

Розрахунок залізобетонних конструкцій захисної споруди модульного типу за Eurocode 2

Владислав Шеховцов, канд. техн. наук, доц.¹ (ORCID: 0000-0001-9499-0188), Олег Фесенко, канд. техн. наук, доц.² (ORCID: 0000-0001-8154-2239), Тарас Донець, аспірант³ (ORCID: 0000-0002-2203-5824)

¹ Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна

² Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

³ Київський авіаційний інститут, Україна

АНОТАЦІЯ

Ці тези містять результати розрахунку залізобетонних плит покриття захисної споруди модульного типу на квазістатичне навантаження від дії повітряної ударної хвилі. Розрахунок було виконано відповідно до вимог європейських норм Eurocode 2.

Ключові слова: захисна споруда, квазістатичне навантаження, повітряна ударна хвиля, залізобетонні конструкції, європейські норми.

ВСТУП

Захист цивільного населення від терористичних атак російської федерації досі залишається актуальною проблемою в Україні. Однак, останнім часом загроза терористичних атак росією, зокрема із застосуванням БпЛА, поширилася і на країни Європейського Союзу. Це обумовлює актуальність розрахунку і проектування залізобетонних конструкцій захисних споруд за європейськими нормами Eurocode 2 [1].

ЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ ЗАХИСНОЇ СПОРУДИ МОДУЛЬНОГО ТИПУ

Проект мобільного багатофункціонального укриття [2] було розроблено у 2022 році як швидке рішення нагальної проблеми забезпечення місць масового скупчення людей захисними спорудами від дії повітряної ударної хвилі та проникнення уламків при застосуванні звичайних засобів ураження. Для реалізації проекту мобільної захисної споруди було застосовано конструктивне рішення із використанням короткої циліндричної оболонки з уніфікованих збірних залізобетонних плит покриття. Таке рішення забезпечило високу швидкість монтажу та ефективний опір навантаженню від повітряної ударної хвилі (рис. 1).

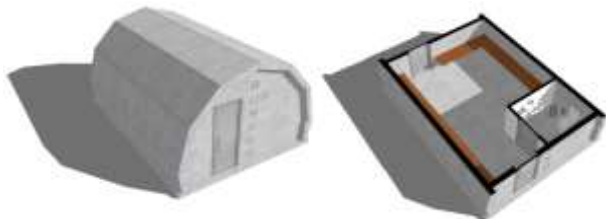


Рисунок 1. Загальна конструкція споруди

Перші архітектурні і проектні рішення були запропоновані у 2022 році, за умов відсутності актуальних норм проектування захисних споруд цивільного захисту,

які б відповідали викликам повномасштабної військової агресії РФ в Україну. Основою для розрахунку залізобетонних конструкцій тоді слугували застарілі радянські норми і наявні у відкритому доступі науково-технічні напрацювання. Таким чином, були розроблені конструктивні рішення збірних залізобетонних плит покриття товщиною 160 мм із бетону класу C25/30, із подвійним армуванням сітками зі стрижнів Ø14 A500C, крок 150 мм.

Залізобетонні плити покриття у складі дослідного зразка захисної споруди пройшли натурні польові випробування шляхом їх прямого ураження уламково-фугасним боєприпасом. Результати цих натурних випробувань продемонстрували достатні захисні властивості таких залізобетонних конструкцій.

Із набуттям чинності ДБН В.2.2-5:2023 [3] постала необхідність збільшення товщини плит покриття і встановлення додаткового шару армування, для запобігання проникненню уламків та вторинному сколюванню.

РОЗРАХУНОК ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ЗА EUROCODE 2

Для розрахунку за європейськими нормами Eurocode 2 було розроблено скінченно-елементні моделі короткої циліндричної оболонки з уніфікованих збірних залізобетонних плит покриття товщиною 160 мм і 330 мм (рис. 2). Товщина 330 мм прийнята як така, що відповідає бетону класу C25/30, є мінімально допустима згідно з таблицею 14.13 ДБН В.2.2-5:2023 [3].

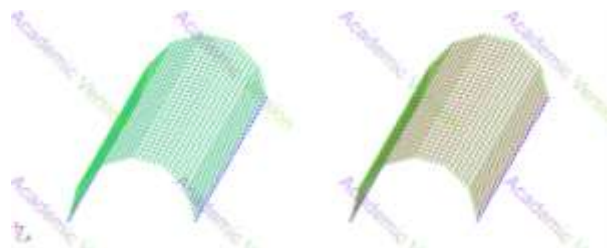


Рисунок 2. Розрахункові моделі плит 160 і 330 мм
Моделі уніфікованих збірних залізобетонних плит покриття були розроблені у програмному комплексі Lira-

FEM. Розрахунки на дію квазістатичне навантаження від дії повітряної ударної хвилі були виконані з метою підбору теоретичної площі арматури плит завтовшки 160 і 330 мм, а також для перевірки наявного армування плит завтовшки 160 мм.

