







MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

 DOI 10.51582/interconf.19-20.01.2024.070

Математична модель акустичного контролю герметичності і цілісності конструкцій локального приміщення шляхом імпульсного акустичного зондування

Азаренко Олена Василівна¹ ,
Гончаренко Юлія Юріївна² ,
Дівізінюк Михайло Михайлович³ ,
Мирошник Олег Миколайович⁴ ,
Фаррахов Олександр Володимирович⁵ ,
Поляков Сергій Володимирович⁶ 

¹ доктор фізико-математичних наук, професор, заступник керівника;
Науково-дослідний лабораторно-експериментальний центр «БРАНД ТРЕЙД»; Україна

² доктор технічних наук, доцент, професор кафедри;
Європейський університет; Україна

³ доктор фізико-математичних наук, професор, головний науковий співробітник;
Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу об'єктів
атомної енергетики Національної академії наук України; Україна

⁴ доктор технічних наук, професор, заступник начальника інституту
з навчальної та наукової роботи;
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України; Україна

⁵ кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник;
Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу об'єктів
атомної енергетики Національної академії наук України; Україна

⁶ заступник начальника Головного управління з реагування на надзвичайні ситуації;
ГУ ДСНС України у Луганській області; Україна

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

Анотація.

Описується математична модель акустичного контролю герметичності та цілісності конструкцій локального приміщення шляхом імпульсного акустичного зондування. Розглянуто типову схему акустичного зондування та можливі зміни у структурі ехосигналів, що викликані порушенням герметичності та цілісності конструкцій локального приміщення. Проаналізовано математичні закономірності інтегральних перетворень Радона стосовно поширення акустичних хвиль. Надана характеристика ідентифікації акустичних ехосигналів стосовно акустичного сканування локального приміщення, та розроблена шукана математична модель. Зроблено висновок, що впровадження розробленої моделі в проектних організаціях дозволить, з одного боку, створювати нове покоління приладів та пристроїв безпеки для об'єктів критичної інфраструктури. З іншого боку, модернізувати існуючі системи охорони та пожежної сигналізації внутрішніх приміщень об'єктів критичної інфраструктури, що експлуатуються нині.

Ключові слова:

*Критична інфраструктура
засоби безпеки
акустична хвиля
рефлектор
ехосигнал
Фур'є-образ*

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

Вступ

Забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури є актуальною проблемою, яка постає перед Україною [1-3]. Для її вирішення залучаються вчені та практичні працівники з різних адміністративних та науково-дослідних структур [4-7]. Безпосередню експлуатацію систем та пристроїв забезпечення безпеки здійснюють працівники служб фізичного захисту об'єктів критичної інфраструктури [8,9]. Розробка нових підходів у вирішенні окремих завдань забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури включає не лише створення нових пристроїв забезпечення безпеки та модернізації існуючих систем та приладів, а й розробку нових математичних моделей, на основі яких ці системи створюються та модернізуються [10].

Мета даної роботи полягає у розробці математичної моделі акустичного контролю герметичності та цілісності конструкцій локального приміщення шляхом імпульсного акустичного зондування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання. Спочатку розглянемо типову схему акустичного зондування та можливі зміни у структурі ехосигналів, що викликані порушенням герметичності та цілісності конструкцій локального приміщення. Потім проаналізуємо математичні закономірності інтегральних перетворень Радона стосовно поширення акустичних хвиль. Після цього дамо характеристику ідентифікації акустичних ехосигналів стосовно акустичного сканування локального приміщення і розробимо шукану математичну модель.

Типова схема акустичного зондування та можливі зміни у структурі ехосигналів, що викликані порушенням герметичності та цілісності конструкцій локального приміщення.

Герметизація – це забезпечення непроникності газів і рідин на поверхні та місця з'єднання деталей. Герметизація поверхонь забезпечується за рахунок покриття матеріалами, непроникними для газів і рідин [11]. Стосовно внутрішніх приміщень об'єктів критичної інфраструктури це поняття трактується у більш широкому значенні. Тобто під терміном герметизоване приміщення вважається не тільки як газонепроникне або водонепроникне, приміщення під підвищеним або зниженим тиском, але і як звукоізовльоване (що виключає підслуховування або знімання мовної інформації), ізовльоване

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

(до якого обмежений доступ), режимне (вхід і знаходження в якому пов'язані) з державною або комерційною таємницею) та інше.

