

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБІРНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ФРАГМЕНТІВ ЗАХИСНИХ СПОРУД

І. Кархут, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0002-9205-5118

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://doi.org/10.31734/architecture2024.25.046>

Кархут І. Дослідження збірних залізобетонних фрагментів захисних споруд

На основі аналізу літературних науково-технічних джерел та виконаних натурних досліджень і перевірових розрахунків сформульовано проблему спорудження модульних швидкокомпонованих захисних залізобетонних споруд різних класів. Проаналізовано переваги та недоліки конкретної споруди. Представлено результати візуального огляду та натурних випробувань фрагменту захисної споруди. Наведено загальні відомості про конструктивні рішення та результати статичних випробувань. Встановлено дійсний технічний стан та можливості її надійної експлуатації за призначенням. Статичними розрахунками встановлено відповідні параметри заглиблення та обвалування укриття для забезпечення захисних властивостей на рівні класів А-I...А-IV. Вказані класи забезпечуються також відповідними характеристиками арматури та бетону, товщинами стінок укриття. Візуальний огляд та інструментальне обстеження підтвердили відповідність конструкції за показниками геометричних розмірів та їхніх відхилень, характеристиками матеріалів вимогам проекту та нормативних документів. Випробувальне навантаження становило 0,81 від рівня розрахункового вертикального. Критичні пошкодження перекриття укриття при цьому були відсутні. Встановлені граничні навантаження, основні причини, які зумовлювали необхідність удосконалення конструкції. На основі результатів розрахунків та натурних випробувань розроблено рекомендації з удосконалення армування збірних елементів захисних споруд. Розроблені робочі креслення виробу «Варта-3» з підвищеною міцністю на проникнення радіації та вторинне сколювання від дії вибухової хвилі. Ці характеристики забезпечені за рахунок зменшення кроку та діаметрів арматури багаторядного розміщення в перекритті укриття, покращання характеристик бетону конструкції.

Ключові слова: захисна споруда, конструкції, залізобетонні, аварійні впливи, натурні випробування.

Karkhut I. Research of precast concrete fragments of protective shelters

This study addresses the construction of modular, quickly assembled reinforced concrete shelters of various classes. The analysis is based on a range of literary, scientific, and technical sources, as well as completed field studies and verification calculations. The author evaluates the advantages and disadvantages of a specific shelter design. The paper includes results from a visual inspection and full-scale testing of a fragment of the protective structure. It provides general information about the design solutions and the outcomes of static tests. The primary goal of the study was to assess the actual technical condition of the shelter and its reliability for its intended purpose. Static calculations established relevant parameters regarding the depth and potential collapse of the shelter to ensure protective properties that align with classes A-I to A-IV. Specific characteristics regarding reinforcement, concrete composition, and wall thickness accompany each respective class. Both visual and instrumental inspections confirmed that the structure met the required geometric dimensions and material specifications outlined in the project and regulatory documents. The test load was calculated at 0.81 of the vertical design load, with no critical damage observed to the shelter ceiling. The study also identified the maximum loads and the primary reasons necessitating design enhancements. Based on the findings from the calculations and full-scale tests, recommendations were developed to improve the reinforcement of prefabricated elements in the protective shelters. Additionally, working drawings were created for the "Varta-3" product, which features enhanced strength against radiation penetration and reduced secondary chipping resulting from blast wave impacts. These improvements were achieved by decreasing the spacing and diameter of the multi-row reinforcement in the shelter's ceiling, thus enhancing the overall concrete structure's performance.

Keywords: protective shelter, structures, reinforced concrete, emergency impacts, full-scale tests.

