

Порівняння конструктивних особливостей заглиблених та незаглиблених споруд подвійного призначення на основі досвіду проектування

Ігор ФЕСУН¹, Антон КОВАЛЬЧУК², Євгеній ЛІТНАРОВИЧ³

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітряних Сил, Київ, Україна, 03037,

¹fesuni99@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6678-9900

²anton.v.kovalchuk@gmail.com, orcid.org/0009-0003-9112-0365

³litnarovych@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5541-7888

DOI: 10.32347/0475-1132.50.2025.308-315

Анотація. У дослідженні представлено порівняння конструктивних особливостей заглиблених та незаглиблених споруд подвійного призначення на основі досвіду проектування. Метою роботи є комплексний аналіз об'ємно-планувальних та конструктивних рішень споруд подвійного призначення, розгляд особливостей розрахунків та конструювання, визначення висновків та рекомендацій при подальшому проектуванні.

Відзначено оновлення нормативно-правових документів та активізацію наукових досліджень в сфері проектування та будівництва захисних споруд в цілому. Переважна частина досліджень стосуються захисту об'єктів критичної інфраструктури, фортифікаційних споруд та укриттів спеціального призначення. Моделювання таких споруд відбувається на основі чітко визначеного завдання – ударного навантаження прямого влучання, що залежить від типу загрози. Кількість досліджень щодо укриттів цивільного населення, що мають бути запроектовані відповідно до діючих нормативних вимог, де не передбачено розрахункових випадків на пряме влучання, на сьогодні обмежена.

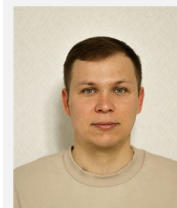
З нормативних положень та досвіду проектування встановлено, що об'ємно-планувальне рішення споруди подвійного призначення визначається, перш за все, з умови основного функціонального призначення. В житлових та громадських будівлях, найоптимальнішим варіантом влаштування споруд подвійного призначення є підземні приміщення, які в першу чергу відведено для зберігання автотранспорту (паркінги).

Для аналізу винесено три споруди подвійного призначення, що відрізняються між собою особливостями конструктивних схем, умовами



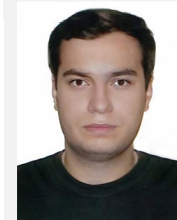
Ігор ФЕСУН

молодший науковий співробітник
НДЛ ОіФ СІГУ



Антон КОВАЛЬЧУК

науковий співробітник НДЛ ОіФ
СІГУ



Євгеній ЛІТНАРОВИЧ

молодший науковий співробітник
НДЛ ОіФ СІГУ

заглиблення, величиною навантаження від дії ударної вибухової хвилі. Моделювання кожної споруди подвійного призначення виконане в просторовій постановці в ПК «SCAD» із урахуванням фізичної та геометричної нелінійностей. Врахування навантаження від дії ударної вибухової хвилі реалізоване квазістатичним методом.

Встановлено, що відповідно до нормативних положень, характер заглиблення споруди подвійного призначення визначає розрахункову величину навантаження від дії ударної вибухової хвилі, що у свою чергу впливає на напружено-деформований стан конструкцій. Зміна величини навантаження кількісно відрізняється при схемі з повним заглибленням, неповним

заглибленням та повним незаглибленням.

Отримані результати демонструють, що з точки зору ефективного проектування заглиблені споруди подвійного призначення є більш доцільними на відміну від частково заглиблених та повністю незаглиблених.

Ключові слова. захисні споруди, споруди подвійного призначення, квазістатичний метод, навантаження від дії ударної вибухової хвилі.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Повномасштабне вторгнення рф в Україну зумовило початок активного використання захисних споруд цивільного захисту. В таких спорудах передбачено перебування населення в належних умовах від небезпечних явищ надзвичайних ситуацій, воєнних дій та терористичних загроз.