Результати підбору теоретичної площі арматури плит покриття завтовшки 330 мм показали, що їх достатньо армувати трьома сітками зі стрижнів Ø10A500C замість прийнятих для плит 160 мм стрижнів Ø14A500C (рис. 3). Однак такий результат суперечить вимогам ДБН В.2.2-5:2023 [3] щодо мінімального діаметру стрижнів 12 мм.



Рисунок 3. Результати підбору арматури плит

Перевірні розрахунки прийнятого армування уніфікованих збірних залізобетонних плит покриття товщиною 160 мм і 330 мм за Eurocode 2 були виконані із застосуванням програмного комплексу Idea StatiCa. Аналіз результатів перевірного розрахунку показав, що плити покриття завтовшки 160 мм не відповідають вимогам Eurocode 2 до граничних станів першої групи (див. таблицю 1).

Таблиця 1: Результати розрахунку плит завтовшки 160 мм

Governing part of check	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	V_{Ed} [kN]	T_{Ed} [kNm]	Value [%]	Check
Capacity N-M-M	-6780.0	-27.3	0.0			169.7	Not OK
Interaction	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	OK
Stress Limitation	0.0	0.0	0.0			0.0	OK

Аналіз результатів перевірних розрахунків плит покриття завтовшки 330 мм із тришаровим армуванням сітками (рис. 4) показав відповідність такої конструкції вимогам Eurocode 2 до граничних станів першої групи (див. таблицю 2).

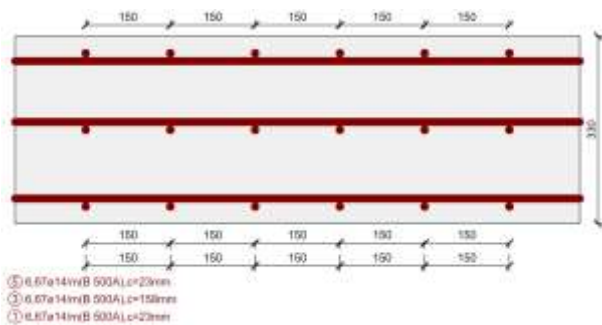


Рисунок 4. Схема армування плити завтовшки 330 мм

Таблиця 2: Результати розрахунку плит завтовшки 330 мм

Governing part of check	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	V_{Ed} [kN]	T_{Ed} [kNm]	Value [%]	Check
Capacity N-M-M	-3264.0	-35.0	0.0			42.8	OK
Interaction	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	OK
Stress Limitation	0.0	0.0	0.0			0.0	OK

ВИСНОВКИ

1. Аналіз результатів розрахунку уніфікованих збірних залізобетонних плит покриття товщиною 160 мм і 330 мм на квазістатичне навантаження від дії повітряної ударної хвилі відповідно до вимог європейських норм Eurocode 2 дозволяє зробити такі висновки:

- плити завтовшки 160 мм не відповідають вимогам як ДБН В.2.2-5:2023, так і Eurocode 2;

- плити завтовшки 330 мм із тришаровим армуванням сітками відповідають вимогам Eurocode 2.

2. Подальше проєктування залізобетонних плит покриття захисної споруди модульного типу відповідно до вимог Eurocode 2 потребуватиме проведення детальних перевірних розрахунків, у тому числі вузлів з'єднання плит.

3. Рекомендовано проведення натурних польових випробувань захисних споруд із плитами покриття 330 мм для подальшого вдосконалення їх конструктивного рішення для відповідності новим викликам повномасштабної агресії росії в Україні.

Список літератури

- [1] EN 1992-1-1:2004. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels : European Committee for Standardization (CEN), 2004.
- [2] Клименко С. В., Шеховцов В. І. Мобільні багатоцільові та багатофункціональні укрита. Експлуатація та реконструкція будівель і споруд : тези доп. V міжнар. конф. Одеса : ОДАБА, 2023. С. 43–44.
- [3] ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. [Чинний від 2023–11–01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2023

ⁱ Робота виконана під керівництвом проф., д-ра. техн. наук Євгенія Клименка