

УДК 725

ВПЛИВ ВИБУХОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ

Г.М. Іванченко¹,
доктор техн. наук, професор

Г.В. Гетун¹,
канд. техн. наук, доцент

І.С. Безклубенко¹,
канд. техн. наук, доцент

А.В. Соломін²,
канд. фіз.-мат. наук, доцент

О.М. Постернак¹,
асистент

¹Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський просп., 31, м. Київ, Україна. 03680

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
проспект Перемоги, 37, м. Київ, Україна. 03056

DOI: 10.32347/2410-2547.2023.111.39-48

Анотація. У статті обґрунтована актуальність проектування і будівництва будівель і споруд цивільного захисту населення України в умовах можливих ударно-вибухових і вогневих уражень. Метою роботи є систематизація інформації про впливи вибухових навантажень на конструкції будівель та надання рекомендацій щодо покращення стійкості будівель і споруд цивільного захисту населення.

Розглянуті та систематизовані впливи ударної хвилі під час детонації вибухових речовин на конструкції будівель. Проаналізовані особливості розподілу тиску ударної хвилі на конструкції будівлі у часі, в залежності від їх відстані до епіцентру вибуху. Виявлені особливості впливу вибухової хвилі, яка поширюється від осередку детонації, на малоповерхові будівлі з плоскими покриттями і послідовність розвитку деформацій та руйнувань їх конструкцій на трьох етапах розповсюдження хвилі. Проаналізовано характер впливу вибухової хвилі на багатоповерхові і висотні будівлі та послідовність розвитку деформацій і руйнувань їх конструкцій. Наведені приклади руйнування конструкцій будівель різних конструктивних систем від вибухів.

У роботі надані рекомендації щодо проектування вибухостійких будівель з вбудованими бомбосховищами, які здатні чинити опір вибуховим впливам без прогресуючого колапсу, що призводить до появи каскадної послідовності пошкоджень суміжних конструкцій будівлі. Проаналізовані шляхи перерозподілу гравітаційних навантажень на конструктивні системи будівель та їх конструкції і наведені рекомендації щодо проектування вибухостійких будівель. Зроблені висновки про доцільність використання монолітних залізобетонних каркасів, які здатні пластично деформуватися, перерозподіляти зусилля і запобігати виникненню прогресуючого колапсу, який призводить до появи каскадної послідовності пошкоджень суміжних конструкцій будівлі.

Ключові слова: будівля, захисна споруда, навантаження, вибуховий вплив, ударна хвиля, конструкція, деформація, каркасна система, вузли залізобетонних рам.

Постановка проблеми і аналіз попередніх досліджень

29 липня 2022 року в Україні введено у дію Закон № 2486-IX «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо забезпечення вимог цивільного захисту під час планування та забудови територій», який вимагає від забудовників проектування та будівництва захисних споруд цивільного захисту або споруд подвійного призначення для об'єктів будівництва, які за класом наслідків (відповідальності) належать до об'єктів із середніми (СС2) та значними (СС3) наслідками, на яких постійно перебувають понад 50 фізичних осіб або періодично перебувають понад 100 фізичних осіб [2, 9, 14, 15].

Захисні інженерні споруди цивільного призначення для захисту населення від впливу небезпечних чинників та дії засобів ураження, які виникають внаслідок надзвичайних ситуацій, воєнних дій або терористичних актів, повинні проектуватися з врахуванням вимог пожежної та техногенної безпеки [1, 15, 17]. Найважливішим фактором

проектування захисних споруд є їх раціональне розміщення в структурі будівлі, що потребує злагодженої роботи архітекторів та інженерів конструкторів. На першому етапі проектування, коли архітектори розробляють об'ємно-планувальні рішення будівлі, призначають їх основні габаритні розміри, викреслюють плани і розрізи, необхідно раціонально розмістити укриття в об'ємі будівлі, узгодити з інженером-конструктором конструктивну систему і схему будівлі, вибрати матеріали основних несучих конструкцій будівлі та укриття, призначити їх орієнтовні розміри, зібрати навантаження і виконати подальші статичні та конструктивні розрахунки [2, 5, 15]. Надійність захисту людей в укриттях у першу чергу забезпечується міцністю несучих і огорожувальних конструкцій, а також створенням оптимальних санітарно-технічних умов для нормальної життєдіяльності укритих в них людей протягом двох діб [1, 14, 16].