Постановка проблеми. Після початку повномасштабної війни між Україною та росією гостро постала проблема захисту цивільного населення від ракетних ударів та ударів безпілотників по житлових будівлях і промислових об'єктах, на більшості з яких відсутні захисні споруди. Дуже багато споруд

цивільного захисту, побудовані у другій половині минулого століття, було занедбано та приведено до непридатного чи аварійного стану. У м. Львові окремі укриття приводять до належного стану відповідно до вимог [1; 2] державні експлуатуючі організації (вул. Золота), приватні власники (вул. Каліча

Гора) чи волонтери. Одне з таких укриттів першої світової війни у парку ім. Ів. Франка. За два роки війни цю проблему в багатьох регіонах почали вирішувати за допомогою розробок будівельних фірм різного типу швидкоспоруджуваних модульних залізобетонних збірних конструкцій: AbShelter, BetonErgo, ЦУ-1, ЗС Бориспільського КБМ та ін. Конструкції відкритого та заглибленого типу різних груп і класів захисту від ударної хвилі та радіації отримали широке застосування на підприємствах, зупинках громадського транспорту, приватних ділянках біля котеджів, дитячих майданчиках тощо. Укриття проєктуються на забезпечення захисту від ядерного вибуху, його наслідків та може витримувати дію аварійного навантаження (450–500-кілограмова фугасна бойова частина ракети типу «Калібр» чи подібної балістичної, вибухів снарядів та мін) у вигляді ударної хвилі з відстані 15–25 м ($\Delta P_f=10\text{--}25$ кПа, зона вище середніх руйнувань) та 25–150 м, що відповідає надмірному тиску $\Delta P_f=3\text{--}10$ кПа (зона слабких та середніх руйнувань). За таких впливів руйнуванню піддаються огорожувальні конструкції та окремі дерев'яні конструкції дахів. Конструкції руйнуються за напрямком дії надлишкового тиску (навітряні стіни – в середину будівлі). Проникнення ударної хвилі через димарі, вентиляційні канали тощо в середину будівлі спричинює руйнування на протилежному боці (підвітряні стіни – назовні будівель). Окремі огорожувальні конструкції отримують у зоні слабких руйнувань також осколкові пошкодження від уламків скла, боеприпасів (ракет, снарядів, мін, гранат тощо). Несучі конструкції (дахові, муровані перестінки та несучі стіни) отримують незначні ушкодження у вигляді тріщин та понаднормативних деформацій. Пошкодження і руйнування огорожувальних конструкцій вікон і дверей будівель, конструкцій укриттів можливе як від прямої, так і від відбитої ударної хвилі (осколки, уламки). Зона пошкоджень (радіус впливу) таких конструкцій за вказаних параметрів надмірного ΔP_f та атмосферного P_0 тиску від надмірного тиску відбивання $\Delta P_{vid}=6\text{--}80$ кПа, що виникає в результаті наземного вибуху при зустрічі ударної хвилі з перешкодою (стіна будинку) становить 25–150 м. У цій зоні слабких та середніх руйнувань укриття забезпечують гарантований захист. У зоні слабких та середніх руйнувань без обвалування, в зоні вище середніх руйнувань – з обвалуванням та заглибленням. Для забезпечення захисту від уламків у зоні сильних руйнувань ($\Delta P_f=25\text{--}100$ кПа) необхідні додаткові конструктивні заходи (спеціальне додаткове армування), яке підсилить опір проникненню.

Дослідження виконане у НДЛ-23 НУ «Львівська Політехніка» з метою встановлення відповідності збірних конструкцій швидкоспоруджуваних захисних споруд модульного типу «Варта-1» та «Варта-2» (угода № 251–2024) робочим кресленням проєкту та вимогам чинних норм [3], розробки пропозицій їхнього вдосконалення. Для цього проведені детальне обстеження, статичні розрахунки міцності конструкцій та рівня послаблення радіації, натурні випробування конструкцій. Перед початком робіт розроблено програму обстеження відповідно до вимог норм [4; 5] з мінімальною кількістю лабораторних досліджень, що дозволило виконати роботи в стислі терміни. Проводили попереднє обстеження зі збором та оцінкою технічної документації, загальним візуальним оглядом і оцінкою конструктивних рішень, матеріалів та зовнішнього вигляду захисних споруд. Подальші натурні статичні випробування та розрахунки дозволили встановити відповідність споруди чинним нормам та вдосконалити конструкції під вимоги різних класів захисних споруд.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У процесі роботи вивчили креслення РП «Швидко-монтажне модульне залізобетонне укриття соціального захисту «Варта-2» та РП «Швидкоспоруджувані захисні споруди цивільного захисту модульного типу «Варта-1», виконавчу документацію на виготовлення укриттів. Візуальний огляд елементів конструкцій: склепінчастого покриття, залізобетонних стін, фундаментів, збірних модульних виробів проводили з метою встановлення відповідностей вимогам робочих креслень, чинних норм [2; 6–10; 11], наявності дефектів, їхньої локалізації та причин виникнення.