Існуюча проблематика місць, де може укритися населення характеризується декількома чинниками (Веселов та ін., 2023):

- невідповідність належним умовам перебування населення в укриттях;
- віддалений доступ до укриттів з належними умовами перебування;
- невідповідність сучасним вимогам щодо захисту споруд цивільного захисту від зовнішніх небезпечних впливів.

Нові сьогоденні виклики спричинили оновлення нормативно-правових документів щодо проектування об'єктів будівництва. По-перше, це вимога частини 10 статті 31 Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» щодо обов'язкової наявності в проектній документації на будівництво розділу інженерно-технічних заходів цивільного захисту, у складі якого може передбачатися будівництво захисних споруд цивільного захисту або споруд подвійного призначення для об'єктів класом наслідків СС2 та СС3. По-друге, випуск нової редакції ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту», де встановлюються актуальні вимоги щодо проектування захисних споруд. Згідно п.5.3. (ДБН В.2.2-5:2023, 2023) раціональніше проектувати саме споруди подвійного призначення (надалі по тексту – СПП), що

передбачає використання об'єкта за основним функціональним призначенням, із захисними властивостями, щоб забезпечити умови для тимчасового перебування людей, що підлягають укриттю. Це насамперед пояснюється постійною експлуатацією об'єкта, на відміну від окремих захисних споруд, які можуть використовуватись лише в особливий період. Основним функціональним призначенням об'єкта може бути паркування автомобілів, підсобні приміщення тощо.

Паралельно до оновлення нормативно-правових документів відзначено значну активізацію наукових досліджень в сфері проектування та будівництва захисних споруд. Однак, переважна частина досліджень стосуються якраз захисту об'єктів критичної інфраструктури, фортифікаційних споруд та укриттів спеціального призначення. Моделювання таких споруд відбувається на основі чітко визначеного завдання – ударного навантаження прямого влучання, що залежить від типу загрози. Приклади такого моделювання приведено у роботах (Коцюруба та ін., 2022; Сахаров та ін., 2023; Носенко та ін., 2024). Кількість досліджень щодо укриттів цивільного населення (наприклад, захисні споруди або СПП), що мають бути запроектовані відповідно до (ДБН В.2.2-5:2023, 2023), де не передбачено розрахункових випадків на пряме влучання, на сьогодні обмежена.

МЕТА РОБОТИ

У цій роботі, на основі реального досвіду проектування СПП, до аналізу винесено наступне:

- різні варіанти об'ємно-планувальних та конструктивних рішень СПП;
- особливості розрахунків конструкцій СПП;
- особливості конструювання СПП;
- визначення висновків та рекомендацій при подальшому проектуванні СПП.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'ємно-планувальне рішення СПП визначається, перш за все, з умови основного функціонального призначення. Враховуючи архітектурно-естетичні чинники, вимоги ДБН В.2.2-5:2023, одним із найоптимальніших місць розміщення СПП є підвальні (заглиблені) приміщення.

В житлових та громадських будівлях, як правило, підземні приміщення відведено для зберігання автотранспорту (паркінги). В такому випадку, виходячи з умови проїзду та паркування автомобілів, внутрішні вертикальні несучі конструкції – колони або пілони розміщуються із нерегулярними сітками в плані, наприклад, $7 \times 5 \times 6$ м в одному напрямку та по 6 м в іншому напрямку. Як виняток, інколи використовується регулярна сітка по 6 м в кожному з напрямків.

В іншому випадку, підземні приміщення можуть використовуватись як підсобні приміщення, тоді внутрішніми несучими конструкціями можуть бути не лише колони та пілони, а і стіни з меншими прольотами перекриття.

