрози – забруднення, вібрації, кліматичні коливання – призводять до прихованої, але постійної деградації структури. У дослідженні підкреслено, що збереження сакральної спадщини має як матеріальний, так і духовний вимір. Фізичне відновлення храмів неможливе без ресакралізації простору – повернення йому первісного сенсу, що відбувається через спільну участь громади, ритуальні практики та відновлення історичної пам'яті. Запропоновано низку аналітичних моделей оцінювання архітектурної стійкості, включно з інтегральним індексом вразливості, рівнянням структурно-семантичної енергії храму та моделлю духовного відновлення.

Окрему увагу приділено ролі цифрових технологій – 3D-сканування, лазерної фотограмметрії та цифрових двійників, які дозволяють фіксувати стан сакральних споруд і створювати точні віртуальні копії для збереження у разі їх втрати. Таким чином, цифрова репрезентація стає новою формою пам'яті, що продовжує жити архітектури у віртуальному просторі. Архітектурна вразливість постає не лише як характеристика фізичної структури, а як індикатор духовного рівня суспільства. Там, де відбувається збереження навіть у цифровій формі, культура демонструє зрілість і відповідальність перед історією. Збереження сакральної архітектури – це акт духовного опору, що утверджує гідність людства та його здатність до оновлення попри руйнування.

Ключові слова: *сакральна архітектура, архітектурна вразливість, культурна спадщина, війна, природні катастрофи, техногенні загрози, цифрова реставрація, духовна тяглість.*

Вступ. Сакральна архітектура завжди була носієм ідентичності народів, відображаючи їх духовний досвід, культурні коди та історичну тяглість. Вона

уособлює матеріальне втілення віри, що поєднує простір, час і людський дух. Проте саме сакральні споруди найчастіше зазнають руйнувань у періоди соціальних, природних і техногенних катастроф. Війни, землетруси, пожежі, повені чи промислові аварії не лише змінюють вигляд міст і сіл, а й стирають сліди духовного життя цивілізацій. Архітектурна вразливість у таких умовах стає не лише технічною, а й філософською категорією. Вона визначає, наскільки стійкою є не лише будівля, а й культура, що її створила. Сучасна наука розглядає сакральну архітектуру як багатовимірну систему – матеріальну, семантичну та соціальну. Втрата храму означає втрату не лише форми, а й змісту, що формував спільну пам'ять поколінь. Руйнування святинь у XXI столітті – це не просто наслідок агресії або стихії, а симптом глибших процесів: деградації духовних пріоритетів і недооцінки культурної спадщини. Тому вивчення архітектурної вразливості сакральних об'єктів має на меті не лише фіксацію втрат, а й пошук шляхів їх осмислення, відновлення та запобігання.

Актуальність. Проблема архітектурної вразливості сакральної спадщини набуває особливої актуальності у зв'язку з масштабними руйнуваннями культурних пам'яток унаслідок воєнних дій, природних катастроф і техногенних аварій. Сучасний світ стикається із загрозами, які одночасно діють у фізичному, соціальному й духовному вимірах. Втрата храмів – це втрата ідентичності, історичної безперервності та ціннісного фундаменту суспільства.

Незважаючи на розвиток технологій охорони пам'яток, більшість сакральних споруд залишається незахищеною перед деструктивними чинниками. Системи моніторингу, цифрової документації та превентивного управління ризиками розвинені недостатньо. У цьому контексті актуальність дослідження полягає у необхідності розроблення комплексного підходу, який поєднає технічні, культурологічні та соціальні аспекти збереження духовної спадщини.

Постановка проблеми. Сакральна архітектура є унікальним елементом культурного простору, проте саме вона найменше пристосована до дії екстремальних факторів. Війни, стихійні лиха та техногенні катастрофи часто знищують не лише споруди, а й духовні символи, які вони втілюють. Відсутність системного підходу до фіксації, охорони та реставрації таких об'єктів призводить до незворотних втрат. Проблема полягає у тому, що більшість стратегій збереження зосереджена на матеріальній реконструкції, тоді як духовна та символічна реставрація залишаються поза увагою. Необхідно створити модель, яка враховує як фізичну стійкість архітектури, так і енергетику сакрального простору, його культурну та семантичну цінність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, виділення невирішених частин проблеми. У світовій науці питання збереження сакральної спадщини активно досліджують архітектори, історики мистецтва та фахівці з культурної безпеки. Роботи Норберга-Шульца, Тейлора, Гасперіні та інших закладають основи феноменологічного підходу, у якому храм розглядається як носій духу місця. Сучасні дослідження зосереджуються на використанні цифрових технологій, BIM-моделювання, лазерного сканування для фіксації об'єктів, проте бракує інтеграції технічних методів із гуманітарним осмисленням. Недостатньо дослідженими залишаються моделі духовної реконструкції, ресакралізації простору та соціальної уваги у процесах відновлення сакральної архітектури.

Метою цієї статті є розроблення концептуальної моделі розуміння архітектурної вразливості як багатовимірного феномену, що поєднує матеріальний, семантичний і духовний рівні сакральної спадщини. Завданням дослідження є

систематизація факторів ризику для сакральних споруд, визначення типології руйнувань і формування підходів до збереження через інтеграцію сучасних технологій, культурних стратегій та духовного відродження як ключового чинника стійкості архітектури.