Споруди окремі для застосування наземного відкритого та підземного з обвалуванням, одноповерхові збірні із залізобетонними фундаментами, покриттям та стінами. Дефекти поверхні конструкцій при огляді не виявлені. Відсутні поверхневі дефекти у вигляді великих повітряних пор, оголювання арматури каркасів та сіток, понаднормативні відхилення від розмірів залізобетонних перерізів виробів та положення арматурних сіток і каркасів, понаднормативні прогини покриття, корозійне пошкодження бетону та арматури стін і покриття, усадочні тріщини на поверхні бетону, порушення щільності бетону (ділянки розуцільнення), механічні дефекти у вигляді сколів бетону граней стін та покриття, фундаментів при знятті опалубки. За сукупністю отриманих при візуальному огляді загальом збірні вироби та елементи укриттів «Варта-1» та «Варта-2» відповідають вимогам РП та чинних

норм [10]. Загальний технічний стан несучих конструкцій оглянутих елементів укріттів «Варта-1» та «Варта-2» за класифікацією [4] нормальний (категорія 1).

Покриття споруд влаштоване із залізобетонних гладких ненапружених плит, в укрітті «Варта-1» склепінчасте. Збірні елементи та вироби виготовляли в металевих опалубкових формах і мають якісну фактурну нижню та бокові поверхні. Відкриті поверхні при бетонуванні заглажені механічним способом. Під час огляду виявили незначні допустимі дефекти поверхні на окремих плитах покриття, які можна усунути шляхом оптимізації складу бетону (покращання укладальності та зменшення В/Ц). У залізобетонних перерізах не виявили силових тріщин, а тільки незначні усадочні тріщини шириною розкриття до 0,02 мм, що свідчило про можливість коригування складу бетону.

Залізобетонні розрахункові перерізи покриття, стін та фундаментів споруд прямокутного перерізу. Конструктивні вирішення нормальних і похилих перерізів відповідали вимогам чинних нормативних документів щодо проєктування залізобетонних конструкцій із важкого бетону, захисних споруд цивільного захисту за розмірами перерізів, класами бетону та арматури, діаметрами та розміщенням арматурних виробів у перерізах. Плити покриття укріттів виконані склепінчастими та з вузами на опорах. За результатами огляду запропонували технологічні рішення з усунення дрібних поверхневих пор на поверхні виробів без збільшення В/Ц в бетонній суміші та покращання її легкоукладальності з використанням комплексного суперпластифікатора «BERAMENT A2».

Постановка завдання. Наше завдання – за допомогою складеної програми детального

обстеження встановити технічний стан конструкцій і надати рекомендації з надійної подальшої експлуатації захисної споруди. Програма передбачала:

- - обміри площ поверхонь для їхнього уточнення;
- уточнення перерізів елементів, армування та схем навантаження;
- визначення фізико-механічних характеристик бетону;
- визначення розмірів дефектів та їхнього впливу, фотофіксацію дефектів;
- перевіркові розрахунки несучої здатності плит покриття виробів;
- розрахунки заглиблення споруд для забезпечення стійкості на перекидання і ковзання;
- перевіркові розрахунки ступеня радіаційного захисту та необхідної товщини обвалування для забезпечення його нормованих показників;
- статичні випробування споруди;
- формулювання висновків та рекомендацій.