Основні несучі конструкції захисних споруд цивільного захисту повинні витримувати всі види статичних і динамічних навантажень і впливів від можливих вибухів і детонації. Навантаження від вибухів можна деяким чином порівнювати з навантаженнями, які виникають в результаті природних надзвичайних явищ, а саме: землетрусів, екстремальних навантажень від вітру (ураганів з тривалим періодом часу або торнадо малої тривалості). Характерною особливістю таких навантажень і впливів на конструкції будівлі є домінування горизонтальної складової навантаження над вертикальною [3, 7, 8, 13].

Мета публікації полягає в класифікації та систематизації навантажень і впливів на конструкції будівель від вибухів і детонації.

Основне дослідження. Більшість руйнувань, завданих вибухом, викликається впливом ударної хвилі, яка виникає під час детонації вибухових речовин. Детонація – це процес хімічного перетворення (згорання) вибухових речовин, який супроводжується вивільненням енергії, що поширюється у вигляді ударної хвилі з високою (надзвуковою) швидкістю, завдяки чому розвивається тиск на конструкції будівель, який у твердих тілах становить декілька десятків ГПа.

Ударна хвиля є стрибком ущільнення в середовищі, що рухається з надзвуковою швидкістю (більше 350 м/с для атмосфери). Під час атмосферного вибуху стрибок ущільнення – це невелика зона, в якій відбувається майже миттєве підвищення температури, тиску та густини повітря. Безпосередньо за фронтом ударної хвилі відбувається зниження тиску та щільності повітря, від невеликого зниження далеко від центру вибуху до майже вакууму всередині вогненної сфери. Наслідком цього зниження є зворотний хід повітря та потужний вітер вздовж поверхні зі швидкостями до 100 км/год. та більше до епіцентру. Ударна хвиля руйнує будівлі, споруди і вражає незахищених людей, а близько до епіцентру наземного чи дуже низького повітряного вибуху, породжує потужні сейсмічні коливання, здатні зруйнувати або пошкодити споруди і комунікації та травмувати людей.

Більшість будівель, крім спеціально укріплених, серйозно пошкоджуються або руйнуються під дією надлишкового тиску 21...36 кПа. Енергія розподіляється всією пройденою відстанню, через що сила впливу ударної хвилі зменшується пропорційно кубу відстані від епіцентру.

Характеристики та інтенсивність вибухового навантаження визначаються вагою і типом вибухової речовини, а також відстанню від місця детонації до будівлі або захисної споруди. Неможливо заздалегідь точно визначити вагу і тип вибухової речовини, а тому вибухові матеріали класифікують за ступенем спричиненої потенційної шкоди від детонації та за виділенням «високої» або «низької» енергії. За даними ФБР вибухові речовини «високої енергії», які ефективно перетворюють хімічні реакції в тиск вибуху, становлять менше 1% всіх вибухових матеріалів [12]. Переважна більшість вибухів характеризується низьким виділенням енергії, у яких значна частина вибухового матеріалу витрачається на дефлаграційне горіння з швидкістю поширення у кілька м/с (дозвукове згорання), яке зазвичай поширюється по конструкціях будівель через теплопровідність і менш руйнівне для будівель, ніж детонація. В таких випадках велика

частина хімічної енергії розсіюється по матеріалу конструкцій як тепла енергія, що спричиняє пожежу або пошкодження тепловим випромінюванням.

Для конкретного типу і ваги вибухового матеріалу інтенсивність вибухового навантаження залежить від відстані та орієнтації вибухової хвилі відносно простору, що захищається. Ударна хвиля характеризується майже миттєвим підвищенням тиску (P), що експоненціально затухає протягом кількох мілісекунд, після чого настає довготривала негативна фаза тиску меншої інтенсивності [4, 12]. Початкову величину тиску називають піковим тиском, а тиск повітряної хвилі, розташований нижче горизонтальної лінії часу, а саме тривала динаміка тиску повітряної хвилі, – імпульсом (рис. 1). Тому імпульс, пов'язаний з поштовхом ударної хвилі, враховує як інтенсивність тиску, так і тривалість імпульсу. Оскільки фронт ударної хвилі поширюється від джерела детонації з надзвуковою швидкістю, він розширюється в дедалі більші об'єми повітря. У випадках віддалення фронту ударної хвилі від джерела детонації, піковий (максимальний) тиск при ударі на фронтальні поверхні будівлі буде зменшуватися, а тривалість імпульсу тиску збільшуватися (рис. 1, пунктирна крива).