Виклад основної інформації. Сакральна архітектура є одним із найцінніших носіїв культурної пам'яті людства, проте саме вона виявляється найбільш вразливою у часи криз. Храми, монастирі, святині – це не лише осередки духовності, а й історичні документи, що зберігають матеріальні свідчення епох, стилів, релігійних ідентичностей. В умовах воєн, природних катастроф і техногенних аварій вони стають першими мішенями або жертвами, адже руйнування сакрального простору має не лише фізичний, а й символічний вимір – це удар по колективній пам'яті, самосвідомості народу, його духовній тягlostі.

У періоди збройних конфліктів архітектурна вразливість набуває масштабного характеру. Руйнування храмів часто має цілеспрямований характер: знищення сакральних споруд є інструментом психологічного впливу, спрямованим на підірив культурної ідентичності. Втрата соборів, монастирів і святинь означає розрив історичної пам'яті, адже разом із каменем зникають символи, що формували духовну єдність поколінь. Водночас навіть часткові руйнування призводять до незворотної втрати художніх, технологічних і семантичних характеристик, які не завжди піддаються відновленню.

Природні катастрофи – землетруси, повені, пожежі, урагани – завжди залишали глибокі сліди у долі сакральної архітектури. Вони виявляють слабкі місця конструкцій, зумовлені старінням матеріалів або недосконалістю технологій минулих століть. Проте вразливість має не лише фізичний вимір – вона стосується також системи управління спадщиною, адже відсутність належного моніторингу, документації та превентивних стратегій посилює ризики втрат. Після катастроф відновлення храмів стає не лише інженерним, а й моральним завданням – актом відродження пам'яті та гідності [1].

Для системного розуміння причин і механізмів руйнування сакральних об'єктів важливо розглядати архітектурну вразливість як багатофакторний процес, у якому взаємодіють природні, воєнні, техногенні та організаційні чинники. Нижче подано рис. 1, що відображає основні джерела загроз і їхній вплив на збереження духовної та культурної спадщини.

У сучасних умовах архітектурна вразливість стає системною проблемою. Техногенні загрози – промислові вибухи, пожежі, забруднення, сейсмічні коливання, спричинені діяльністю людини – часто призводять до руйнувань, які не завжди видно одразу. Мікротріщини, деформації, корозія матеріалів накопичуються поступово, і лише через десятиліття виявляється, що споруда втратила свою стійкість. Цей процес підсилюється зміною клімату, коливаннями температур, вібраційними навантаженнями від транспорту й промисловості.

Втрата сакральної архітектури – це не лише фізичне руйнування будівель, а знищення ціннісних структур суспільства. Кожен зруйнований храм означає зникнення частини колективної душі, фрагмент духовної карти людства. Проте вразливість не повинна розглядатися лише як небезпека – вона може стати стимулом для розвитку нових підходів до збереження, реставрації та цифрової документації спадщини.

Сучасні технології – 3D-сканування, лазерна фотограмметрія, цифрові двійники – відкривають можливість створення віртуальних копій сакральних споруд, які дозволяють не лише зберегти пам'ять про втрачені об'єкти, а й використовувати їх

як навчальні, реставраційні та культурні ресурси. Таким чином, навіть у разі фізичного знищення храму його духовна присутність не зникає – вона переходить у новий, цифровий вимір пам'яті [2].

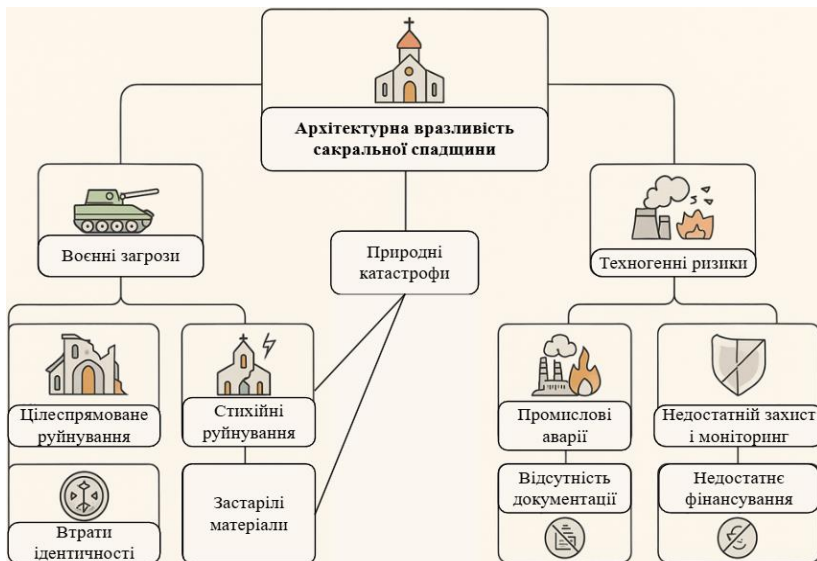


Рис. 1. Фактори архітектурної вразливості сакральної спадщини
(розроблено автором на основі [1])

Архітектурна вразливість у періоди криз є своєрідним тестом на зрілість суспільства. Там, де святині руйнуються без повернення, культура втрачає свій голос; там, де відбувається збереження, навіть у цифровій формі, – формується новий рівень відповідальності перед історією. Збереження сакральної архітектури — це не лише технічне завдання, а акт духовного опору, який підтверджує здатність людства відновлювати світло віри навіть серед руїн.

