

КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ ВИБУХОСТІЙКИХ БУДІВЕЛЬ З ПРИМІЩЕННЯМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ

Галина ГЕТУН¹, Віра КОЛЯКОВА², Ірина БЕЗКЛУБЕНКО³, Андрій СОЛОМІН⁴

^{1,2,3}Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

⁴Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

37, просп. Берестейський, Київ, Україна, 03056

¹galinagetun@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-3317-3456>

²koliakova.vm@knuba.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0001-6879-8520>

³i.bezklubenko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-9149-4178>

⁴andr-sol@i.ua, <http://orcid.org/0000-0002-5226-8813>

Анотація. В умовах широкомасштабної війни, яку веде Росія в Україні, актуальною стала проблема проектування вибухостійких будівель з приміщеннями цивільного захисту населення, які здатні витримувати додаткові особливі навантаження і впливи, а саме впливи від артилерійських і ракетних обстрілів, вибухів бомб, вибухових хвиль, розповсюдження пожеж тощо. Аналіз наслідків руйнування будівель і споруд за результатами військових дій свідчить, що залізобетонні конструкції будівель мають кращу несучу здатність, у порівнянні з традиційними цегляними та сталевими каркасами будівель павільйонного типу.

Залізобетон є негорючим матеріалом, він має велику масу, що покращує його інерційний опір, високі характеристики міцності та пластичності, здатний деформуватися та перерозподіляти зусилля між суміжними конструкціями, запобігає виникненню прогресуючого колапсу – каскадного руйнування будівель.

Основними принципами проектування вибухостійких залізобетонних каркасів висотних будівель є раціональні конструктивні системи і схеми з простими і компактними конфігураціями та симетричними планами. Конструктивне рішення залізобетонного каркаса повинне забезпечувати перерозподіл гравітаційних навантажень між суміжними конструкціями, а тому вузли з'єднання вертикальних і горизонтальних конструкцій повинні бути пластичними, здатними розсіювати значну кількість енергії вибуху. Елементи несучих конструкцій будівель повинні витримувати



Галина ГЕТУН

професор кафедри архітектурних конструкцій
к. т. н., професор



Віра КОЛЯКОВА

доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій,
к. т. н., доцент



Ірина БЕЗКЛУБЕНКО

доцент кафедри інформаційних технологій та прикладної математики,
к. т. н., доцент



Андрій СОЛОМІН

доцент кафедри біобезпеки і здоров'я людини
к. ф-м. н., доцент

цикли великих деформацій різних напрямків, а саме тиски від піднімання плит перекриттів на противагу звичайним гравітаційним навантаженням.

© Г.ГЕТУН, В.КОЛЯКОВА, І.БЕЗКЛУБЕНКО, А.СОЛОМІН, 2023

В будівлях, що за класом наслідків належать до об'єктів з середніми (СС2) і значними (СС3) наслідками, де постійно перебувають понад 50 фізичних осіб або періодично понад 100 осіб, необхідно проєктувати приміщення цивільного захисту населення, які доцільно розміщувати нижче планувальних позначок спланованого рівня землі.

Конструкції приміщень цивільного захисту населення, розміщені в підземних поверхах вибухостійкої будівлі, повинні витримувати всі види основних і епізодичних навантажень та впливів і чинити опір розповсюдженню вогню. Найкраще такі навантаження витримують каркаси будівель з монолітними залізобетонними ребристими перекриттями та системами головних і другорядних балок або перехресно розташованих балок жорстко закріплених до вертикальних несучих конструкцій – колон, пілонів, стін.

У статті досліджені причини руйнування залізобетонних плит перекриттів висотних каркасно-монолітних будівель при згинанні або продавлюванні від тиску на них знизу вибухових навантажень і ймовірного закручування будівлі в результаті реверсування вибухових впливів.

В статті наведені заходи по підсиленню ділянок конструкцій перекриттів висотних каркасно-монолітних будівель, які можуть бути зруйновані в результаті реверсування вибухового навантаження і направлення вибухового тиску вгору. Обґрунтована доцільність підсилення небезпечних ділянок монолітних залізобетонних плит перекриттів зовнішнім армуванням – приклеюванням армувальних матів у вигляді тканин, ламелей або сіток з вуглецевого волокна до верхніх зон плит біля вертикальних опор.