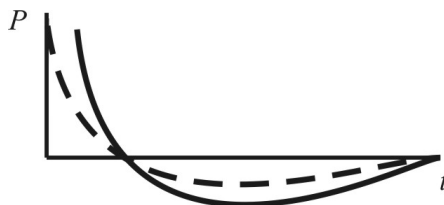


Рис. 1. Розподіл тиску ударної хвилі на конструкції будівлі у часі (t) при наближеному фронті ударної хвилі (сувільна крива) і при віддаленому фронті ударної хвилі (пунктирна крива)

Величина пікових тисків та імпульсів зменшується із збільшенням відстані від джерела, а результуючі моделі вибухового навантаження мають вигляд концентричних кіл із зменшеними інтенсивностями. Такий ефект аналогічний круговій брижі, яка створюється, коли предмет впав у водойму. Фронт ударної хвилі спочатку вдаряється по передніх поверхнях будівлі (фасадах, покриттях), розташованих на його шляху, відбивається, заломлюється, відбувається дифракція – хвильовий рух спостерігається в області за перешкодою, створюються зони фокусування та тіні на огорожувальних конструкціях будівлі. Такі закономірності інтенсивності вибухового навантаження є складними, оскільки хвилі охоплюють всю будівлю. Тиск, що навантажує покриття, бічні та задню частину будівлі, називається падаючим тиском, а тиск, який навантажує оболонку будівлі, яка знаходиться прямо навпроти вибуху, називається відбитим тиском. Інтенсивність пікового тиску, а також імпульс впливають на потенціал небезпеки вибухового навантаження. Для визначення величини тиску та імпульсів, які можуть навантажувати зовнішні огорожувальні конструкції будівлі відносно джерела детонації, необхідні детальні дослідження.

Наслідки вибуху для малоповерхових будівель

До малоповерхових будівель відносяться житлові будинки висотою до трьох поверхів і нежитлові будівлі висотою до 9 м [6, 15, 16]. Уразливими для таких будівель є конструкції похилих покриттів і покрівлі, які виходять з ладу як при невеликих вибухових навантаженнях і малих епіцентральных відстанях, так і при потужних вибухах і великих відстанях. Більш стійкими до вибухових навантажень є малоповерхові будівлі із залізобетонним каркасом і плоскими горищними та суміщеними покриттями із залізобетонних збірних або монолітних плит. Менш стійкими є будівлі с несучими цегляними стінами, збірними залізобетонними плитами перекриттів і похилими покриттями.

На рис. 2 показаний характер впливу вибухової хвилі, яка розширюється від осередку детонації, на малоповерхову будівлю з плоским покриттям і послідовність розвитку деформацій та руйнування її конструкцій на трьох етапах розповсюдження хвилі.

На першому етапі відбувається піковий вплив вибухової хвилі на конструкції фронтальних поверхонь будівлі (рис. 2 (1)). Розміри пошкоджень найбільші у безпосередній близькості від джерела детонації – руйнуються вікна, вітражі (рис. 3), балкони, лоджії та конструкції стін.

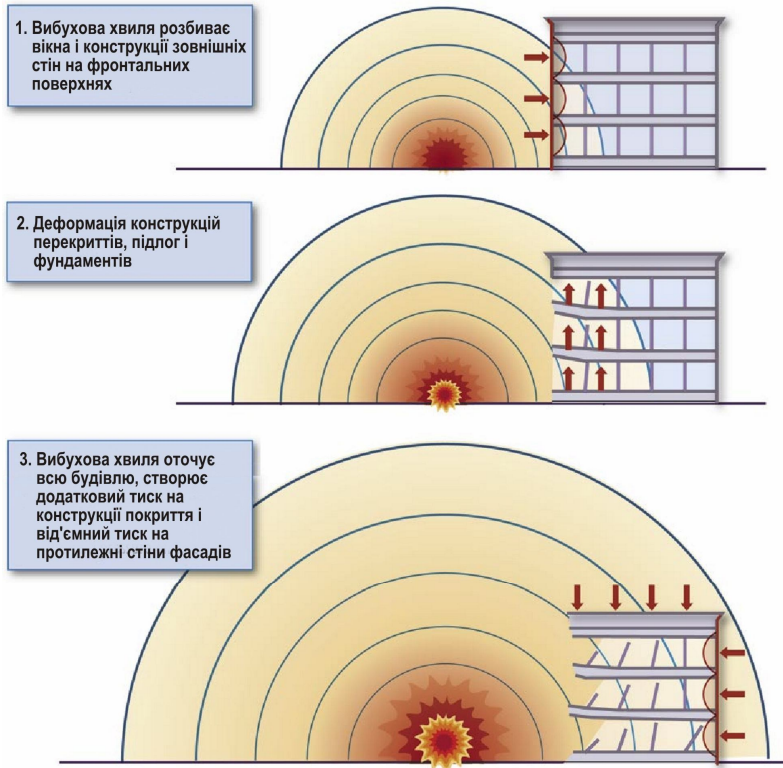


Рис. 2. Етапи розвитку деформацій та руйнування конструкцій будівлі від впливу вибухової хвилі: 1 – перший етап з піковим тиском на фронтальні поверхні; 2 – середній етап з тривалою динамікою тиску; 3 – етап охоплення вибуховою хвилею всіх конструкцій

На другому етапі, для якого характерна тривала динаміка вибухового тиску, відбувається реверсування вибухового навантаження на плити перекриттів, перерозподіл



Рис. 3. Руйнування вітражів каркасної будівлі торговельного центру в результаті російських ракетних обстрілів, м. Миколаїв, 16 травня 2023 р.