Сакральна архітектура завжди була не лише матеріальним втіленням релігії, а й дзеркалом духовного і культурного стану суспільства. У періоди збройних конфліктів вона зазнає подвійного тиску – фізичного та символічного. Фізичний вимір полягає у прямому руйнуванні або пошкодженні споруд, а символічний – у спробі знищити історичну пам'ять, стерти культурний код і позбавити народ його духовних орієнтирів. Таким чином, війна впливає на сакральну архітектуру не лише як на об'єкт матеріальної культури, але і як на інформаційно-ціннісну систему, де кожен храм є елементом колективної ідентичності.

Архітектурна вразливість у воєнний період проявляється на кількох рівнях: конструктивному, просторовому, семантичному та соціальному. Конструктивний рівень стосується фізичної руйнівності вибухів, вібрацій і вогню. Просторовий рівень охоплює втрату контексту – коли навколишнє міське середовище зруйноване, сакральна споруда втрачає свій архітектурний масштаб і

співвідношення з простором. Семантичний рівень пов'язаний із руйнуванням символічного значення – коли храм перетворюється з місця молитви на руїну, змінюється не лише його функція, а й його смислова ідентичність. Нарешті, соціальний рівень виражається у тому, що втрата сакральних споруд стає травмою для колективної свідомості, оскільки саме ці об'єкти виконують функцію духовного центру громади.

Війни XX і XXI століть показали, що руйнування сакральних об'єктів є не побічним ефектом конфліктів, а часто цілеспрямованою стратегією. Знищення храмів, соборів, монастирів, мечетей або синагог розглядається як спосіб викорінювання ідентичності народу. Руйнування культурної пам'яті – це форма духовної агресії, спрямована не на тіла, а на сенси. У цьому контексті сакральна архітектура стає «мовчазним свідком» війни, але й одночасно – її головною жертвою.

Наукові дослідження в галузі архітектурної стійкості та культурної безпеки вказують на складну систему взаємозв'язку між фізичним станом споруди та її символічною енергією. Для опису цього феномену використовується поняття структурно-семантичної енергії храму, яке можна подати у вигляді інтегральної функції:

$$E_s = \int_0^T [\alpha(t)R_m(t) + \beta(t)R_s(t)]dt, \quad (1)$$

де E_s – сумарна енергія збереження сакрального об'єкта в часі, $R_m(t)$ – фізична стійкість матеріалу, $R_s(t)$ – рівень збереження символічної структури (іконостас, купол, орнамент, ритуальний простір), $\alpha(t)$ і $\beta(t)$ – вагові коефіцієнти, що відображають пріоритет фізичного або духовного збереження залежно від етапу конфлікту.

Це рівняння показує, що під час війни обидва компоненти – матеріальний і семантичний – знижуються з різною швидкістю. Фізичні руйнування можуть бути локальними, але семантичні втрати часто носять системний характер. Коли втрачається символічний центр, суспільство переживає ефект «культурної дезорієнтації», який ускладнює процес відновлення навіть після завершення бойових дій.

Варто зазначити, що під час воєн архітектурна стійкість храмів залежить від трьох взаємопов'язаних факторів: просторово-конструктивної міцності, адаптивності форми та ступеня ритуальної активності громади. Якщо фізичні властивості споруди визначають її здатність протистояти руйнуванням, то ритуальна активність – тобто присутність громади, богослужінь, догляду – є не менш важливим чинником збереження. Там, де духовне життя триває навіть у кризу, архітектура отримує додаткову енергію виживання.

У цьому контексті важливим є застосування моделей оцінювання ступеня вразливості сакральних споруд. Для цього використовують інтегральну модель ризику, у якій поєднано показники матеріальної деградації, інтенсивності впливу та соціального відновлення:

$$V(t) = \frac{D_m(t) \times I_w(t)}{R_c(t) + S_r(t)}, \quad (2)$$

де $V(t)$ – індекс архітектурної вразливості, $D_m(t)$ – рівень матеріальних пошкоджень, $I_w(t)$ – інтенсивність воєнних дій у певній локації, $R_c(t)$ –

конструктивна стійкість, $S_r(t)$ – соціальна реакція та швидкість реставраційних дій. Чим вищим є показник $V(t)$, тим більша ймовірність незворотних втрат сакральної спадщини.

Дослідження міжнародних центрів реставрації показують, що у більшості випадків ключовим чинником є не сам рівень руйнування, а відсутність оперативного реагування. Затримка у фіксації збитків і початку консерваційних робіт призводить до того, що навіть незначні пошкодження стають фатальними через атмосферні впливи чи вандалізм. Тому у світовій практиці все більшого значення набуває цифрове документування – створення архітектурних цифрових двійників, які дозволяють зберегти точну модель об'єкта навіть у разі його фізичного знищення [3].

Якщо розглядати воєнну вразливість сакральної архітектури в системному вимірі, можна звернутися до таблиці 1, у якій відображено взаємозв'язок між типом впливу, характером руйнувань та наслідками для культурної пам'яті.