Ключові слова. Будівля; захисна споруда; навантаження; вибуховий вплив; ударна хвиля; конструкція; деформація; каркасна система; плита перекриття; вузли залізобетонних рам.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

29 липня 2022 року Верховна Рада ухвалила, а Президент підписав Закон № 2486-IX «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо забезпечення вимог цивільного захисту під час планування та забудови територій», в якому зазначено, що проєктна документація на будівництво має містити розділ інженерно-технічних заходів цивільного захисту населення, у складі

якого передбачається будівництво захисних споруд або споруд подвійного призначення, а також проєктні рішення щодо врахування вимог пожежної та техногенної безпеки [11, 17, 20, 22, 23].

Аналіз наслідків руйнування будівель і споруд за результатами широкомасштабних бомбардувань і артилерійських обстрілів населених пунктів України, які веде Росія, свідчить, що залізобетонні конструкції будівель мають кращу несучу здатність у порівнянні з традиційними цегляними та сталевими каркасами будівель павільйонного типу [1, 2, 21, 23]. Причинами цього є: високі характеристики міцності та пластичності залізобетону, що здатен поглинати енергію при роботі за межею пружності; залізобетон має велику масу, що покращує його інерційний опір; залізобетон є негорючим матеріалом (НГ) – під впливом вогню або високої температури на поверхнях залізобетонних конструкцій не з'являється полум'я, вони не тліють і не обвуглюються, втрачають масу не більше 50%, підтримують тривалість стійкого полум'я горіння на поверхні не більше 10 сек [4, 6, 19]; залізобетонним конструкціям можна надавати різних конструктивних форм, що дозволяє змінювати динамічні характеристики будівель і регулювати вибухові навантаження.

Для залізобетонних конструкцій характерна пропорційна пластичність, яку можна регулювати зміною коефіцієнту армування [12, 14]. У разі реверсивного впливу вибухового навантаження на горизонтальні конструкції плит перекриттів і покриття та їх руйнування, вертикальні конструкції залізобетонних остовів будівель (колони, пілони, внутрішні несучі стіни, стовбури жорсткості) здатні пластично деформуватися, перерозподіляти зусилля і запобігати виникненню прогресуючого колапсу, який призводить до появи каскадної послідовності пошкоджень суміжних конструкцій [15, 17, 18].

Проєктувати вибухостійкі висотні будівлі доцільно за стовбурною конструктивною системою, використовувати залізобетонні монолітні каркаси у вигляді просторових систем з несучими рамними каркасами у поєднанні з діафрагмами і стовбурами жорсткості [3, 10,

16, 23]. В таких будівлях вибухові навантаження з переважаючою горизонтальною складовою будуть сприймаються огорожувальними конструкціями зовнішніх стін і покриттів, передаватися на несучі горизонтальні конструкції перекриттів і покриттів, перерозподілятися, а потім впливати на вертикальні конструкції та конструкції фундаментів.

Найраціональнішими є висотні будівлі оболонкової конструктивної системи «*tube in tube*», в яких вибухові навантаження сприймаються несучими залізобетонними конструкціями зовнішніх стін, що мають велику вертикальну і горизонтальну жорсткість, а тому здатні їх рівномірно перерозподіляти. Розосередження основної маси несучих конструкцій по контуру будівель підвищує жорсткість каркасів, тим самим зменшує їх деформативність, покращує роботу каркасів на закручування і одночасно загальну стійкість на сприйняття вибухових навантажень і впливів у цілому [1, 10, 20, 22, 23].

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

За великої інтенсивності вибуху пошкодження конструкцій будівлі та вузлів їх з'єднання можуть мати екстенсивний характер і викликати глобальний колапс і руйнування всієї будівлі, а тому доцільно ізолювати області руйнування. Найефективнішим є проектування деформаційних швів, які розділять будівлю за всією висотою на окремі деформаційні блоки, кожний з яких здатний самостійно чинити опір вибуховим навантаженням і впливам [1, 11, 21].

Таким чином, висотні будівлі повинні мати просту і компактну конфігурацію, плани невеликих розмірів [3, 7, 10, 23]. Будівлі з великими розмірами планів необхідно розділяти деформаційними швами на блоки з розмірами до 40 м, які будуть сприяти ізоляції областей руйнування, та зменшать ризик розповсюдження вибухових впливів на конструкції суміжних деформаційних блоків будівлі [1, 10, 21, 22, 23].