Будівельними конструкціями вважаються функціональні елементи у складі будівель чи споруд, що у сукупності утворюють цілісну структуру. Конструкція – це будова, пристрій, взаємне розташування елементів будь-якого предмета [12]. Строго кажучи, локальне внутрішнє приміщення – це один з елементів будівельної конструкції, що складається з елементів залізобетонного каркаса (якщо вони присутні в цьому приміщенні), міжповерхових або горизонтальних перекриттів, зовнішніх і внутрішніх несучих стін, перегородок (неосновних стін), віконних і дверних отворів, сходових маршів та інше.

Типову схему акустичного зондування локального приміщення об'єкту критичної інфраструктури представлено на рис.1.

На цій схемі основні елементи будівельних конструкцій обведені кружками. Під номером 1 позначені вікна та віконні отвори у зовнішній основній несучій стіні, яка позначена номером 2. Номером 3 позначені стійки залізобетонного каркасу будівлі, під номером 4 – внутрішні несучі стіни, на яких тримаються міжповерхові перекриття. Номером 5 позначено міжкімнатну перегородку, а під номером 6 – дверний отвір та тамбурні двері. Приймально-випромінюючий пристрій акустичного приладу розташований ліворуч від тамбурних дверей. Зондуючи акустичні імпульси, які ним випромінюються, поширюються по шести акустичних трасах і, відбившись від стаціонарних рефлекторів, закріплених на стінах, повертаються до нього. Час проходження зондуючих імпульсів від приймально-випромінюючого пристрою до рефлектора і назад визначається протяжністю акустичної траси і швидкістю поширення звуку в приміщенні.

Герметичність приміщення та цілісність його конструкції визначається станом його елементів. У разі ударних впливів по основним конструктивним елементам будівлі, в якому розташоване приміщення, вони будуть вібрувати. Разом зі стінами вібруватимуть і рефлектори, розташовані на них. Ці вібрації, у свою чергу, призведуть до спотворень відбитих від рефлекторів зондуючих імпульсів. Звісно, що ступінь цього спотворення залежатиме від інтенсивності та тривалості ударного впливу на будинок.