Таблиця 1

Типологія впливу воєнних дій на сакральну архітектуру

Тип впливу	Характер руйнувань	Наслідок для матеріальної структури	Наслідок для символічного змісту	Можливість відновлення
Пряме бомбардування	Повне або часткове знищення конструкцій	Втрата несучих елементів, куполів, стін	Десакралізація простору	Часткове, залежить від документування
Артилерійські пошкодження	Локальні тріщини, вибиті вікна, пошкодження іконостасу	Ослаблення конструктивних вузлів	Порушення цілісності образу	Висока, за наявності ресурсів
Пожежі після обстрілів	Руйнування дерев'яних елементів, розписів, куполів	Втрата унікальних декоративних шарів	Втрата історико-естетичної пам'яті	Обмежена, потрібна цифрова реконструкція
Вандалізм і розкрадання	Знищення або викрадення ікон, реліквій	Зникнення культурних артефактів	Символічна порожнеча, духовна травма	Частково можливо через музейну реконструкцію
Тимчасова окупація храму	Перепрофілювання, осквернення простору	Функціональна деградація об'єкта	Порушення сакральної ідентичності	Відновлення через ритуальну реінтеграцію

Джерело: розроблено автором на основі [3]

Ця типологія демонструє, що ступінь втрат не завжди визначається масштабом руйнування. Іноді невидимі зміни – наприклад, знищення розписів, ікон, документів – завдають глибших духовних ран, ніж вибухові пошкодження. Сакральна архітектура зберігає не лише форму, а й сенс; тому її зруйнування є втратою носія культурної пам'яті.

Після воєнних дій настає фаза відновлення, яка також має дві площини – матеріальну і духовну. Матеріальна реставрація включає консервацію, реконструкцію або створення нової споруди на основі автентичної структури. Духовна реконструкція полягає у поверненні символічного змісту: відновленні богослужіння, реосмисленні простору, переінтерпретації втраченої ідентичності. У

сучасній гуманітарній науці цей процес називають архітектурною ресакралізацією – тобто відновленням священного сенсу після руйнування.

Процес ресакралізації можна умовно описати як динамічну функцію духовного відновлення, що залежить від часу, соціальної участі та рівня культурної підтримки:

$$S_r(t) = \gamma \int_0^t e^{-\mu(t-\tau)} P(\tau) d\tau, \quad (3)$$

де $S_r(t)$ – ступінь відновлення сакральності у часі, $P(\tau)$ – інтенсивність участі громади у відновленні, μ – коефіцієнт втрати духовної енергії після руйнування, γ – коефіцієнт колективної солідарності.

Це рівняння демонструє, що сакральна архітектура відроджується не лише через матеріальні ресурси, а насамперед через енергію людської єдності. Саме соціальна підтримка, спільна праця та віра в значення спадщини визначають, чи поверне храм свій духовний статус після війни.

Війна є каталізатором переосмислення ролі сакрального простору. Руйнування виявляє не лише слабкі сторони архітектури, а й силу її символу. Навіть у зруйнованому вигляді храм залишається осередком пам'яті – місцем, де біль і надія поєднуються у спільній формі. Відновлення сакральних споруд стає процесом не лише технічним, а й духовно-терапевтичним, адже воно повертає суспільству відчуття спадкоємності, ідентичності й надії.

Сучасна архітектурна практика все частіше розглядає руїну не як поразку, а як символ незнищенності культури. Вона стає простором пам'яті, де руйнування саме по собі стає частиною естетичного й етичного наративу. Збереження таких об'єктів у вигляді пам'ятних місць, меморіалів або музейних комплексів формує нову форму сакральності – сакральність пам'яті.

Сакральна архітектура є унікальним свідченням культурного розвитку людства, проте саме вона виявляє найбільшу вразливість у зіткненні з природними стихіями. Землетруси, повені, буревії, пожежі чи кліматичні зміни не лише завдають шкоди матеріальним структурам храмів, а й ставлять під загрозу саму ідею духовної тяглості. Втрата сакральної споруди означає руйнування коду культурної пам'яті, а отже, вимагає міждисциплінарного підходу, у якому технічна аналітика поєднується з гуманітарним осмисленням.

Крістіан Норберг-Шульц у своїй феноменологічній концепції *Genius Loci* наголошував, що архітектура – це не лише конструкція, а втілення духу місця. Цей дух існує у взаємодії між людиною, простором і природою. Саме тому вразливість сакральних споруд у періоди природних катастроф пов'язана не лише з фізичними чинниками, а й із втраченою гармонією між архітектурною формою та довкіллям [4].

Юрген Фрік і Клаус Ціммерман у своїх дослідженнях архітектурної безпеки вказували, що стійкість споруди до природних катаклізмів визначається не стільки міцністю матеріалу, скільки ступенем інтеграції з ландшафтом. Коли храм побудовано з урахуванням топографії, напрямків вітру, вологості, рівня ґрунтових вод, він вступає в симбіоз із природою – і саме цей симбіоз визначає його довговічність [5].

Сучасна архітектурна наука, представлена працями Паоло Гасперіні (Італія) та Джорджа Тейлора (Нова Зеландія), вивчає сейсмостійкість історичних споруд через методи аналітичної механіки, поєднуючи традиційні будівельні техніки та новітні цифрові симуляції [6]. Вони довели, що для сакральної архітектури важливі не лише фізичні параметри, а й ритуальні осі навантаження, тобто напрямки, у яких

розташовано основні просторові домінанти (вітар, купол, арка). Під час землетрусів ці зони часто зазнають надмірних деформацій, оскільки не були розраховані на горизонтальні вібраційні сили.

Для опису цього явища використовується інтегральна модель залишкової енергії стійкості:

$$E_{res} = \int_0^t (K_s \times \sigma_y - \eta_m \times \phi_d + \lambda_c \times \Delta T) dt, \quad (4)$$

де E_{res} – залишкова енергія опору споруди, K_s – коефіцієнт структурної жорсткості, σ_y – межа пружності матеріалу, η_m – втрати міцності через вологість, ϕ_d – коефіцієнт дифузійної деградації, λ_c – коефіцієнт температурного впливу, ΔT – коливання температури середовища.