Основні принципи конструювання вибухостійких залізобетонних каркасів висотних будівель:

1) конструктивні схеми каркасів повинні мати симетричні форми, достатню згинальну здатність для запобігання руйнуванню конструкцій та вузлів їх стикування, чинити опір реверсивним навантаженням від вибухових впливів, які можуть змінювати напрямки руху [1, 3, 19];

2) конструктивне рішення залізобетонного каркаса повинне забезпечувати перерозподіл гравітаційних навантажень між суміжними конструкціями, а тому вузли з'єднання вертикальних і горизонтальних конструкцій, які зазнають великих деформацій під час ударних навантажень, повинні бути пластичними, здатними розсіювати значну кількість енергії вибуху [5, 8, 18];

3) елементи несучих конструкцій будівель повинні витримувати цикли великих деформацій різних напрямків, а саме тиски від піднімання плит перекриттів на противагу звичайним гравітаційним навантаженням [8, 15, 17, 23];

4) ефективними можуть бути збірно-монолітні каркасні будівлі з несучими горизонтальними ригелями із збірного попередньо напруженого залізобетону, які здатні чинити опір вибуховим навантаженням [1, 16, 19];

5) раціональним є використання збірного залізобетонного або сталевих каркасу і монолітних перекриттів по сталевому профільованому настилу, який закріплений до балок каркаса шпильками з виступаючими голівками [1, 15, 17];

6) в будівлях, що за класом наслідків належать до об'єктів з середніми (СС2) і значними (СС3) наслідками, де постійно перебувають понад 50 фізичних осіб або періодично понад 100 осіб, необхідно проектувати приміщення цивільного захисту населення, які доцільно розміщувати нижче планувальних позначок спланованого рівня землі [2, 9, 17];

7) конструкції каркасів повинні мати високий рівень ремонтпридатності [1, 3, 21].

Конструкції приміщень цивільного захисту населення, розміщені в підземних поверхах вибухостійкої будівлі, повинні чинити опір додатковим навантаженням і впливам, які можуть виникнути під час

екстремальних умов експлуатації. Вони повинні витримувати, крім основних навантажень і впливів, епізодичні навантаження, до яких належать вибухові впливи, вага будівельного сміття від пошкоджених конструкцій, чинити опір розповсюдженню вогню тощо. Найкраще такі навантаження будуть витримувати каркасні будівлі з монолітними залізобетонними ребристими перекриттями та системами з головних і другорядних балок або з перехресно розташованих балок жорстко закріплених до вертикальних несучих конструкцій.

Вертикальні та горизонтальні несучі конструкції підземних поверхів вибухостійкої

будівлі повинні сприймати і витримувати всі навантаження і впливи, раціонально їх перерозподіляти та забезпечувати безперервну і надійну передачу на фундаменти.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

В проектах висотних каркасно-монолітних будівель повинні бути передбачені заходи по підсиленню ділянок конструкцій перекриттів, які можуть бути зруйновані в результаті реверсування вибухового навантаження і направлення вибухового тиску вгору (рис. 1)



Рис. 1. Руйнування плит перекриттів від направлено вгору вибухового тиску

Fig. 1. Destruction of floor slabs from upward explosive pressure

Традиційно в Україні висотні каркасно-монолітні будівлі проектують безригельними (без капітелей), для повноцінного використання висоти приміщення. При моделюванні роботи монолітних залізобетонних

каркасів за основу приймають «ригельну» розрахункову схему армування плит перекриття (рис. 2).