Відповідно до положень ДБН В.2.2-5:2023 конструкції СПП повинні бути запроектовані на вплив комбінацій навантажень при усталеній і аварійній розрахункових ситуаціях. При розрахунку аварійної розрахункової ситуації необхідно врахувати навантаження від дії ударної вибухової хвилі, що може бути реалізоване різними шляхами. Зокрема це квазістатичний метод та прямий динамічний аналіз на динамічні дії, що викликають значне прискорення конструкцій (Азізов та ін., 2024). Однак, саме детальна методологія першого приведена у положеннях ДБН В.2.2-5:2023 при розрахунку огорожуючих конструкцій СПП. Методологія використання прямого динамічного аналізу на динамічні дії, що викликають значне прискорення конструкції, не приводиться в нормативному документі. Квазістатичний метод передбачає розрахунок огорожуючих конструкцій на умовно статичне навантаження від 100 кПа до 500 кПа із врахуванням коефіцієнтів динамічності.

Для порівняння винесено для аналізу три СПП, що відрізняються між собою особливостями конструктивних схем, умовами заглиблення, величиною навантаження від дії ударної вибухової хвилі за квазістатичним методом.

СПП №1 приведено на Рис. 1 має наступні вихідні конструктивні умови і параметри:

- основне функціональне призначення – паркінг;
- конструктивна схема – неповний каркас;
- внутрішні вертикальні конструкції – колони, зовнішні – стіни з пілястрами;
- перекриття – плита з капітелями на колонах;
- сітка вертикальних конструкцій – 6×6 м;
- висота приміщення – 3.3 м;
- відкрита ділянка зовнішньої заглибленої стіни – відсутня (повне заглиблення);
- фундамент – пальово-плитний із перехресними стрічками;
- ґрунт зворотної засипки – пісок з коефіцієнтом водонасичення $0.5 < Sr < 0.8$.

СПП №2 приведено на Рис. 2 має вихідні конструктивні умови і параметри:

- основне функціональне призначення – паркінг;
- конструктивна схема – неповний каркас;
- внутрішні вертикальні конструкції – колони, зовнішні – стіни з пілястрами;
- перекриття – плита з капітелями на колонах;
- сітка вертикальних конструкцій – $6 \times 7 \times 5$ м;
- висота приміщення – 3.3 м;
- відкрита ділянка зовнішньої заглибленої стіни – присутня (неповне заглиблення, $h < 1.5$ м);
- фундамент – пальовий окремостоячий та пальовий на перехресних стрічках;
- ґрунт зворотної засипки – суглинки з показниками текучості $I_L < 0.75$.