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

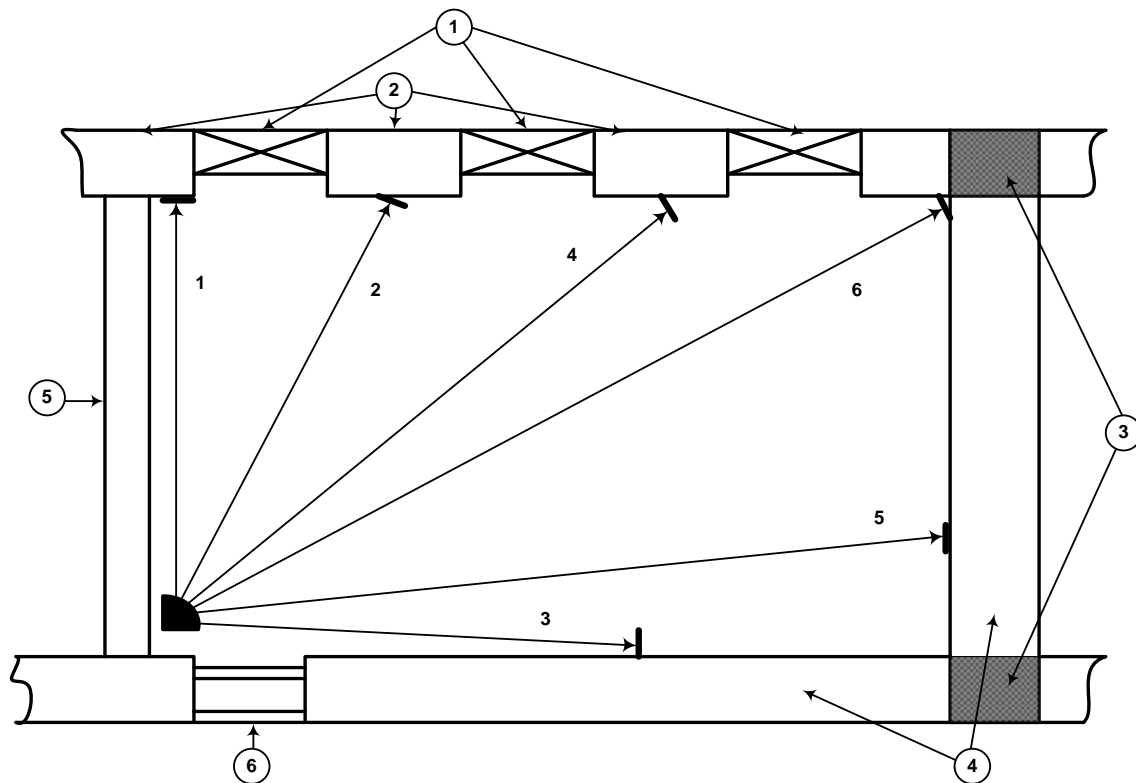


Рисунок 1

Схема акустичного зондування локального приміщення

Можливі такі основні порушення герметичності та цілісності конструкцій локального приміщення.

Перше – розбиття шибок у вікнах локального приміщення.

Друге – пошкодження однієї зі стін будівлі, що стикається з локальним приміщенням, але не мають зовнішніх ознак пошкодження (наприклад, приховані (внутрішні) тріщини або мікротріщини, внутрішнє пошкодження залізобетонного каркасу).

Третє – видимі пошкодження однієї зі стін будівлі, що стикається з локальним приміщенням, що розглядається.

Четверте – часткове руйнування однієї зі стін будівлі, що стикається з локальним приміщенням, що розглядається.

П'яте – видимі тріщини двох і більше стін будівлі, де одна зі стін стикається з локальним приміщенням, що розглядається. Або часткове руйнування двох і більше стін будівлі, де одна зі стін стикається з локальним приміщенням, що розглядається.

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

Слід зазначити, що розглядається узагальнена типова схема. Переважна більшість локальних приміщень, таких як підземні міжцехові переходи, коридори кабельних трас, трубопровідні вигородки, аварійні виходи, аварійні сходові марші та інші, в принципі, не мають вікон. Обслуговуючий персонал відвідує їх періодично, що дозволяє оперативно оцінювати цілісність їх конструкцій без застосування приладів дистанційного контролю.

Зміна відбитих ехосигналів відбувається внаслідок вібрацій, викликаних безпосереднім ударним впливом на об'єкт критичної інфраструктури. Явні та приховані пошкодження основних конструкцій (тріщини та мікротріщини у стінах та залізобетонних каркасах) викликають резонансні перевипромінювання, які призводять до спотворень переднього та заднього фронтів зондувальних ехосигналів.

Отже, типова схема акустичного зондування локального приміщення об'єкту критичної інфраструктури передбачає випромінювання приймально-випромінюючим пристроєм зондувальних акустичних імпульсів, які поширюються акустичними трасами і, відбившись від стаціонарних рефлекторів, закріплених на стінах, повертаються до нього. Ударні дії по будівлі об'єкту, а також видимі та приховані пошкодження основних конструкцій будівлі призводять до спотворень відбитих зондувальних ехосигналів.

Математичні закономірності інтегральних перетворень Радону стосовно поширення акустичних хвиль

У локальних приміщеннях акустичне сканування, на перший погляд, є досить очевидним завданням. Наявність спеціальних рефлекторів, зафіксованих на стінах, дозволяє отримати досить чіткі ехосигнали і за часом їх проходження досить об'єктивно оцінювати стан приміщення. Однак, випромінені в локальному приміщенні акустичні сигнали відбиваються від стін, міжповерхових перекриттів, що утворюють підлогу і стелю приміщення. Безперечно, ці відбиття в класичній акустиці вважаються перешкодами. Кожна з перешкод, утворена відбиттям або перевипромінюванням несе в собі інформацію не тільки про стан поверхні, що відбиває, але і про однорідність стіни або перекриття. Ця перешкода повторюватиметься від випромінювання до випромінювання, але при цьому змінюватиметься при появі в стінах порожнин, тріщин або інших приміщень. У свою чергу це

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

дозволяє розглядати перешкодову обстановку як інформацію про сукупність протяжних розподілених акустичних відбиттів [13–17], що дозволяють виявляти різні пошкодження, що з'являються в конструкціях локальних приміщень.