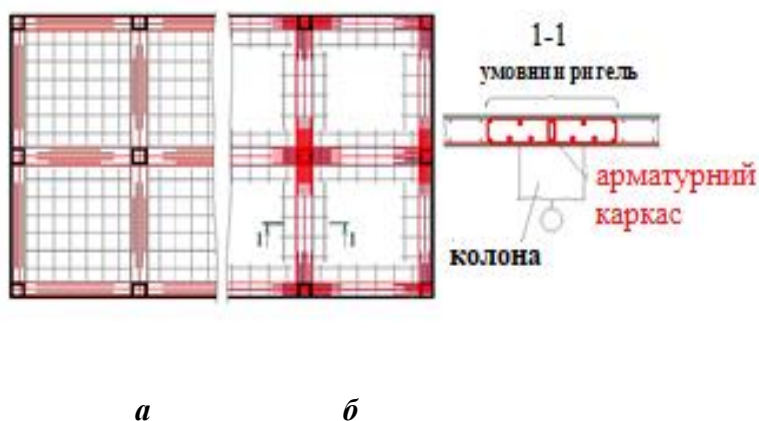


Рис. 2. Армування залізобетонних монолітних плит перекриттів каркасно-монолітних будівель за «ригельною» розрахунковою схемою:

а – нижня арматура; *б* – верхня арматура

Fig. 2. Reinforcement of reinforced concrete monolithic slabs of the ceilings of frame monolithic buildings according to the «transom» calculation scheme:

a – lower armature; *b* – upper armature

Основну верхню і нижню поздовжню арматуру розташовують у взаємно перпендикулярних напрямках уздовж ліній дії максимальних згинальних моментів і поперечних сил, зазвичай уздовж координаційних осей колон або пілонів каркаса. Таку арматуру зав'язують хомутами у просторові арматурні каркаси, і в перекриттях утворюються «умовні» приховані ригелі. Середні зони комірок перекриття каркаса армують лише однією сіткою внизу (рис. 2, а). Для визначення площі перерізу поздовжньої робочої арматури об'ємних каркасів «умовних» ригелів за міцністю приймають ширину перерізу «умовного» ригеля рівній $1/6$ відстані між осями колон, але не більше, ніж 1000 мм в кожний бік від координаційних осей. Таке армування залізобетонних плит перекриттів

висотних каркасно-монолітних будівель є раціональним для традиційних умов експлуатації, коли каркаси чинять опір гравітації, яка направлена донизу.

Вибухостійкі каркасно-монолітні висотні будівлі повинні чинити опір тиску на плити перекриттів знизу і закручуванню в результаті реверсування вибухових впливів (рис. 1). Вибухові впливи спричиняють руйнування залізобетонних плит перекриттів при згинанні або продавлюванні (рис. 3). Тому верхні ділянки плит перекриттів і покриття біля колон або пілонів вибухостійких будівель треба підсилювати, додатково армувати сталевими сітками.

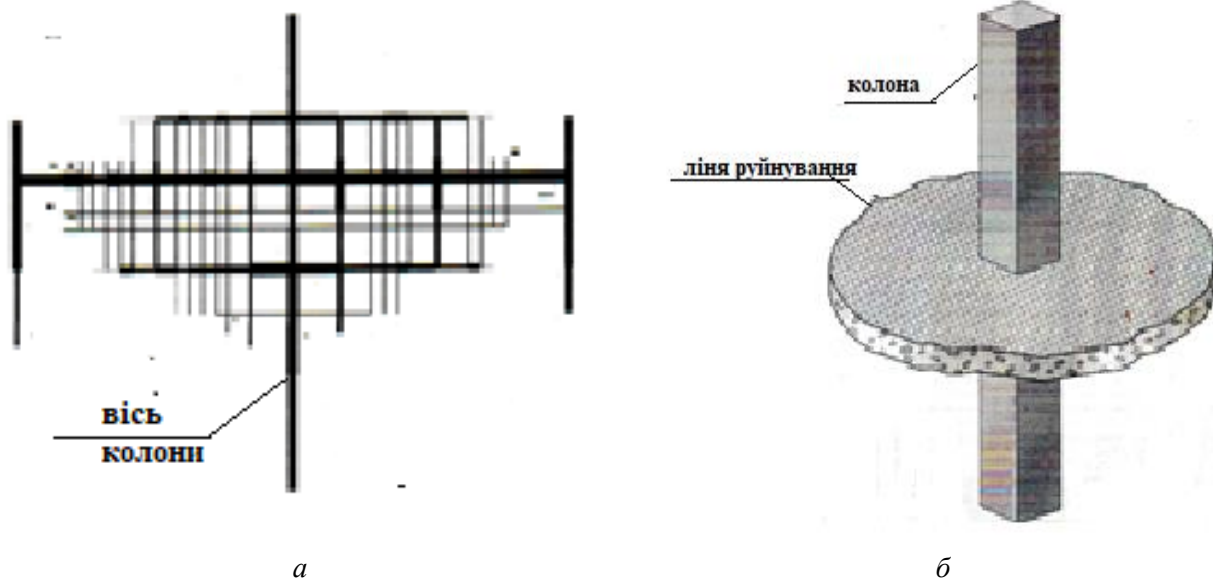


Рис. 3. Механізм руйнування залізобетонних монолітних безбалкових плит перекриттів каркасно монолітних будівель від вибухових впливів:

a – схема розподілу інтенсивності ліній руйнування; *б* – ділянка основного руйнування
Fig. 3. The mechanism of destruction of reinforced concrete monolithic non-beam slabs of frame-monolithic buildings from explosive impacts:
a – diagram of distribution of destruction intensity; *b* – main destruction zone.

Раціональним видом підсилення небезпечних ділянок монолітних залізобетонних плит перекриття може бути зовнішнє армування – приклеювання армувальних матів у вигляді тканин, ламелей або сіток з вуглецевого волокна до верхніх зон плит біля вертикальних опор. Вуглецеве волокно – це мате-

ріал з тонких ниток від 3 до 15 мкм, утворених переважно атомами вуглецю, які об'єднані в мікроскопічні, вирівняні паралельно, кристали, які надають волокну велику міцність на розтягування. Вуглецеве волокно має високу силу натягування, малу густину, низький коефіцієнт температурного розши-

рення і хімічної інертності та високу тепло-стійкість (при теплових впливах до 1600...2000°C за відсутності кисню механічні показники волокна не змінюються).

Ефективність зовнішнього армування небезпечних ділянок монолітних залізобетонних плит перекриттів каркасно-монолітних висотних будівель полягає у підвищенні несучої здатності всього остову будівлі на сприйняття епізодичних вибухових впливів без зміни структурної схеми рамного каркаса у цілому. Зовнішнє армування вуглецевим волокном доцільно також використовувати для підсилення залізобетонних, металевих, кам'яних і дерев'яних конструкцій будівель з метою усунення наслідків руйнування матеріалів і корозії арматури, які зазнали незначних руйнувань від вибухових впливів.

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В результаті широкомасштабного вторгнення військ російської федерації на територію України була зруйнована велика кількість будівель і споруд, а населення зазнало ударно-вибухових і вогневих уражень. Для збереження життя людей в Україні необхідно проектувати вибухостійкі будівлі з монолітними залізобетонними каркасами і приміщеннями цивільного захисту населення, розміщеними нижче спланованого рівня землі. Плити перекриттів приміщень цивільного захисту населення, розміщені в підземних поверхах вибухостійкої будівлі, треба проектувати монолітними залізобетонними ребристими з системами з головних і другорядних балок або з перехресно розташованих балок жорстко закріплених до вертикальних несучих конструкцій.

Аналіз характеру розподілу вибухових впливів на висотні каркасно-монолітні будівлі свідчить про необхідність підсилення небезпечних ділянок плит міжповерхових перекриттів і покриття.

Доцільно підсилювати небезпечні ділянки монолітних залізобетонних плит безбалкових перекриттів зовнішнім армуванням –

приклеюванням армувальних матів з вуглецевого волокна до верхніх зон плит біля вертикальних опор.