Це рівняння демонструє, що стійкість храму знижується у разі порушення термогідродинамічної рівноваги – коли різниця між внутрішньою та зовнішньою температурою спричиняє циклічні деформації.

Іцхак Бен-Джосеф, ізраїльський архітектор і аналітик сакральної геометрії, досліджував вплив асиметрії навантажень на купольні конструкції [13]. Його модель визначає зміну напружень у сферичній оболонці під час землетрусів:

$$\sigma(\theta, t) = \frac{P(t) \times r}{2h} (1 + \cos \theta) e^{-\beta t}, \quad (5)$$

де r – радіус кривизни купола, h – товщина матеріалу, $P(t)$ – динамічне навантаження, β – коефіцієнт внутрішнього демпфування.

Це доводить, що навіть незначне зменшення товщини склепіння в точках опори призводить до критичного перевантаження у верхніх сегментах, що особливо небезпечно для стародавніх храмів із гіпсовими або цегляними куполами.

Джеймс Стірлінг, один із провідних архітекторів XX століття, звертав увагу на адаптивність форми як фактор виживання архітектури. Він писав, що «спорода, яка може змінювати свої властивості без втрати сутності, є живою системою». У цьому контексті конструктивна гнучкість – наявність розтяжних швів, систем амортизації, дренажних каналів – є ключем до тривалої стійкості сакральних споруд [7].

Щоб виміряти матеріальну вразливість у динаміці часу, застосовується коефіцієнт довговічності матеріалу:

$$K_m = \frac{R_c}{(H_a + \chi_p) \times t^n}, \quad (6)$$

де R_c – початкова міцність матеріалу, H_a – вологість атмосфери, χ_p – коефіцієнт проникності, t – час експлуатації, n – показник швидкості старіння.

Дослідження Клауса Ціммермана довели, що при вологості понад 20% і високій температурній амплітуді (понад 35°C) коефіцієнт K_m знижується експоненційно. Для дерев'яних церков Східної Європи це означає втрату до 40% несучої здатності протягом двох століть [8].

Для систематизації результатів дослідження доцільно представити узагальнену типологію пошкоджень сакральних споруд під впливом природних катастроф. У таблиці 2 наведено основні види руйнувань, їхні джерела, характерні наслідки, географічні приклади та потенціал реставрації. Такий підхід дозволяє оцінити не лише фізичний, а й культурний рівень вразливості архітектури, оскільки кожен тип

впливу формує власну траєкторію деградації та різний рівень можливості повернення автентичного стану.

Таблиця 2

Основні типи пошкоджень сакральних споруд під впливом природних катастроф *(розроблено автором на основі [8])*

Тип пошкодження	Джерело впливу	Основні наслідки	Приклади сакральних об'єктів	Потенціал реставрації
Структурні	Землетрус, осідання ґрунтів	Тріщини, деформації склепінь, обвал куполів	Храми Вірменії, Середземномор'я, Карпат	Високий при цифровій документації
Термічні	Пожежі, блискавки	Оплавлення каменю, втрати фресок, перегрів кладки	Храми Італії, Іспанії, Греції	Середній, потребує спеціальної обробки
Гідрологічні	Повені, волога, ерозія	Осідання фундаментів, корозія матеріалів	Храми на берегах Дністра, Дунаю	Високий при гідроізоляції
Біологічні	Пліснява, мох, бактерії	Руйнування деревини, живопису	Дерев'яні церкви Галичини	Високий при системній консервації
Комплексні	Поєднання кількох чинників	Повна деградація структури	Монастирі Кавказу, Балкан	Низький без цифрової реконструкції

Порівняльний аналіз показує, що різні типи пошкоджень сакральних споруд мають не лише різну природу, але й різну глибину впливу на архітектурну ідентичність. Якщо структурні або гідрологічні руйнування можуть бути усунуті технічними методами, то термічні чи біологічні втрати часто зачіпають саму сутність художнього і духовного образу споруди. У більшості випадків відновлення після природних катастроф є не просто питанням реконструкції матеріалу, а реконструкцією автентичності – процесом, у якому важливо зберегти не лише форму, а й символічну тяглість сакрального простору.

Дослідження останніх десятиліть свідчать, що швидкість деградації матеріалів у релігійній архітектурі тісно пов'язана з кліматичними змінами. Зростання середньорічних температур, коливання рівня вологості, а також підвищення кислотності опадів прискорюють ерозію природних матеріалів. Наприклад, у регіонах Центральної Європи протягом останніх п'ятдесяти років спостерігається підвищення швидкості розшарування вапнякових кладок на 25–30%, що значно зменшує несучу здатність стін старовинних храмів [9].

Однак вразливість архітектури визначається не лише фізичними процесами, а й інерцією соціального реагування. У багатьох випадках стихійні події призводять до катастрофічних втрат через затримку в ухваленні рішень про консервацію або брак фінансування. Відсутність регулярного моніторингу вологості, температури та структурних коливань перетворює природну ерозію на лавиноподібний процес. Таким чином, ефективність захисту сакральної архітектури визначається не стільки силою самої природи, скільки ступенем підготовленості культурного менеджменту до ризиків.