Перетворення Фур'є грає особливу роль в теорії радіотехнічних систем і теорії обробки сигналів, до яких належать приймально-випромінюючі акустичні пристрої. У нашому випадку доречним є використання перетворення Фур'є у просторі Шварца Ψ та пов'язаному йому просторі Ψ'

Простір Шварца $\Psi(\mathbf{R}^n)$ є лінійним простором визначених на евклідовому n -мірному просторі \mathbf{R}^n функцій f . Якщо f належить нормованому простору, визначеному на \mathbf{R}^n , тобто $f \in \mathbf{R}^n$, то перетворення Фур'є \hat{f} та зворотне перетворення Фур'є \tilde{f} задаються формулами:

$$\hat{f}(\xi) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^n}} \int_{\mathbf{R}^n} e^{-ix \cdot \xi} f(x) dx, \quad (1)$$

$$\tilde{f}(\xi) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^n}} \int_{\mathbf{R}^n} e^{ix \cdot \xi} f(x) dx. \quad (2)$$

Формула обернення для перетворення Фур'є має вигляд:

$$\tilde{\tilde{f}} = \tilde{f}(\xi) = f, \quad (3)$$

де $f \in \Psi$,

тобто перетворення Фур'є взаємно зворотні і однозначно взаємно відображають простір Шварца в себе.

Якщо f має компактний носій, то f допускає аналітичне продовження на n -мірному комплексному просторі.

Для точкових одиночних цілей відбитий акустичний сигнал найкраще описується спеціальною δ -функцією Дірака:

$$\delta_x f = f(x); \delta = \delta_0 \quad (4)$$

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

Знайдемо для неї Фур'є-образ

$$\hat{\delta}_x \cdot f = \delta_x \cdot \hat{f} = \hat{f}(x) = (2\pi)^{\frac{-n}{2}} \int_{\mathbb{R}^n} e^{-ix \cdot \xi} \cdot f(\xi) d\xi, \quad (5)$$

Тобто

$$\hat{\delta}_x(\xi) = (2\pi)^{\frac{-n}{2}} e^{-ix \cdot \xi}. \quad (6)$$

Застосовуючи формально формулу зворотного перетворення Фур'є, отримуємо для δ -функції вираз:

$$\delta(y) = (2\pi)^{\frac{-n}{2}} \int_{\mathbb{R}^n} e^{iy \cdot \xi} d\xi. \quad (7)$$

Формально отриманий вираз (7) немає сенсу, оскільки експонента не інтегрується.

Розглянемо функцію (8) для позитивних, b , тобто $b > 0$:

$$\delta^b(y) = (2\pi)^{-n} \int_{|\xi| < b} e^{iy \cdot \xi} d\xi. \quad (8)$$

Для f із простору Шварца існує межа:

$$\lim_{b \rightarrow \infty} \int_{\mathbb{R}^n} \delta^b(y) f(y) dy = f(0). \quad (9)$$

Це означає, що δ^b поточково сходиться до δ в просторі Ψ' , сполученому з простором Шварца.

Отже, δ^b апроксимує δ -функцію. провівши ряд перетворень, отримуємо вираз δ^b :

$$\delta^b(y) = (2\pi)^{\frac{-n}{2}} \cdot b^n \cdot \frac{J_n(b|y|)}{(b|y|)^{\frac{n}{2}}} \quad (10)$$

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

$J_{\frac{n}{2}}$ – функція Бесселя першого роду.