внутрішніх зусиль в горизонтальних і вертикальних конструкціях будівлі та передача горизонтальних зсувних навантажень на фундаменти (рис. 2 (2)). В результаті направлення вибухового тиску вгору можливі руйнування плит перекриттів (рис. 4).

На третьому етапі вибухова хвиля охоплює всю будівлю (рис. 2 (3)). В результаті перерозподілу зусиль в конструкціях

будівлі та виникнення непружних деформацій створюється додатковий тиск на конструкції покриття і від'ємний тиск на стіни, розташовані з протилежного до вибуху

боку, які спричиняють появу тріщин і руйнування несучих і огорожувальних конструкцій (рис. 5).

Вибухи великої інтенсивності можуть призвести до прогресуючого колапсу, який призводить до появи каскадної послідовності пошкоджень суміжних конструкцій будівлі, які є непропорційно великими по відношенню до початкового локалізованого збою. Будівлі, що знаходяться на великих відстанях від джерела детонації вибухів великої потужності, найчастіше не зазнають впливів, які призводять до прогресуючого руйнування конструкцій.

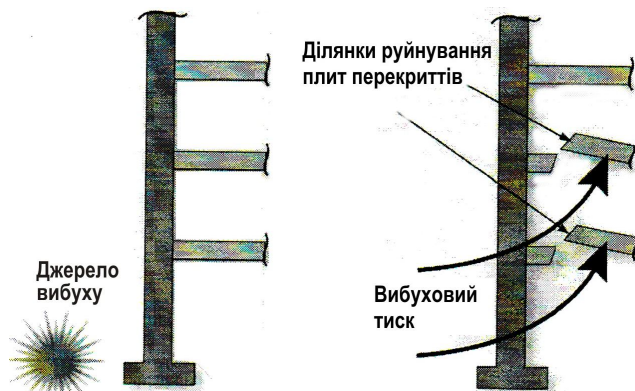


Рис. 4. Можливі руйнування плит перекриттів в результаті направлення вибухового тиску вгору



Рис. 5. Руйнування каркасно-панельної будівлі школи в результаті влучання російської ракети, м. Харків, 15 липня 2022 р.

Наслідки вибухів для багатоповерхових і висотних будівель

Характер впливу вибухової хвилі на багатоповерхові і висотні будівлі та послідовність деформацій і руйнування їх конструкцій також відповідає трьом етапам розповсюдження хвилі (рис. 2). Стійкість таких будівель суттєво залежить від несучої здатності їх конструкцій та типу будівельної і конструктивної системи і схеми [1, 15, 16].

Найменш вразливими до вибухових впливів є будівлі з монолітними залізобетонними каркасами. Прикладом є велика несуча здатність конструкцій 27-ми поверхового каркасно-монолітного житлового будинку, розташованого на вул. Валерія Лобановського, 6а у м. Києві, в який влучила російська ракета 26 лютого 2022 р. і зруйнувала 17...21 поверхи (рис. 6 (а)). За рахунок перерозподілу зусиль між вертикальними і горизонтальними конструкціями рамного каркаса будівлі прогресуючого колапсу, що призводить до появи каскадної послідовності пошкоджень суміжних конструкцій, не відбулося, несуча здатність всієї будівлі збереглася, а тому під час реконструкції верхні поверхи пошкодженої секції були розібрані (рис. 6 (б)) і будівля відновлена (рис. 6 (в)).



Рис. 6. Каркасно-монолітний житловий будинок, м. Київ: *a* – руйнування від влучання російської ракети лютого 2022 р.; *б* – демонтаж конструкцій 17...26 поверхів; *в* – відновлений будинок

Добре чинять опір локальним пошкодженням і великим структурним деформаціям, які виникають в результаті вибухової детонації, багатоповерхові панельні житлові будинки (рис. 7) та каркасно-панельні будівлі з рамними і рамно-зв'язковими каркасами, в яких несучі вертикальні та горизонтальні конструкції жорстко з'єднані між собою.