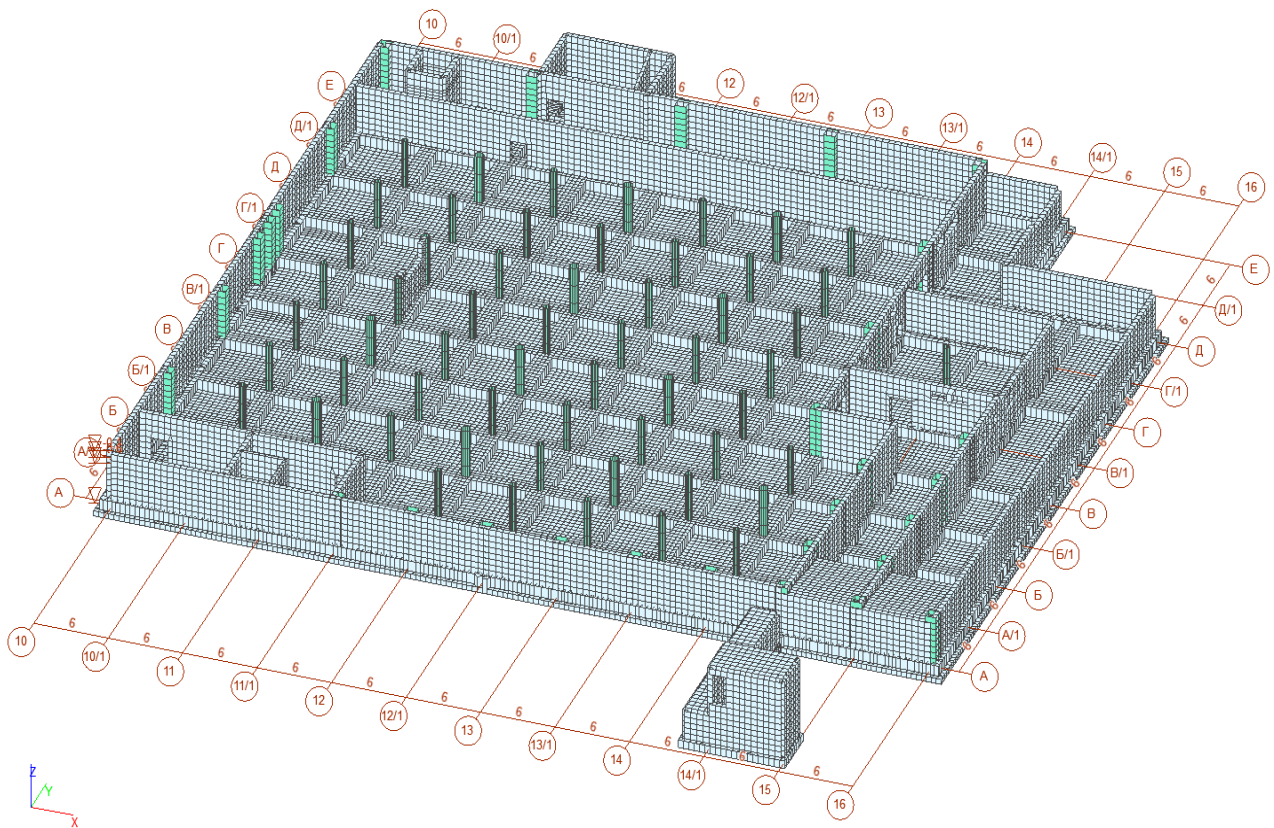


Рис.1. Загальний вигляд споруди подвійного призначення №1.
Fig.1 General view of the dual-purpose building No. 1.

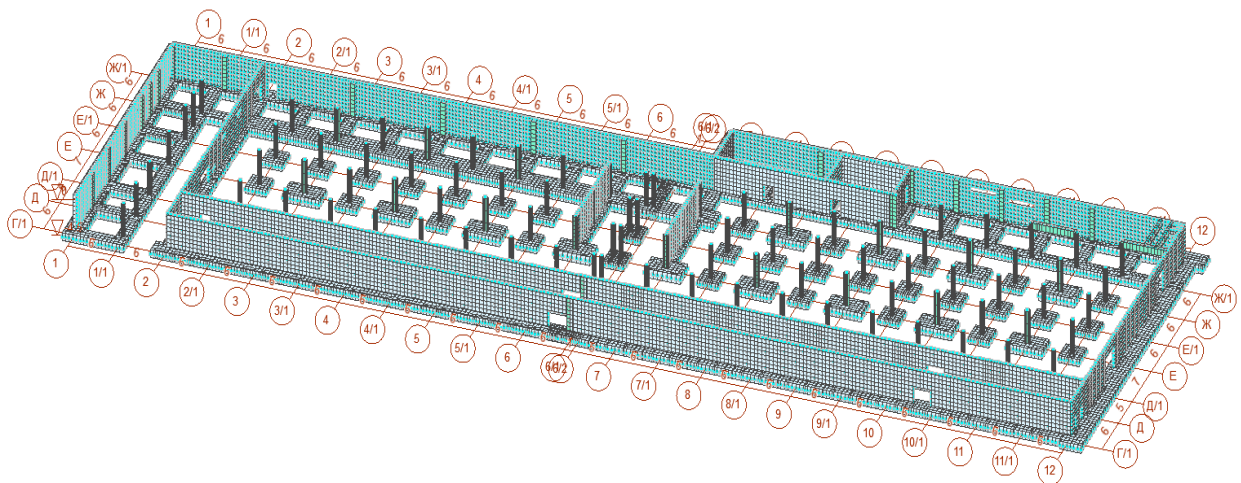


Рис.2. Загальний вигляд споруди подвійного призначення №2.
Fig.2. General view of the dual-purpose building No. 2.