Виклад основного матеріалу. Детальне обстеження проведено для уточнення перерізів елементів, схем навантаження, визначення товщини захисного шару бетону до арматури, фактичного класу бетону. Інструментальне обстеження проводили також з метою встановлення відхилення геометричних розмірів збірних елементів укріттів, діаметра арматури та положення закладних деталей на поверхні залізобетонних елементів, що необхідні для встановлення відповідності проєктним вимогам (рис. 1). Під час обмірів встановлено, що геометричні розміри відповідають наведеним у кресленнях проєкту.

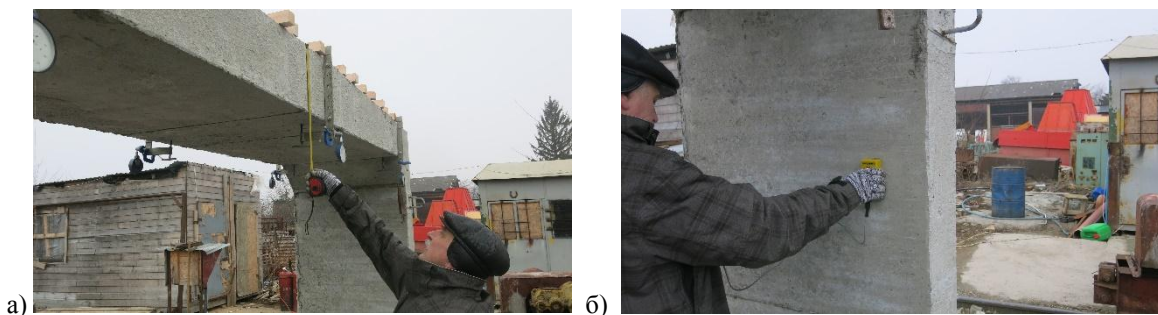


Рис. 1. Контроль геометричних параметрів (а) та армування (б)

Фактична товщина залізобетонного перекриття «Варта-2» та її відхилення відповідали нормативним конструктивним вимогам [3] для забезпечення протиуламкового захисту. Товщини плит покриттів відповідали проєктним, відхилення в бік

збільшення становило 0–5 мм. Відхилення товщини стін та плитних залізобетонних фундаментів не перевищувало +0–2 мм. Робоча арматура залізобетонних стін, плит покриття та фундаментів класу А500С відповідала вимогам норм і проєктів. Під

час обмірів дефектів встановлено, що максимальний розмір поверхневих пор у залізобетонних конструкціях не перевищує 0,5–0,9 мм, що допустимо. Напливи бетону та виходи зерен крупного заповнювача на поверхню не виявлені. Максимальний прогин плит покриття під власною вагою становить 0–2,0 мм, що значно менше за допустимі значення перед експлуатацією (1/500 прольоту). Стіни споруд – несучі. Вертикальних та похилих тріщин у залізобетонних стінах не зафіксували. Корозійного пошкодження арматури стін не виявлено. Відхилення товщини захисного шару бетону стін до арматури порівняно з проектами, визначене неруйнівним магнітним методом, виявлено в бік збільшення до 0–5 мм, що відповідає вимогам норм. Усі виявлені поверхневі дефекти стін та покриттів допустимі, не впливають на несучу здатність і довговічність експлуатації конструкцій. Стіни збірних споруд гладкі залізобетонні обстежували в найнапруженіших перетинах (середина висоти) та на стиках із плитами покриття й підлоги. Механічних дефектів та силових і усадкових тріщин при цьому не виявили. Відсутні сколи та пошкодження захис-

ного шару бетону, корозія арматури (визначена неруйнівним магнітним методом), хімічна корозія бетону. Технічний стан залізобетонних конструкцій захисних споруд за результатами інструментального обстеження підтверджено як нормальний (категорія 1).