Рис. 7. Руйнування секції 9-ти поверхового панельного житлового будинку в результаті влучання російської ракети, м. Дніпро, 14 січня 2023 р.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Ефективність захисних споруд цивільного призначення для захисту населення від впливу небезпечних чинників та дії засобів ураження залежить від міцності конструкцій будівель, в яких вони будуть розміщені. Нераціонально проектувати укриття всередині будівель, які можуть бути зруйнована в результаті детонації вибухових хвиль. Захисна споруда повинна витримувати впливи від уламків конструкцій, а не ваги всієї зруйнованої будівлі. Таким чином, необхідно проектувати вибухостійкі будівлі з вбудованими бомбосховищами, які здатні чинити опір вибуховим впливам без

прогресуючого колапсу, який призводить до появи каскадної послідовності пошкоджень суміжних конструкцій будівлі. Основними характеристиками вибухостійких будівель є:

- висока міцність, пластичність та інерційність основних несучих конструкцій. Найкраще використовувати залізобетон або сталь, захищену бетоном від впливів вогню. Легкі конструкції нездатні чинити опір вибуховим навантаженням (рис. 3);

- основні несучі конструкції і система будівлі у цілому повинні чинити опір горизонтальним зсувним зусиллям. Зсування – крихкий вид руйнування, а тому остов будівлі повинен мати достатню згинальну здатність для запобігання руйнуванню конструкцій та вузлів їх стикування і чинити опір горизонтальним зусиллям;

- здатність чинити опір реверсивним навантаженням від вибухових впливів, які можуть змінювати напрямки руху. Елементи несучих конструкцій будівель повинні витримувати багатократні цикли великих деформацій різних напрямків, наприклад тискам від піднімання плит перекриттів, які протиставлені звичайним гравітаційним навантаженням. Ефективним може бути збірне і збірно-монолітне будівництво, коли на підприємствах виготовляються несучі конструкції з покращеними характеристиками збірних конструкцій з попередньо напруженого залізобетону, які здатні чинити опір вибуховим навантаженням. Раціональним є використання збірного залізобетонного або сталевих каркасу і монолітних перекриттів по сталевому профільованому настилу, який закріплений до балок каркаса шпильками з виступаючими голівками.

Перерозподіляти гравітаційні навантаження в конструктивних системах будівель та їх конструкціях дозволяють такі шляхи:

- встановлення системи в'язей у взаємно перпендикулярних напрямках в каркасних будівлях;

- міцні та надійні вузли з'єднання колон і ригелів, які зазнають великих деформацій під час ударних навантажень, а тому повинні бути пластичними, мати здатність розсіювати значну кількість енергії вибуху. Критерієм пластичності вузлів є співвідношення максимальної непружної деформації вузла до її граничної межі пружності (рис. 8).

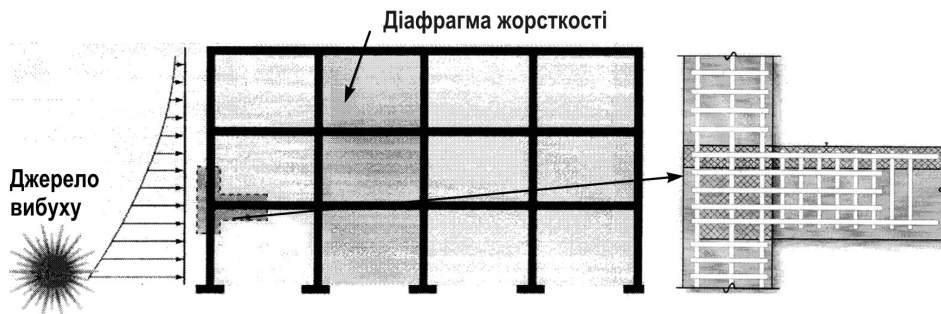


Рис. 8. Схема розподілу вибухового навантаження і деталізація його сприйняття залізобетонним каркасом будівлі

Історично склалося, що захисні споруди і вибухостійкі будівлі зводять переважно з монолітного залізобетону, який має велику масу, що покращує його інерційний опір. Для залізобетонних конструкцій характерна пропорційна пластичність, яку можна регулювати зміною коефіцієнту армування [10, 11]. У разі реверсивного впливу вибухового навантаження на плити перекриттів та їх руйнування (рис. 4), колони залізобетонних каркасів здатні пластично деформуватися, перерозподіляти зусилля і запобігати виникненню прогресуючого колапсу, який призводить до появи каскадної послідовності пошкоджень суміжних конструкцій будівлі.