СПП №3 приведено на Рис. 3 має вихідні конструктивні умови і параметри:

- основне функціональне призначення – підсобні приміщення;
- конструктивна схема – стінова;
- внутрішні та зовнішні вертикальні конструкції – стіни з пілястрами;
- перекриття – плита;
- сітка вертикальних конструкцій – 4×4 м;
- висота приміщення – 2.8 м;
- відкрита ділянка зовнішньої заглибленої стіни – присутня (неповне заглиблення, $h > 1.5$ м);
- фундамент – плитний на природній основі, підсилений ґрунтоцементними елементами;
- ґрунт зворотної засипки – суглинки з показниками текучості $IL < 0.75$.

Наведені у ДБН В.2.2-5:2023 схеми прикладання приведених навантажень за квазістатичним методом на конструкції СПП показують варіативність величин навантаження, залежно від розміщення СПП.

Моделювання кожної СПП виконане в просторовій постановці в ПК «SCAD» із урахуванням фізичної та геометричної нелінійностей. Врахування навантаження від дії ударної вибухової хвилі реалізоване квазістатичним методом.

До табл. 1 зведено порівняльну характеристику конструктивних особливостей кожного СПП, а саме: розрахункові умови за квазістатичним методом (схеми для визначення навантажень, величини навантаження від дії ударної вибухової хвилі), результати прийнятих конструктивних рішень.

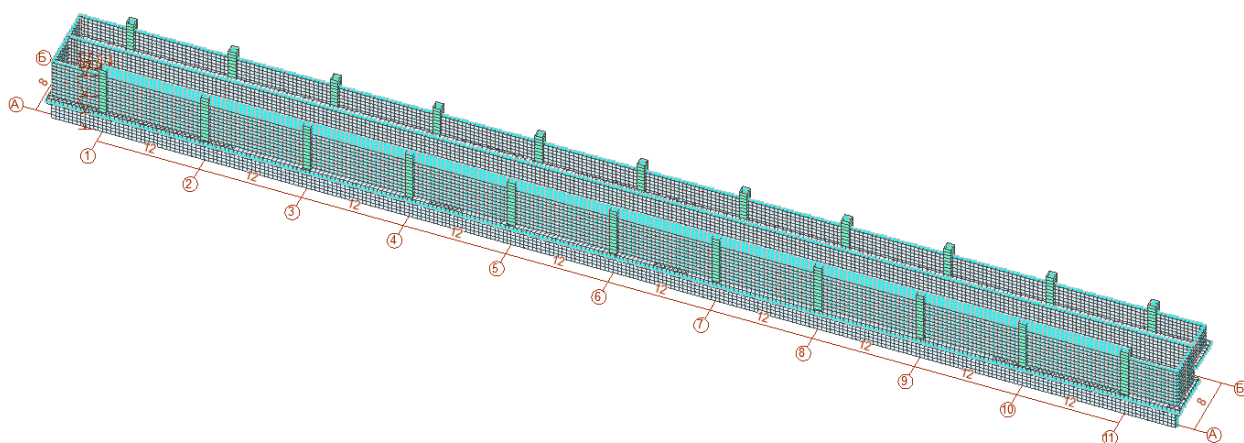


Рис.3. Загальний вигляд споруди подвійного призначення №3.

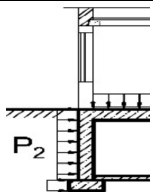
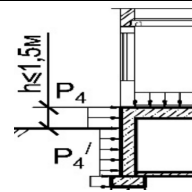
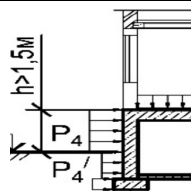
Fig.3. General view of the dual-purpose building No. 3.