ЛІТЕРАТУРА

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. (2022). Особливості проектування сталевих сейсмостійких конструкцій висотних будівель. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, (11), 18–31.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.18-31>
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.*
<https://doi.org/10.32347/2410-2547.2019.102.243-251>
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 pollutios. // *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.1.2-14:2018** Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі зміною № 1 [Чинні від 02.08.2018]- Київ: Державне агентство з питань будівництва та житлово-комунального господарства України, - 20018. – 36 с.
10. **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.
11. **ДБН В. 2.2-41-2019.** Технічні норми, правила і стандарти. Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Будинки і споруди. *Висотні будівлі. Основні положення.* – К.: Мінрегіонбуд України 2019. – 53 с.
12. **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.
13. **ДСТУ-Н Б В.1.1-36:2016.** Технічні норми, правила і стандарти. Загальнотехнічні вимоги до життєвого середовища та продукції будівельного призначення. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. *Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою.* – К.: Мінрегіонбуд України, 2016. – 61 с.
14. **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.
15. **Design Guidance for Shelters and Safe Rooms/ Risk Management Series // FEMA 453 I May 2006.** – 174 p.
16. **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.
[DOI: 10.32347/2410-2547.2023.110.108-117](https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.108-117)
17. **Іванченко Г. М., Гетун Г. В., Безклубенко І. С., Соломін А. В.** Вплив вибухових навантажень на будівлі та споруди цивільного захисту населення // *Опір матеріалів і теорія споруд.* – 2023. – вип. 111, с. 108-117.
18. **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.
19. **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.
20. **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.
21. **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
22. **Думич А., Колякова В., Третяк Д.** Конструктивні особливості внутрішньо-квартирних укриттів». /Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції "Будівлі та споруди спеціального призначення: матеріали та конструкції".- Київ, КНУБА.- с. 105-106.
23. **Думич А.** Вплив вибухової хвилі на напружено-деформований стан конструкцій укриття [Електронний ресурс] / А. Думич, В. Колякова, А. Сердечна // робоча програма міжна

родної науково-практичної конференції молодих вчених «BUILD-MASTER-CLASS-2023». – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://drive.google.com/file/d/1Tixi2BbXFbTCEqfCMrdQ3LRsn99bjefx/view>.

24. ДБН В.2.2-5:2023 "Захисні споруди цивільного захисту." [Чинні від 01.11.2023] - Київ: Державне агентство з питань будівництва та житлово-комунального господарства України, - 2023. – 122 с.

REFERENCES

1. Hetun H. V., Kulikov P. M., Ploskyi V. O., Chernyshev D. O. Konstruktsii budivel i sporud. // *Knyha 2. Nezhytlovi budivli. Pidruchnyk dlia vyshchyykh navchalnykh zakladiv / Hetun H. V., Kulikov P. M., Ploskyi V. O., Chernyshev D. O. – Kamianets-Podilskiy: Drukarnia «Ruta», 2023 r. – 900 s.: il.*
2. Hetun H. V., Bezklubenko I. S., Solomin A. V., Balina O. I. Osoblyvosti obiemno-planovalnykh rishen zakhysnykh sporud tsyvilnoho zakhystu // *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. – 2023. – Vyp. 67, s. 216-225.*
3. Hetun H. V., Koliakova V. M., Solomin A. V., Bezklubenko I. S. (2022). Osoblyvosti proektuvannia stalevykh seismostiikykh konstruktsii vysotnykh budivel. *Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka, (11), 18–31.*
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.18-31>
4. Getun G., Butsenko Y., Balina O., Bezklubenko I., Solomin A. Dyfuziini protsesy z nakopychuvalnymy kharakterystykamy pry ekspluatatsii budivel // *Strength of materials and theory of structures. – 2019. – Issue 102, p. 243-251.*
<https://doi.org/10.32347/2410-2547.2019.102.243-251>
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. Tekhnichni normy, pravyla i standarty. Zahalno-tekhnichni vymohy do zhyttievoho seredovyscha ta produktsii budivelnoho pryznachennia. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. *Pozhezha bezpeka ob'ektiv budivnytstva. Zahalni vymohy. – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2017. – 41 s.*
7. ДБН В.1.1-12:2014. Tekhnichni normy, pravyla i standarty. Zahalnotekhnichni vymohy do zhyttievoho seredovyscha ta produktsii budivelnoho pryznachennia. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. *Budivnytstvo u seismichnykh raionakh Ukrainy. – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2014. – 110 s.*
8. ДБН В.1.2-2:2006. Tekhnichni normy, pravyla i standarty. Zahalnotekhnichni vymohy do zhyttievoho seredovyscha ta produktsii budivelnoho pryznachennia. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivlynykh ob'ektiv. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia. – K.: *Minbud Ukrainy, 2007. – 60 s.*
9. ДБН В.1.2-14:2018 Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivlynykh ob'ektiv. Zahalni pryntsyipy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud. Zi Zminoiu № 1 [Chynni vid 02.08.2018]- Kyiv: *Derzhavne ahentstvo z pytan budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, - 20018. – 36 s*
10. ДБН В.2.2.5-97 Tekhnichni normy, pravyla i standarty. Ob'ekty budivnytstva ta promyslova produktsiia budivelnoho pryznachennia. Budynky i sporudy. Zakhysni sporudy tsyvilnoi oborony – K.: «*Derzhkommistobuduvannia*», 1998. – 80 s.
11. ДБН В. 2.2-41-2019. Tekhnichni normy, pravyla i standarty. Ob'ekty budivnytstva ta promyslova produktsiia budivelnoho pryznachennia. Budynky i sporudy. Vysotni budivli. Osnovni polozhennia. – K.: *Minrehionbud Ukrainy 2019. – 53 s.*
12. ДБН В.2.6-98:2009. Tekhnichni normy, pravyla i standarty. Ob'ekty budivnytstva ta promyslova produktsiia budivelnoho pryznachennia. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. – K.: *Minrehionbud Ukrainy, 2011. – 71 s.*
13. DSTU-N B V.1.1-36:2016. Tekhnichni normy, pravyla i standarty. Zahalnotekhnichni vymohy do zhyttievoho seredovyscha ta produktsii budivelnoho pryznachennia. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. Vyznachennia katehorii prymishchen, budynkiv ta zovnishnykh ustanovok za vybukhopozhezhoiu ta pozhezhoiu bezpekoiu. – K.: *Minrehionbud Ukrainy, 2016. – 61 s.*
14. DSTU B V.2.6-156:2010. Tekhnichni normy, pravyla i standarty. Ob'ekty budivnytstva ta