Подальші дослідження будуть торкатися розробки та удосконалення конструктивних рішень вибухостійких будівель та захисних споруд цивільного захисту населення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гетун Г. В., Куліков П. М., Плоский В. О., Чернишев Д. О. Конструкції будівель і споруд. Книга 2. Нежитлові будівлі. Підручник для вищих навчальних закладів / Гетун Г. В., Куліков П. М., Плоский В. О., Чернишев Д. О. – Кам'янець-Подільський: Друкарня «Рута», 2023 р. – 900 с.: іл.
2. Гетун Г.В., Безклубенко І. С., Соломін А. В., Баліна О. І. Особливості об'ємно-планувальних рішень захисних споруд цивільного захисту // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. – 2023. – Вип.67, с. 216-225.
3. Гетун Г.В., Колякова В. М., Соломін А.В., Безклубенко І.С. Особливості проектування сталевих сейсмостійких конструкцій висотних будівель // Будівельні конструкції. Теорія і практика. – 2022. – Issue 11, р. 18-31.
4. Getun G., Butsenko Y., Balina O., Bezklubenko I., Solomin A. Дифузійні процеси з накопичувальними характеристиками при експлуатації будівель // Strength of materials and theory of structures. – 2019. – Issue 102, p. 243-251.
5. Getun G., Butsenko Y., Labzhinsky V., Balina O., Bezklubenko I., Solomin A. Situations forecasting and decision-making optimization based on markovs finite chains in areas with industrial pollutants. // Strength of materials and theory of structures. – 2020. – Issue 104, p. 164-174.
6. ДБН В.1.1-7-2016. Технічні норми, правила і стандарти. Загальнотехнічні вимоги до життєвого середовища та продукції будівельного призначення. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – К.: Мінрегіонбуд України, 2017. – 41 с.
7. ДБН В.1.1-12:2014. Технічні норми, правила і стандарти. Загальнотехнічні вимоги до життєвого середовища та продукції будівельного призначення. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівництво у сейсмічних районах України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 110 с.
8. ДБН В.1.2-2:2006. Технічні норми, правила і стандарти. Загальнотехнічні вимоги до життєвого середовища та продукції будівельного призначення. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінбуд України, 2007. – 60 с.
9. ДБН В.2.2.5-97 Технічні норми, правила і стандарти. Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Будинки і споруди. Захисні споруди цивільної оборони. – К.: «Держкоммістобудування», 1998. – 80 с.
10. ДБН В.2.6-98:2009. Технічні норми, правила і стандарти. Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
11. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Технічні норми, правила і стандарти. Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.
12. Design Guidance for Shelters and Safe Rooms/ Risk Management Series // FEMA 453 I May 2006. – 174 p.
13. Іванченко Г. М., Гетун Г. В., Безклубенко І. С., Соломін А. В. Особливості конструювання та розрахунків складних залізобетонних рам будівель // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2023. – вип. 110, с. 108-117.
14. Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В. Архітектура будівель та споруд Книга 5. Промислові будівлі: Підручник для вищих навчальних закладів / Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В. – Кам'янець-Подільський: Видавництво «Ліра-К», Друкарня «Рута», 2020 р. – 820 с.: іл.
15. Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В. Конструкції будівель і споруд Книга 1: Підручник для вищих навчальних закладів / Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В. – Кам'янець-Подільський: Видавництво «Ліра-К», Друкарня «Рута», 2021 р. – 880 с.: іл.
16. Плоский В. О., Гетун Г. В. Архітектура будівель та споруд. Книга 2. Житлові будинки: Підручник для вищих навчальних закладів. – Видання третє, перероблене і доповнене / Плоский В. О., Гетун Г. В. – Кам'янець-Подільський: Видавництво «Рута». 2017 р. – 736 с.: іл.
17. Плоский В. О., Гетун Г. В., Мартинов В. Л., Сергейчук О. В., Віроцький В. Д., Запривода В. І., Кріпак В. Д., Лавріненко Л. І., Малишев О. М. Архітектура будівель та споруд. Книга 4. Технічна експлуатація та реконструкція будівель: Підручник для вищих навчальних закладів. – / Плоский В. О., Гетун Г. В., Мартинов В. Л., Сергейчук О. В., Віроцький В. Д., Запривода В. І., Кріпак В. Д., Лавріненко Л. І., Малишев О. М. – Кам'янець-Подільський: Видавництво «Рута». 2018 р. – 750 с.: іл.