Табл. 1. Порівняння конструктивних особливостей споруд подвійного призначення

Table 1. Comparison of design features of dual-purpose structures

№	Параметр	СПП №1	СПП №2	СПП №3
1	відкрита ділянка зовнішньої заглибленої стіни	відсутня	присутня ($h < 1.5$ м)	присутня ($h > 1.5$ м)
2	схеми для визначення навантажень за квазістатичним методом згідно ДБН В.2.2-5:2023	«а» – для перекриття та стін при повному заглибленні; «б» – стін, що примикають до суміжних приміщень	«б» – для стін, що примикають до суміжних приміщень; «д» – для перекриття та стін при неповному заглибленні ($h < 1.5$ м)	«а» – для перекриття та стін при повному заглибленні; «ж» – для стін при неповному заглибленні ($h > 1.5$ м)

Табл. 1. (продовження) Порівняння конструктивних особливостей споруд подвійного призначення
 Table 1. (continuation) Comparison of design features of dual-purpose structures

№	Параметр	СПП №1	СПП №2	СПП №3
3	величина навантаження від дії ударної вибухової хвилі за квазістатичним методом на зовнішню стіну, що контактує з ґрунтом згідно ДБН В.2.2-5:2023	 $P_2 = 5,10 \text{ т/м}^2$	 $P_4 = 28,96 \text{ т/м}^2$ $P_4' = 11,58 \text{ т/м}^2$	 $P_4 = 35,49 \text{ т/м}^2$ $P_4' = 17,75 \text{ т/м}^2$
4	товщина зовнішньої стіни, що контактує з ґрунтом	400 мм	600 мм	600 мм
5	прийняте армування стіни (бетон С25/30, арматура А500С):			
5.1	- вертикальне	Ø14 крок 150 мм з додатковим встановленням: - в нижній зовнішній зоні Ø14 крок 150 мм; - у верхній зовнішній зоні Ø18 крок 150 мм	Ø12 крок 150 мм із внутрішньої сторони* та Ø16 крок 150 мм із зовнішньої сторони з додатковим встановленням: - у верхній зовнішній зоні Ø16 крок 150 мм	Ø16 крок 150 мм з додатковим встановленням: - в нижній зовнішній та внутрішніх зонах Ø25 крок 150 мм; - у верхній зовнішній зоні Ø16 крок 150 мм
5.2	- горизонтальне	Ø12 А500С з кроком 150 мм*	Ø12 А500С з кроком 150 мм*	Ø12 А500С з кроком 150 мм* з додатковим встановленням: - в середній внутрішній зоні Ø12 крок 150 мм;
5.3	- поперечне	Ø12 крок 300х300 мм - в нижній зоні Ø12 крок 150х300 мм; - у верхній зоні Ø12 крок 150х300 мм	Ø12 крок 300х300 мм - в нижній зоні Ø12 крок 150х150 мм; - у верхній зоні Ø12 крок 150х150 мм	Ø14 крок 300х300 мм - в нижній зоні Ø14 крок 75х150 мм; - у верхній зоні Ø14 крок 150х300 мм

Примітка: * – мінімальне конструктивне армування згідно вимог ДБН В.2.2-5:2023.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. На сьогоднішній день проектування житлових багатоквартирних та громадських будівель класів наслідків СС2 та СС3 переважно неможливо без наявності СПП в складі об'єкта будівництва.
2. Об'ємно-планувальне рішення СПП визначається, перш за все, з умови основного функціонального призначення. В житлових та громадських будівлях, найоптимальнішим варіантом

3. влаштування СПП є підземні приміщення, які, як правило, відведено для зберігання автотранспорту (паркінги).
3. Переважна частина сучасних досліджень щодо захисних споруд стосуються захисту об'єктів критичної інфраструктури, фортифікаційних споруд та укриттів спеціального призначення. Моделювання таких споруд відбувається на основі чітко визначеного завдання – ударного навантаження прямого влучання, що залежить від типу загрози. Водночас укриття цивільного

населення можуть бути запроектовані без розрахункових випадків прямого влучання.