На практиці помітною стає ще одна тенденція – асиметрія між регіонами. У країнах із розвинутою системою управління культурною спадщиною (Італія, Франція, Японія) рівень втрат після стихійних катастроф становить у середньому 10–12% від загального фонду сакральних об'єктів, тоді як у країнах, де превентивні програми не інтегровані в державну політику, цей показник сягає 40–60%.

Для ілюстрації динаміки фізичної деградації сакральних споруд під впливом природних чинників розроблений рис. 2. Він демонструє взаємозв'язок між часовими параметрами експлуатації, коливаннями вологості та температури й рівнем структурної стійкості архітектурного об'єкта. Графік дозволяє візуально простежити критичні фази руйнування матеріалів і підкреслює важливість своєчасного втручання – моменту, коли профілактичні заходи здатні змінити траєкторію деградації на стабілізаційну [10].

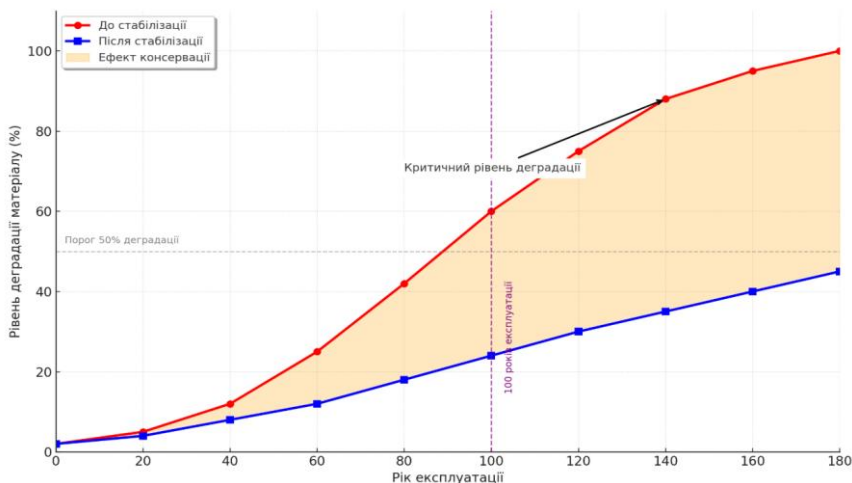


Рис. 2. Динаміка деградації сакральних споруд під впливом природних факторів (розроблено автором на основі [10])

Матеріальна вразливість храмів є водночас показником еволюції цивілізації. Кожна природна катастрофа відкриває новий рівень усвідомлення цінності спадщини. Досвід показує, що збереження сакральної архітектури потребує не лише технічних методів, а й етики співжиття з природою. Архітектура, яка узгоджується з середовищем, здатна пережити стихію, бо в її основі лежить гармонія, а не протистояння.

Сакральна архітектура у своїй сутності завжди перебувала між двома світами – природним і штучним. Якщо природні стихії випробовують її раптово, то техногенне середовище робить це непомітно, але постійно. Урбанізація, промислові процеси, транспортні вібрації, забруднення повітря, шумові та термічні хвилі поступово змінюють матеріальну структуру святинь. Техногенна деградація не є одномоментним актом, як землетрус чи пожежа, – це повільне виснаження, у якому архітектура втрачає не лише міцність, а й свій духовний ритм.

У сучасних містах храми опинилися в епіцентрі техногенного середовища – серед постійного руху, хімічних викидів і вібрацій, що передаються через ґрунт. Багато сакральних споруд, зведених ще в добу, коли архітектурна матерія взаємодіяла з природою, сьогодні не мають захисних механізмів проти нових типів навантажень. У результаті виникає поступова мікродеструкція, коли матеріали втрачають структурну щільність, куполи осідають, а фрески тьмяніють від кислотного середовища, не втрачаючи форми, але втрачаючи життя.

У межах дослідження техногенного впливу на сакральну архітектуру доцільно візуалізувати закономірність поступового руйнування храмових споруд під дією урбаністичних і промислових факторів [11]. Нижче подано рис. 3, що демонструє взаємозв'язок між інтенсивністю техногенного навантаження та рівнем деградації матеріальної структури сакральних об'єктів, а також вплив стабілізаційних заходів на зменшення цього процесу.

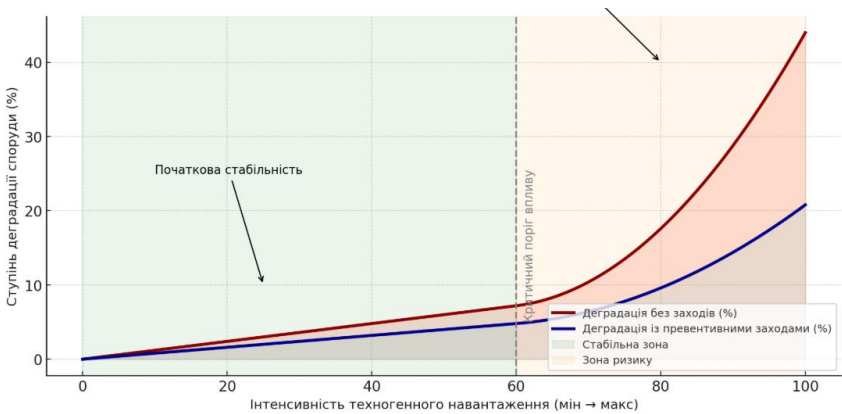


Рис. 3. Динаміка техногенного впливу на стан сакральної архітектури
(розроблено автором на основі [11])

Техногенна вразливість сакральної архітектури – це не лише інженерна проблема, а культурна метафора сучасності. Людина, що створює комфортне середовище для себе, водночас підточує основи своєї духовної пам'яті. Там, де колись панувала тиша й вертикаль віри, тепер домінує горизонт шуму. Архітектура, яка колись була посередником між небом і землею, змушена виживати в середовищі вібрацій, газів і безперервного руху.