Для протяжних цілей акустичний сигнал найкраще описується гребінчастою функцією:

$$\psi_h = \sum_{k \in \mathbb{Z}^n} \delta_{hk}; \quad h > 0. \quad (11)$$

Для знаходження Фур'є образу (11) скористаємося розкладанням у ряд Фур'є періодичної функції (12) на інтервалі $\left[-\frac{\pi}{n}; \frac{\pi}{n}\right]$:

$$g(\xi) = \sum_l f\left(\xi - \frac{2\pi}{h}l\right). \quad (12)$$

Виконавши розкладання та перетворення функції g , яка залежить від f , де f належить простору Шварца, отримаємо:

$$\sum_e \hat{f}\left(\xi - \frac{2\pi}{h}e\right) = (2\pi)^{\frac{-n}{2}} \cdot h^n \cdot \sum_h f(hk) \cdot e^{-ihk\xi \cdot k}. \quad (13)$$

При $\xi = 0$ вираз (13) представляє собою формулу Пуассона:

$$\frac{\hat{\Psi}2\pi}{h} = (2\pi)^{\frac{n}{2}} \cdot h^n \cdot \psi_h, \quad (14)$$

яку можна представити у вигляді:

$$\int f(x)dx = h^n \sum_k f(hk) - (2\pi)^{\frac{n}{2}} \sum_{l \neq 0} \hat{f}\left(\frac{2\pi}{h}l\right) \quad (15)$$

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

та інтерпретувати як представлення похибок квадратурної формули трапецій.

Аналогічна формула для періодичної функції із періодом a має вигляд:

$$\int_{[0,a]^n} f(x) dx = h^n \sum_{0 \leq k < p} f(hk) - a^n \sum_{c \neq 0} C_i, \quad h = \frac{a}{p}, \quad (16)$$

де C_i – коефіцієнт Фур'є функції f на $[0; a]$.

Отримані Фур'є-образи δ -функції (10) для одиночних об'єктів та математичні варіанти Фур'є-образів для протяжних відображень (13), (14), (15), (16) дозволяють створювати типові (віртуальні та конкретні) образи для акустичних відбитків, або елементів перешкодової обстановки при акустичному імпульсному скануванні, що несуть інформацію про приховані внутрішні пошкодження стін та перекриттів приміщення.

Отже, основним прототипом для створення віртуальних Фур'є-образів акустичних відбиттів від внутрішніх пошкоджень стін і перекриттів приміщення є математична функція, що апроксимує функцію для точкових об'єктів, і чотири варіанти гребінчастої функції для розподілених, протяжних акустичних відбитків.

Характеристика ідентифікації акустичних ехосигналів стосовно акустичного сканування локального приміщення та розробка шуканої математичної моделі

Вище було запропоновано умовно розділити все різноманіття акустичних відображень або ехосигналів на п'ять основних груп (класів), які математично описуються п'ятьма математичними прототипами (Фур'є-образами). Розглянемо ці групи.

Перша група ехосигналів отримала назву одиночних відбитків. У першу чергу це відбиття від невеликих предметів з хорошими відбиваючими характеристиками. До таких предметів відносяться рефлектори, розташовані на різних стінах локального приміщення, що розглядається. Ехосигнал, що відбивається від рефлектора, як правило, є непрямою (його тривалість практично збігається з тривалістю випромінюваного

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

акустичного сигналу). Його чіткість забезпечується крутими переднім та заднім фронтами. Подібні поодинокі відображення описуються залежністю (10), або функцією яка апроксимує дельта-функцію.

Іншими словами, наявність постійних поодиноких відображень, кількість яких відповідає числу встановлених у приміщенні рефлекторів, свідчить про герметичність приміщення та цілісність його конструкцій. Короткочасна поява великої кількості одиночних відбитків, що значно перевищують кількість рефлекторів, свідчить про порушення герметичності приміщення, а саме: розбиття скла у вікнах локального приміщення.

Наступні чотири групи відбитків отримали назву протяжних. Це пояснюється тим, що ці ехосигнали є результатом відбиття від поверхонь стін і перекриттів, а також відбиттям частини акустичних хвиль, що проникають всередину стін і перекриттів і відбиваються від неоднорідностей, що знаходяться всередині. Протяжні відображення описуються чотирма варіантами гребінчастої функції.