4. Відповідно до ДБН В.2.2-5:2023 врахування навантаження на огорожувальні конструкції СПП від дії ударної вибухової хвилі може бути реалізоване квазістатичним методом та прямим динамічним аналізом. Однак, серед цих підходів лише детальна методологія першого приведена у положеннях цих норм. Використання прямого динамічного аналізу на динамічні дії, що викликають значне прискорення конструкції порівняно до квазістатичного методу може впровадити більш ефективні проектні рішення.
5. Відповідно до нормативних положень, характер заглиблення СПП визначає розрахункову величину навантаження від дії ударної вибухової хвилі, що у свою чергу впливає на напружено-деформований стан конструкцій. При моделюванні за квазістатичним методом зміна величини навантаження при схемі з частково відкритою ділянкою зовнішньої заглибленої стіни ($h < 1.5$ м) порівняно до схеми із повністю заглибленою стіною складає від 2,3 до 5,7 разів. Відповідно зміна величини навантаження при схемі з майже повністю відкритою ділянкою зовнішньої заглибленої стіни ($h > 1.5$ м) порівняно до схеми із повністю заглибленою стіною складає 7 разів.
6. Таке багатократне збільшення навантаження від дії ударної вибухової хвилі, безумовно, встановлює необхідність відповідного підвищення міцності та жорсткості огорожувальних конструкцій, зокрема збільшення товщини конструкції та збільшення армування, що призводить до додаткових інвестицій при будівництві СПП. Це свідчить про те, що з точки зору ефективного проектування заглиблені споруди подвійного призначення є більш доцільними на відміну від частково заглиблених та повністю незаглиблених.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про регулювання містобудівної діяльності. Закон України №3038-VI (2025) (Україна) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17>
2. Захисні споруди цивільного захисту із Змінами № 1 та №2: ДБН В.2.2-5:2023 (2023) [Чинний від 2023.11.01]. К.: Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України.
3. Азізов, Т., Люльченко, В. & Орлова, О. (2024) Швидкоспоруджувана захисна споруда цивільного захисту. *Екологічна безпека та природокористування*, 50, 78–87.
4. Веселов, М., Забєділіна, А. (2023) Цивільний захист населення в умовах воєнного стану. *Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право*, 4, 98-114. [https://doi.org/10.31617/3.2023\(129\)09](https://doi.org/10.31617/3.2023(129)09)
5. Коцюруба, В.І., Білик, А.С., Веретнов, А.О., Гайдарли, Г.С., Борта, Р.М. & Тертишний, Б.І. (2022) Методика розрахунків та обґрунтування вимог до інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури від БпЛА типу баражуючий боеприпас. *Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірник*, 109, 164-183.
6. Сахаров, В., & Литвин, О. . (2023). Вплив вибухової ударної хвилі на покриття захисної споруди критичної інфраструктури. *Основи та Фундаменти*, 47, 107–114. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.47.2023.107-114>
7. Носенко, В., & Нечипоренко, Д. (2024). Принципи побудови числових моделей для дослідження впливу імпульсних навантажень на заглиблені споруди. *Основи та Фундаменти*, 49, 55–61. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.49.2024.55-61>

REFERENCES

1. Pro rehulivannia mistobudivnoi diialnos-ti. Zakon Ukrainy №3038-VI (2025) (in Ukrainian) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text>
2. Zakhysni sporudy tsyvilnoho zakhystu iz Zminamy № 1 ta №2: DBN V.2.2-5:2023 (2023) [Chynnyi vid 2023.11.01]. K.: Ministerstvo rozvytku hromad, terytorii ta infrastruktury Ukrainy. (in Ukrainian).
3. Azizov, T., Liulchenko, V. & Orlova, O. (2024) Shvydkosporudzhuvana zakhysna sporuda