- promyslova produktsiia budivelnogo pryznachennia. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii z vazhkoho betonu. Pravyla proektuvannia. – K.: *Minrehionbud Ukrainy*, 2011. – 118 s.
15. Design Guidance for Shelters and Safe Rooms/ Risk Management Series // *FEMA 453 I May 2006*. – 174 p.
16. **Ivanchenko H. M., Hetun H. V., Bezklubenko I.S., Solomin A. V.** Osoblyvosti konstruiuvannia ta rozrakhunkiv skladnykh zalizobetonnykh ram budivel // *Opir materialiv i teoriia sporud*. – 2023. – vyp. 110, s. 108-117.
[DOI: 10.32347/2410-2547.2023.110.108-117](https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.108-117)
17. **Ivanchenko H. M., Hetun H. V., Bezklubenko I. S., Solomin A. V.** Vplyv vybukhovyykh navantazhen na budivli ta sporudy tsyvilnoho zakhystu naselennia // *Opir materialiv i teoriia sporud*. – 2023. – vyp. 111, s. 108-117.
18. **Kulikov P. M., Ploskyi V. O., Hetun H. V.** Arkhitektura budivel ta sporud *Knyha 5. Promyslovi budivli: Pidruchnyk dlia vyshchykh navchalnykh zakladiv* / Kulikov P. M., Ploskyi V. O., Hetun H. V. – Kamianets-Podilskyi: Vydavnytstvo «Lira-K», Drukarnia «Ruta», 2020 r. – 820 s.: il.
19. **Kulikov P. M., Ploskyi V. O., Hetun H. V.** Konstruktsii budivel i sporud *Knyha 1: Pidruchnyk dlia vyshchykh navchalnykh zakladiv* / Kulikov P. M., Ploskyi V. O., Hetun H. V. – Kamianets-Podilskyi: Vydavnytstvo «Lira-K», Drukarnia «Ru-ta», 2021 r. – 880 s.: il.
20. **Ploskyi V. O., Hetun H. V.** Arkhitektura budivel ta sporud. *Knyha 2. Zhytlovi budynky: Pidruchnyk dlia vyshchykh navchalnykh zakladiv*. – Vydannia tretie, pereroblene i dopovnene / Ploskyi V. O., Hetun H. V. – Kamianets-Podilskyi: Vydavnytstvo «Ruta». 2017 r. – 736 s.: il.
21. **Ploskyi V. O., Hetun H. V., Martynov V. L., Serheichuk O. V., Virotskiy V. D., Zapryvoda V. I., Kripak V. D., Lavrinenko L. I., Malyshev O. M.** Arkhitektura budivel ta sporud. *Knyha 4. Tekhnichna ekspluatatsiia ta rekonstruktsiia budivel: Pidruchnyk dlia vyshchykh navchalnykh zakladiv*. – / Ploskyi V. O., Hetun H. V., Martynov V. L., Serheichuk O. V., Virotskiy V. D., Zapryvoda V. I., Kripak V. D., Lavrinenko L. I., Malyshev O. M. – Kamianets-Podilskyi: Vydavnytstvo «Ruta». 2018 r. – 750 s.: il
22. **Dumych A., Koliakova V., Tretiak D.** Konstruktyvni osoblyvosti vnutrishno-kvartyrnykh ukryttiv. / *Tezy dopovidei IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Budivli ta sporudy spetsialnogo pryznachennia: materialy ta konstruktsii"*. – Kyiv, *KNUBA*. – s. 105-106.
23. **Dumych A.** Vplyv vybukhovoi khvyli na napruzhenno-defrmovanyi stan konstruktsii ukryttia [*Elektronnyi resurs*] / A. Dumych, V. Koliakova, A. Serdechna // *Robocha prohrama mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh «BUILD-MASTER-CLASS-2023»*. – 2023. – Rezhym dostupu do resursu: <https://drive.google.com/file/d/1Tixi2BbXFBTCEqfCMrdO3LRsn99bjefx/view>.
24. **DBN V.2.2-5:2023** Zakhysni sporudy tsyvilnoho zakhystu. [Chyynni vid 01.11.2023] - Kyiv: Derzhavne ahentstvo z pytan budivnytstva ta zhytlovo-komunalnogo hospodarstva Ukrainy, - 2023. – 122 s.