REFERENCES

1. Getun G. V., Kulikov P. M., Plosky V. O., Chernyshev D. O. Structures of buildings and structures. Book 2. Non-residential buildings. Textbook for higher educational institutions / Getun G. V., Kulikov P. M., Plosky V. O., Chernyshev D. O. – Kamianets-Podilskyi: «Ruta», 2023 – 900 p.: ill.
2. Getun G.V., Bezklubenko I.S., Solomin A.V., Balina O.I. Peculiarities of volume-planning decisions of protective structures of civil defense // Modern problems of architecture and urban planning. – 2023. – Issue 67, p. 216-225.
3. Getun G. V., Kolyakova V. M., Solomin A. V., Bezklubenko I. S. Design features of steel earthquake-resistant structures of high-rise buildings // Building constructions. Theory and practice. – 2022. – Issue 11, p. 18-31.

4. Getun G. V., Butsenko Y., Balina O., Bezklubenko I., Solomin A. Дифузійні процеси з накопичувальними характеристиками при експлуатації будівель // Strength of materials and theory of structures. – 2019. – Issue 102, p. 243-251.
5. Getun G. V., Butsenko Y., Labzhinsky V., Balina O., Bezklubenko I., Solomin A. Situations forecasting and decision-making optimization based on markovs finite chains in areas with industrial pollutios. // Strength of materials and theory of structures. – 2020. – Issue 104, p. 164-174.
6. DBN V.1.1-7-2016. Technical regulations, rules and standards. General technical requirements for the living environment and construction products. Protection from unsafe geological processes, harmful operational influences, and fire. Fire safety of construction sites. General requirements. - K.: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2017. - 41 p.
7. DBN V.1.1-12-2014. Technical regulations, rules and standards. General technical requirements for the living environment and construction products. Protection from dangerous geological processes, harmful operational influences, from fire. Construction in seismic areas of Ukraine. - K.: Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2014. - 110 p.
8. DBN V.1.2-2-2006. Technical regulations, rules and standards. General technical requirements for the living environment and construction products. The system for ensuring the reliability and safety of construction objects. Loads and influences. Design standards. – K.: Ministry of Construction of Ukraine, 2007. – 60 p.
9. DBN V.2.2.5-97. Technical norms, rules and standards. Construction objects and industrial products for construction purposes. Buildings and structures. Protective structures of civil defense. - K.: "State Committee for Urban Development", 1998. - 80 p.
10. DBN V.2.6-98:2009. Technical regulations, rules and standards. Construction objects and industrial products for construction purposes. Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Substantive provisions. – K.: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011. –71 p.
11. DSTU B V.2.6-156:2010. Technical regulations, rules and standards. Construction objects and industrial products for construction purposes. Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Design rules. – K.: Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2011. – 118 p.
12. Design Guidance for Shelters and Safe Rooms/ Risk Management Series // FEMA 453 I May 2006. – 174 p.
13. Ivanchenko G. M., Getun G. V., Bezklubenko I. S., Solomin A. V. Features of construction and calculations of complex reinforced concrete frames of buildings // Resistance of materials and theory of structures. – 2023. – issue 110, p. 108-117.
14. Kulikov P. M., Plosky V. O., Getun G. V. Architecture of buildings and structures Book 5. Industrial buildings: Textbook for higher educational institutions / Kulikov P. M., Plosky V. O., Getun G. V. –Kamianets-Podilskyi: «Lira-K», «Ruta», 2020 – 820 pp.: il.
15. Kulikov P. M., Plosky V. O., Getun G. V. Constructions of buildings and structures Book 1: Textbook for higher educational institutions / Kulikov P. M., Plosky V. O., Getun G. V. –Kamianets-Podilskyi: «Lira-K», «Ruta», 2021 – 880 pp.: il.
16. Plosky V. O., Getun G. V. Architecture of buildings and structures. Book 2. Residential buildings: Textbook for higher educational institutions. – Third edition, revised and supplemented / Plosky V. O., Getun G. V. – Kamianets-Podilskyi: Ruta Publishing House. 2017 - 736 pp.: illustrations.
17. V. O. Plosky, G. V. Getun, V. L. Martynov, O. V. Sergeychuk, V. D. Virotskyi, V. I. Za-privoda, V. D. Kripak, L. I. Lavrinenko, Malyshev O. M. Architecture of buildings and structures. Book 4. Technical operation and reconstruction of buildings: Textbook for higher educational institutions. – / V. O. Plosky, G. V. Getun, V. L. Martynov, O. V. Sergeychuk, V. D. Virotskyi, V. I. Zapryvoda, V. D. Kripak, L. I. Lavrinenko, Malyshev O. M. – Kamianets-Podilskyi: Ruta Publishing House. 2018 - 750 pp.: illustrations.

Стаття надійшла 21.09.2023

Ivanchenko G., Getun G., Bezklubenko I., Solomin A., Posternak O.