- tsyvilnoho zakhystu [The prefabricated civil defense structure]. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya*, 50, 78–87. (in Ukrainian).
4. Veselov, M., Zabiedilina, A. (2023) Tsyvilnyi zakhyst naselennia v umovakh voiennoho stanu [Civilian protection of the population under martial law]. *Zovnishnia torhivlia: ekonomika, finansy, pravo*, 4, 98–114. (in Ukrainian). [https://doi.org/10.31617/3.2023\(129\)09](https://doi.org/10.31617/3.2023(129)09)
 5. Kotsiuruba, V.I., Bilyk, A.S., Veretnov, A.O., Haidarly, H.S., Borta, R.M. & Tertyshnyi, B.I. (2022) Metodyka rozrakhunkiv ta obgruntuvannia vymoh do inzhenernoho zakhystu ob'ektiv krytychnoi infrastruktury vid BpLA typu barazhuiuchy boieprypas [Methodology for calculating and justifying requirements for engineering protection of critical infrastructure objects from UAVs of the barrage munition type]. *Opir materialiv i teorii sporud: nauk.-tekhn. zbirnyk*, 109, 164–183. (in Ukrainian).
 6. Sakharov, V., & Lytvyn, O. (2023). Vplyv vybukhovoi udarnoi khvyli na pokryttia zakhysnoi sporudy krytychnoi infrastruktury [Impact of an explosive shock wave on the covering of a critical infrastructure protection structure]. *Bases and Foundations*, 47, 107–114. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32347/0475-1132.47.2023.107-114>
 7. Nosenko, V., & Nechyporenko, D. (2024). Pryntsypy pobudovy chyslovykh modelei dlia doslidzhennia vplyvu impulsnykh navantazhen na zahlybleni sporudy [Principles of constructing numerical models for studying the impact of impulse loads on recessed structures]. *Bases and Foundations*, 49, 55–61. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32347/0475-1132.49.2024.55-61>

Comparison of design features of recessed and unrecessed dual-purpose structures based on design experience

Ihor FESUN
Anton KOVALCHUK
Yevhenii LITNAROVYCH

Summary. The study presents a comparison of the design features of recessed and unrecessed dual-purpose structures based on design experience. The purpose of the work is a comprehensive analysis of space-planning and structural solutions for dual-

purpose structures, determination of the features of calculations and design, determination of conclusions and recommendations for further design.

The update of regulatory documents and the intensification of scientific research in the field of design and construction of protective structures in general were noted. Most of the research concerns the protection of critical infrastructure facilities, fortifications and special-purpose shelters. The modeling of such structures is based on a clearly defined task - the direct hit impact load, which depends on the type of threat. The number of studies on civilian shelters that must be designed in accordance with current regulatory requirements, where no direct hit design cases are provided, is currently limited.

Regulatory provisions and design experience have established that the space-planning solution of a dual-purpose building is determined, first of all, by the main functional purpose. In residential and public buildings, the most optimal option for the arrangement of dual-purpose structures is underground premises, which are primarily reserved for the storage of vehicles (parking lots).

Three dual-purpose structures were selected for analysis, differing in the features of their structural schemes, burial conditions, and the magnitude of the load from the blast wave. The modeling of each dual-purpose structure was performed in a spatial formulation in SCAD software, taking into account physical and geometric nonlinearities. The consideration of the loading from the blast wave action was realized by the quasi-static method.

It has been established that, in accordance with the regulatory provisions, the nature of the recess of a dual-purpose structure determines the calculated value of the load from the action of a shock blast wave, which in turn affects the stress-strain state of the structures. The change in the load magnitude is quantitatively different for the scheme with full recess, incomplete recess, and complete non-recess.

The obtained results demonstrate that from the point of view of effective design, recessed dual-purpose structures are more appropriate in contrast to partially recessed and completely unrecessed ones.

Keywords. protective structures, dual-purpose structures, quasi-static method, loading from the blast wave action.