CONSTRUCTIVE SOLUTIONS FOR EXPLOSION-RESISTANT BUILDINGS WITH CIVIL PROTECTION FACILITIES

*Galyna GETUN,
Vira KOLIAKOVA,
Iryna BEZKLUBENKO,
Andriy SOLOMIN*

Summary. In the conditions of the large-scale war led by russia in Ukraine, the issue of designing blast-resistant buildings with civil defense facilities that can withstand additional special loads and impacts has become crucial. These impacts include artillery and missile attacks, bomb explosions, blast waves, and the spread of fires, among others. An analysis of the consequences of building and structure destruction resulting from military operations indicates that reinforced concrete structures of buildings have superior load-bearing capacity compared to traditional brick and steel frames of pavilion-type buildings.

Reinforced concrete is a non-combustible material with significant mass, improving its inertial resistance. It possesses high strength and plasticity characteristics, allowing it to deform and redistribute forces between adjacent structures, thereby preventing progressive collapse – the cascading destruction of buildings.

The main principles of designing blast-resistant reinforced concrete frames for high-rise buildings involve rational constructive systems and schemes with simple and compact configurations and symmetrical plans. The structural solution of the reinforced concrete frame must ensure the redistribution of gravity loads between adjacent

structures. Therefore, the joints of vertical and horizontal structures must be plastic, capable of dissipating a significant amount of explosion energy. The load-bearing elements of building structures must withstand cycles of large deformations in different directions, such as pressures from the lifting of floor slabs opposing ordinary gravity loads.

For buildings classified with medium (CC2) and significant (CC3) consequences, where more than 50 individuals are constantly present or periodically more than 100 people, it is necessary to design civil protection premises. These premises should be strategically located below the planned ground level.

The constructions of civil protection premises located in the underground floors of an explosion-proof building must withstand all types of main and episodic loads and impacts and resist the spread of fire. Building frames with monolithic reinforced concrete ribbed ceilings and systems of main and secondary beams or transversely located beams rigidly fixed to vertical supporting structures –

columns, pylons, walls – can withstand such loads best.

The article investigates the reasons for the destruction of reinforced concrete slabs in high-rise frame monolithic buildings when subjected to bending or pressure from explosive loads below. It also explores the potential twisting of the building as a result of reverse explosive effects.

The article presents measures to strengthen sections of floor structures in high-rise frame monolithic buildings that may be destroyed due to reverse explosive loads and upward pressure from explosive forces. The expediency of reinforcing critical areas of monolithic reinforced concrete floor slabs with external reinforcement – adhering reinforcing mats in the form of fabrics, lamellas, or carbon fiber nets to the upper zones of slabs near vertical supports – is justified.

Keywords. Building; protective structure; load; explosive impact; shock wave; structure; deformation; frame system; floor slab; nodes of reinforced concrete frames.

Стаття надійшла до редакції 6.09.23