Першим варіантом є перетворення функції g , що залежить від f , що належать простору Шварца, і описується залежністю (13). Цією залежністю описуються протяжні ехосигнали, які виникають при появі прихованих (внутрішніх) тріщин або мікротріщин в одній зі стін будівлі, що стикається з локальним приміщенням, що розглядається. Подібні відбиття можуть бути результатом внутрішніх пошкоджень залізобетонного каркаса, що не має зовнішніх ознак пошкодження.

Другий варіант гребінчастої функції – це залежність (14), яка є формулою Пуассона. Поява подібних відбиттів свідчить вже про візуально фіксовані пошкодження однієї зі стін будівлі, що стикається з локальним приміщенням, що розглядається.

Третій варіант гребінчастої функції описується залежністю (15), яка є однією з відомих інтерпретацій формули Пуассона. Цією залежністю описуються протяжні ехосигнали, які є результатом часткового руйнування однієї зі стін будівлі, що стикається з локальним приміщенням, що розглядається.

Четвертий варіант гребінчастої функції – це залежність (16), що дає уявлення похибок квадратурної формули трапецій

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

періодичної функції з періодом a . Поява подібних відбиттів свідчить вже про часткове руйнування двох і більше стін будівлі, де одна зі стін стикається з локальним приміщенням, що розглядається.

Тепер, поєднуючи п'ять залежностей (10), (13), (14), (15) та (16), в одну систему (17), отримуємо шукану математичну модель акустичного контролю герметичності та цілісності конструкцій локального приміщення шляхом імпульсного акустичного зондування.

$$\left. \begin{aligned} \delta^b(y) &= (2\pi)^{\frac{-n}{2}} \cdot b^n \cdot \frac{J_{\frac{n}{2}}(b|y|)}{(b|y|)^{\frac{n}{2}}} \\ \sum_e \hat{f}\left(\xi - \frac{2\pi}{h}e\right) &= (2\pi)^{\frac{-n}{2}} \cdot h^n \cdot \sum_h f(hk) \cdot e^{-ihk\xi \cdot k} \\ \frac{\hat{\Psi}2\pi}{h} &= (2\pi)^{\frac{n}{2}} \cdot h^n \cdot \psi_h \\ \int f(x)dx &= h^n \sum_k f(hk) - (2\pi)^{\frac{n}{2}} \sum_{l \neq 0} \hat{f}\left(\frac{2\pi}{h}l\right) \\ \int_{[0,a]^n} f(x)dx &= h^n \cdot \sum_{0 \leq k < p} f(hk) - a^n \sum_{c \neq 0} C_i, h = \frac{a}{p} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

де δ^b – спеціальна дельта функція Дірака ($b > 0$),

$J_{\frac{n}{2}}$ – функція Бесселя першого роду,

n – міра простору \mathbf{R}^n ,

U – компактний носій,

f – належить нормуючому простору, тобто $f \in \mathbf{R}^n$,

\hat{f} – перетворення Фур'є,

ξ – поточні значення аргументу,

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

h, k, l – елементи розкладу в ряд періодичної функції,
 Ψ – простір Шварца, і відповідний йому простір $\hat{\Psi}$,
 C_i – коефіцієнт Фур'є функції f на $[0; a]$.

Висновки

Таким чином, математична модель акустичного контролю герметичності та цілісності конструкцій локального приміщення шляхом імпульсного акустичного зондування являє собою систему з п'яти залежностей, що описують Фур'є-образи станів приміщення, що розглядається. Перша – герметичне приміщення. Друга – приховані (внутрішні) тріщини або мікротріщини стін або внутрішнє пошкодження залізобетонного каркасу. Третя – видимі пошкодження однієї зі стін будівлі, що стикається з локальним приміщенням, що розглядається. Четверта – часткове руйнування однієї зі стін будівлі, що стикається з розглянутим локальним приміщенням, і п'ята – часткове руйнування двох і більше зі стін будівлі, де одна зі стін стикається з локальним приміщенням, що розглядається.

Впровадження розробленої моделі в проектних організаціях дозволить, з одного боку, створювати нове покоління приладів та пристроїв безпеки для об'єктів критичної інфраструктури. З іншого боку, модернізувати існуючі системи охорони та пожежної сигналізації внутрішніх приміщень об'єктів критичної інфраструктури, що експлуатуються нині.