INFLUENCE OF EXPLOSIVE LOADS ON BUILDINGS AND STRUCTURES OF THE POPULATION CIVIL PROTECTION

The article substantiates the relevance of the design and construction of buildings and structures of the Ukraine population civil protection in the conditions of possible shock-explosive influences. The aim of the work is to systematize information about the impact of explosive loads on building structures and develop recommendations for improving the stability of buildings and civil protection structures.

The influence of shock wave during the detonation of explosives on the structures of buildings is considered and systematized. The features of distribution of pressure of blast wave on the structures of buildings in time, depending on magnitude of their distances to the epicenter of the explosion, are analyzed. The features of the influence of blast wave, which expands from the source of detonation, on low-rise buildings with flat roofs and the sequence of development of deformations and destruction of their structures at three stages of wave propagation are revealed. The nature of the influence of blast wave on multi-storey and high-rise buildings and the sequence of development of deformations and destruction of their structures are analyzed. Examples of destruction of structures of buildings of various structural systems from explosions are given.

The paper gives recommendations for design of blast-resistant buildings with built-in bomb shelters that are able to resist explosive loads without progressive collapse, which leads to a cascading sequence of damage to adjacent building

structures. The ways of redistribution of gravitational loads on the structural systems of buildings and structures are analyzed, recommendations are made for design of explosion-proof buildings.

Conclusions are drawn about the feasibility of using monolithic reinforced concrete frames, which are able to plastically deform, redistribute loads and resist the onset of progressive collapse, which leads to appearance of a cascading sequence of damage to adjacent building structures.

Keywords: building, protective structures, load, explosive effect, shock wave, construction, deformation, frame system, reinforced concrete frame units.

УДК 725

Іванченко Г.М., Гетун Г.В., Безклубенко І.С., Соломін А.В., Постернак О.М. Вплив вибухових навантажень на будівлі та споруди цивільного захисту населення // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірник – К.: КНУБА, 2023. – Вип. 111. – С. 39-48.

Лл. 8. Бібліогр. 17 назв.

UDC 725

Ivanchenko G., Getun G., Bezklubenko I., Solomin A., Posternak O. Influence of explosive loads on buildings and structures of the population civil protection // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles- K.: KNUBA, 2023. – Issue 111. - P. 39-48.

Fig. 8. Ref. 17.

Автор(вчена ступінь, вчене звання, посада): доктор технічних наук, професор кафедри будівельної механіки КНУБА, ІВАНЧЕНКО Григорій Михайлович

Адреса робоча: 03680 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект 31, Київський національний університет будівництва і архітектури, Іванченко Григорію Михайловичу

Робочий телефон:+38(044)245-44-32

E-mail: ivgm61@gmail.com

Мобільний телефон:+38(067)597-19-48

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1172-2845>

Автор(вчена ступінь, вчене звання, посада): кандидат технічних наук, професор кафедри архітектурних конструкцій КНУБА, ГЕТУН Галина Вячеславівна

Адреса робоча: 03680 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект 31, Київський національний університет будівництва і архітектури, ГЕТУН Галині Вячеславівні

Тел.: +38(044)245-44-32

Мобільний тел.: +38(097)320-11-93

E-mail: GalinaGetun@ukr.net

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3317-3456>

Автор(вчена ступінь, вчене звання, посада): кандидат технічних наук, доцент кафедри ІТППМ КНУБА, БЕЗКЛУБЕНКО Ірина Сергіївна

Адреса: 03680 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект 31, Київський національний університет будівництва і архітектури, БЕЗКЛУБЕНКО Ірині Сергіївні

Тел.: +38(044)245-04-02

Мобільний телефон. +38(066)794-01-84

E-mail: i.bezklubenko@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9149-4178>

Автор (вчена ступінь, вчене звання, посада): кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри біобезпеки і здоров'я людини КПІ ім. Ігоря Сікорського, СОЛЮМІН Андрій Вячеславович

Адреса: 03056 Україна, м. Київ, проспект Перемоги 37, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», СОЛЮМІНУ Андрію Вячеславовичу

Тел.: +38(044)236-79-89

Мобільний телефон:+38(050)927-10-63

E-mail: andr-sol@i.ua

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5226-8813>

Автор (вчена ступінь, вчене звання, посада): асистент кафедри залізобетонних конструкцій КНУБА, ПОСТЕРНАК Олексій Михайлович.

Адреса робоча: 03680, Київ, Повітрофлотський пр. 31, Київський національний університет будівництва і архітектури, ПОСТЕРНАКУ Олексію Михайловичу.

Робочий тел.: +38(044)2415406

Мобільний тел.: +38(093)7629439

E-mail: posternak.om@knuba.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5646-6788>