Проте навіть у цьому контексті храм залишається живим організмом, що має здатність адаптуватися. Сучасні технології моніторингу – сенсори вібрації, температури, вологості, лазерні 3D-сканування – дозволяють створити точну «біографію споруди», фіксуючи її зміни у реальному часі. Це дає змогу не лише виявити осередки деградації, а й передбачити критичні межі навантажень, після яких розпочинаються незворотні процеси.

Важливо усвідомити, що техногенна небезпека для сакральної архітектури – це не лише питання фізичного руйнування. Це процес десакралізації простору, коли святина втрачає свою тишу, масштаб і духовну концентрацію. Коли храм стає лише

архітектурним об'єктом серед транспортних потоків, зникає його сакральна вертикаль, а з нею – відчуття зв'язку між земним і небесним.

Відновлення цієї рівноваги потребує не лише реставраційних програм, а й нового ставлення до міського середовища. Храм не повинен бути ізольованою пам'яткою – він має залишатися центром духовного тяжіння, навіть у техногенному місті. Його простір повинен не зникати під впливом шуму й пилу, а перетворюватися на місце спокою всередині динаміки, на точку стабільності серед потоку енергії.

Сакральна архітектура вчить, що духовне не зникає, навіть коли матеріальне зазнає втрат. І тому головне завдання сучасного суспільства – не зупинити техногенний розвиток, а навчитися будувати його у співзвуччї зі святинєю, а не проти неї. Там, де людина здатна гармонізувати технологію та віру, архітектура перестає бути вразливою – вона стає вічною у своїй здатності оновлюватися.

Архітектурна вразливість сакральної спадщини – це не лише технічна характеристика споруди, а глибокий показник духовного, культурного й історичного стану людства. У кожному епоху святині були центрами смислу, місцями, де матеріальне поєднувалося з нематеріальним, а форма ставала носієм віри. Проте саме ці споруди виявилися найвразливішими перед силами, які змінюють цивілізацію – війнами, стихійними лихами, техногенними процесами. Втрата храму – це завжди більше, ніж архітектурна подія; це втрата фрагмента колективної пам'яті, духовної ідентичності й відчуття історичної тягlostі.

Досвід минулого показує, що кожна катастрофа – природна, соціальна чи техногенна – залишає на сакральній архітектурі подвійний слід: руйнування матеріального тіла і перетворення духовного змісту. Руїна стає не лише наслідком, а й символом. Вона свідчить про крикстість людських створінь і водночас – про силу віри, здатної відроджувати форму з попелу. Саме через це святині, які пережили війни або стихії, стають новими знаками часу: вони зберігають не лише камінь, а й досвід страждання та надії.

Усвідомлення архітектурної вразливості сакральних споруд формує новий підхід до спадщини – не як до статичного артефакту, а як до живого процесу. Храм, монастир чи святиня – це не застиглий пам'ятник, а середовище, що дихає історією, реагує на середовище, змінюється разом із людьми. Сучасні технології моніторингу, цифрового сканування та моделювання дозволяють фіксувати цю «біографію споруди», роблячи архітектуру не лише об'єктом споглядання, а й джерелом знання про динаміку культури [12].

Водночас архітектурна вразливість виявляє глибший сенс – вона є нагадуванням про взаємозалежність людини, природи та духу. Там, де людина зневажає простір святині, руйнується не лише споруда, а й внутрішній баланс спільноти. І навпаки, там, де збереження храмів стає актом солідарності, відновлюється не лише матеріал, а й духовна тканина суспільства. Тому охорона сакральної спадщини – це не лише інженерна або мистецька справа, а форма культурного опору, спосіб утвердження цінності духовного у світі, де все частіше домінує утилітарне.

Сакральна архітектура виступає як дзеркало часу: вона показує, наскільки цивілізація здатна поєднувати прогрес і пам'ять, технологію і віру. У її стінах зберігається не лише історія народу, а й формула людяності, яка виявляється у прагненні створювати, а не знищувати. Збереження цих споруд – це не просто реконструкція минулого, а творення майбутнього, у якому духовна гідність людини стає наріжним каменем розвитку.

Висновок.

Архітектурна вразливість сакральної спадщини – це не лише показник фізичної стійкості споруди, а глибоке відображення духовного стану суспільства. Утрата храмів унаслідок воєн, стихійних чи техногенних катастроф – це втрата частини колективної пам'яті, символічного коду нації. Проте саме вразливість відкриває шлях до переосмислення спадщини як живого організму, здатного до відновлення через спільну волю, віру та сучасні технології.

Збереження сакральної архітектури потребує поєднання матеріальної реставрації з духовною ресакралізацією, інтеграції цифрових методів документації, аналітичного моніторингу й соціальної участі громад. У цьому полягає суть нової гуманістичної парадигми – культура пам'яті має перетворюватися на культуру відповідальності.