References:

- [1] Ключове завдання нашої держави... Офіційне інтернет-представництво Президента України. Промови та звернення. (2024). Вилучено з: <https://www.president.gov.ua/news/speeches>
- [2] Закон України «Про критичну інфраструктуру» (Редакція від 05.12.2022р.). Вилучено з: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text>
- [3] Дивизинюк М.М., Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Шевченко Р.І., Шевченко О.С. (2023). Характеристика об'єктів критичної інфраструктури держави (особливості ядерних та інших стратегічних об'єктів). *Комунальне господарство міст, том 1, випуск 175*. С.160 – 168
- [4] Азаренко Е.В., Гончаренко Ю.Ю., Дивизинюк М.М., Ожиганова М.И. (2018). *Защита критической инфраструктуры государства от террористического воздействия*. Київ: ІГНС НАНУ.
- [5] Дивизинюк, М.М., Азаренко, Е.В., Гончаренко, Ю.Ю., Лазаренко, С.В., Ожиганова, М.И. (2019). *Информационно-технические методы*

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

- предотвращения чрезвычайных ситуаций террористического характера на объектах критической инфраструктуры. Часть 1. С использованием активных импульсных радиолокационных.*
- [6] Азаренко О.В., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Камишенцев Г.В., Лукашенко В.В. (2023). *Інформаційно-технічні методи забезпечення державної безпеки України. Частина 2. З використанням відеосистем зовнішнього спостереження*. Монографія. Київ: ДУ ІГНС НАН України.
- [7] Diviziniuk M., Azarenko O., Honcharenko Yu., Divizinyuk M., Shevchenko O., Shevchenko R. (2023). *Challenges and threats to critical infrastructure. Generalization of the characteristics of critical state infrastructure objects*. Collective monograph – NGO Institute for Cyberspace Research (Detroit, Michigan, USA).
- [8] Закон України «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання». (Редакція від 16.10.2022р.). Вилучено з: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2064-14#Text>
- [9] Азаренко О.В., Гвоздь В.М., Гончаренко Ю.Ю., Дівізінюк М.М., Фаррахов О.В., Сівоха І.Г. (2023). Основні положення концепції максимальної безпеки ядерного об'єкту при мінімумі витрат. *Міжнародний науковий журнал «Грааль науки» № 32 (жовтень, 2023) : за матеріалами VI Міжнародної науково-практичної конференції «Globalization of scientific knowledge: international cooperation and integration of sciences», що проводилася 13 жовтня 2023 року ГО «Європейська наукова платформа» (Вінниця, Україна) та ТОВ «International Centre Corporative Management» (Відень, Австрія). С.101-109. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.13.10.2023.018>*
- [10] Дівізінюк, М.М., Єременко, С.А., Лефтеров, О.А., Пруський, А.В., Стрілець, В.В., Стрілець, В.М., Шевченко, Р.І. (2022). *Теоретичні засади парадигми «цивільний захист»*. Монографія. Київ: ТОВ «АЗИМУТ-ПРИНТ».
- [11] Герметичність. (2022). Вилучено з: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Герметичність>
- [12] Конструкція. (2022). Вилучено з: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Конструкція>
- [13] Колмогоров А.Н. (1941). Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей. *Извещения Академии Наук, серия математическая*. М.: Академия Наук. № 5. С.3-14.
- [14] Wiener N. (1949). *Extrapolation, interpolation and soothing of stationary time series*. New-York: John Wiley.
- [15] Тихонов В.И. (1969). *Выбросы случайных процессов*. М.: Наука.
- [16] Лазаренко С.В. (2017). Подходы к решению теоретической задачи идентификации радиолокационных целей для предотвращения чрезвычайных ситуаций террористического характера. *Зв'язок. Науковий журнал*. Київ: ДУТ. № 3 (127). С.23-26.
- [17] Divizinyuk M., Lutsyk I., Rak V., Kasatkina N., Franko Y. (2021). *Mathematical Model of Identification of Radar Targets for Security of Objects of Critical Infrastructure. 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT. 15-17 Sept. 2021*. pp. 95-100. <https://doi.org/10.1109/ACIT52158.2021.9548374>