Сучасна архітектурна наука доводить, що навіть після руйнування сакральний простір може продовжувати існування у цифровій, культурній і духовній формах. Відновлення храмів – це не лише технічне завдання, а процес колективного очищення, у якому суспільство відтворює себе через акт пам'яті. Таким чином, архітектурна вразливість стає метафорою стійкості: святині зникають як матеріальні об'єкти, але залишаються вічними як символи духовної сили людства.

Список літератури:

1. Jeleński T. Practices of Built Heritage Post-Disaster Reconstruction for Resilient Cities. *Buildings*. 2018. Vol. 8, № 4. Art. 53. DOI:10.3390/buildings8040053.
2. Themistocleous, K., Evagorou, E., Mettas, Ch., Hadjimitsis, D. (2022). The use of digital twin models to document cultural heritage monuments. *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications XIII*, 13. DOI: 10.1117/12.2636332.
3. Cuca, B., Zaina, F., Tapete, D. Monitoring of Damages to Cultural Heritage across Europe Using Remote Sensing and Earth Observation: Assessment of Scientific and Grey Literature. *Remote Sensing*, 2023, 15(15), 3748. <https://doi.org/10.3390/rs15153748>
4. Norberg-Schulz Ch. *Genius Loci: Towards a Phenomenology of Architecture*. New York: Rizzoli, 1980. 216 p.
5. Fassbinder S. Preventive solutions for sensitive materials of cultural heritage. URL: <https://www.sensmat.eu/>
6. Lourenço P.B., Roca P., Modena C., Agrawal Sh Structural Analysis of Historical Constructions: Possibilities of numerical and experimental techniques. Proceedings of the 5th International Conference. New Delhi, India (6-8 November 2006). VOLUME 1. URL: <https://repositorium.uminho.pt/server/api/core/bitstreams/12e11a68-baf1-44f3-a419-00536f238186/content>
7. Andres B.; Betlej I.; Nowacka M.; Boruszewski P. Analysis of the Factors Leading to the Degradation of Wooden Cultural Heritage Based on the Example of a 16th-Century Sacred Monument in Poland. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, № 24. Art. 11475. DOI:10.3390/app142411475.
8. Sabbioni C., Cassar M., Brimblecombe P., Lefevre R.A. Vulnerability of Cultural Heritage to Climate Change. Strasbourg, 2008. URL: https://www.coe.int/t/dg4/majorhazards/activites/2009/ravello15-16may09/ravello_apcat2008_44_sabbioni-jan09_en.pdf
9. Chupryna I., Ryzhakova G., Chupryna K., Tormosov R., Gonchar V. Designing a toolset for the formalized evaluation and selection of reengineering projects to be implemented at an enterprise. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022, 1(13-115), 6–19.

10.Sesana E.; Campopiano G.; Orlando S.; D'Amico F. Climate change impacts on cultural heritage: A literature review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. 2021. Vol. 12, № 3. DOI:10.1002/wcc.710. URL: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wcc.710>

11.Чуприна Ю.А. Залучення прикладних переваг bim-технологій до методики і практики формування життєвого циклу проєктів у складі державних цільових програм, які втілюються будівельним кластером. *Економіка та держава*. 2019. № 3. С. 67–70. DOI: 10.32702/2306-6806.2019.3.67

12.Biasi C.; Coisson E. The effects of environmental temperature on historic stone-masonry structures. *Structural Analysis of Historical Constructions*. London: Taylor & Francis, 2008. <https://doi.org/10.1201/9781439828229.ch146>

Valentyn HYRIA

Architectural vulnerability during wars, natural disasters, and technological threats as a factor in the loss of sacred heritage

Sacred architecture is one of the most valuable carriers of humanity's spiritual and cultural memory, yet it demonstrates the greatest vulnerability during periods of war, natural disasters, and technological threats. The destruction of temples, monasteries, and sanctuaries leads not only to the loss of unique architectural forms but also disrupts the spiritual continuity of cultural identity. Architectural vulnerability under such conditions is considered a multifactorial process, in which physical, natural, social, and symbolic factors interact.

Wars test not only the structural integrity of buildings but also the spiritual resilience of societies. The deliberate destruction of sacred sites becomes an act of cultural genocide aimed at erasing collective memory. Natural disasters, in turn, reveal the material aging of temples and the technological limitations of past eras, while technological threats – pollution, vibrations, and climate fluctuations – cause hidden yet continuous structural degradation. The study emphasizes that the preservation of sacred heritage has both material and spiritual dimensions. Physical restoration of temples is impossible without resacralization of the space – restoring its original meaning through community participation, ritual practices, and the revival of historical memory. Several analytical models for assessing architectural resilience are proposed, including an integral vulnerability index, an equation of the structural-semantic energy of a temple, and a model of spiritual regeneration.

Particular attention is given to the role of digital technologies – 3D scanning, laser photogrammetry, and digital twins – that make it possible to record the condition of sacred structures and create precise virtual replicas to preserve them in the event of destruction. Thus, digital representation becomes a new form of memory that extends the life of architecture in virtual space. Architectural vulnerability emerges not only as a characteristic of physical structure but also as an indicator of a society's spiritual maturity. Where preservation occurs – even in digital form – culture demonstrates its responsibility and awareness of its historical continuity. The preservation of sacred architecture is, therefore, an act of spiritual resistance that affirms humanity's dignity and its capacity for renewal despite destruction.

Keywords: *sacred architecture, architectural vulnerability, cultural heritage, war, natural disasters, technological threats, digital restoration, spiritual continuity.*