Фізико-механічні характеристики бетону встановлювали для виконання перевірок розрахунків несучої здатності конструкцій неруйнівним методом згідно [12] з пружинним приладом конструкції фірми «Controls» (Італія) та лабораторними випробуваннями. Результати неруйнівного контролю наведено в табл. 1, а лабораторних випробувань стандартних кубиків з бетону звичайного складу проектного класу С32/40 у табл. 2. Визначення класу бетону проводили на зразках, заформованих у заводських умовах та випробовуваних на стиск на пресі П-125 з максимальним зусиллям 125 тс у ВЛ ФОП Кархут І. І. Кубики до випробувань зберігали в умовах формувального цеху та ВЛ за температури +18 °С протягом 32–34 днів і за кривою нормального тверднення могли набрати 100 % проектної міцності (класу) бетону.

Таблиця 1

Результати неруйнівного контролю міцності бетону

Конструкції	f_{cm} , МПа	Клас бетону
Плита перекриття «Варта-1»	43,0	С32/40
Плита фундаменту «Варта-1»	42,6	С32/40
Стінка «Варта-1»	43,2	С32/40
Стінка «Варта-2»	41,4	С32/40
Плита перекриття «Варта-2»	42,2	С32/40
Плита фундаменту «Варта-2»	41,9	С32/40

Бетон виготовляли відповідно до вимог [13]. Як показали випробування, бетон запропонованого складу має незначний розкид щільності (до 2,5 %), міцності при стиску (до 11,5 %) в бік збільшення та міцність усіх зразків відповідає вимогам проекту (міцність у межах проектного класу). Щоб забезпечити стабільність показників щільності, були розроблені рекомендації для коригування складу

бетону. Оскільки аналіз результатів показує, що визначені фактичні міцності відповідають нормованим та проектним (відсутнє зниження міцності), то за цим показником технічний стан конструкцій нормальний (категорія 1). Вимірювали також вологість бетону. Вона становила 30–40 %, що відповідає умовам складування просто неба, тобто бетон стін та покриттів повітряно вологий.

Таблиця 2

Результати лабораторного контролю міцності бетону

Дата вигот.	Дата випр.	Розміри, мм			А см ²	V см ³	M грами	ρ г/см ³	F кгс	$f_{cm,cube}$ МПа	Факт. клас, С	Виріб
		h	b	a								
20.12	21.01	150	150	150	225,0	3375	8190	2,43	112750	49,16	32/40	Варта-2
20.12	21.01	150	150	150	225,0	3375	8260	2,45	115000	50,14		
20.12	21.01	150	150	150	225,0	3375	8254	2,45	114500	49,92		
20.01	23.02	100	100	100	100,0	1000	2418	2,42	59500	55,45	32/40	Варта-1
20.01	23.02	100	100	100	100,0	1000	2436	2,44	61500	57,31		
20.01	23.02	100	100	100	100,0	1000	2436	2,44	55500	51,72		
20.01	23.02	103	100	100	103,0	1030	2498	2,43	54500	50,79		
20.01	23.02	101	100	100	101,0	1010	2440	2,42	56500	52,66		

Для забезпечення нормованих згідно з [3] характеристиками послаблення радіаційного впливу в укритті відповідно до параметрів СПП із захисними властивостями ПРУ «Варта-1» групи П-4 на об'єктах суб'єктів господарювання першої та другої категорій цивільного захисту, у населених пунктах, розміщених у зонах незначних руйнувань (табл. А.2) захисних властивостей бетонних стінок укриття недостатньо. Для сприйняття надмірного тиску повітряної ударної хвилі $\Delta P_{ex}=100$ кПа та забезпечення коефіцієнта послаблення радіаційного впливу $K_s=200$ необхідно влаштувати обвалування укриття із заглибленням фундаменту. Для забезпечення властивостей сховища класу А-IV необхідний ступінь захисту $A_s=1000$. Захист розраховали згідно з положеннями Додатка Г [3]. Обвалування проєктоване із суглинкового ґрунту. Характеристики шарів двошарового захисту прийнято за табл. Г.4, а розрахунок проведено за залежністю (Г.1). Характеристики укриття приймали як для споруд із захисними властивостями сховищ. У результаті визначили необхідну товщину обвалування для отримання $A_s=1000$ та $K_s=500$. Решту значень товщини засипки отримали аналогічно для забезпечення нормованих значень K_s 100 та 200. Коефіцієнт послаблення $K_{зф}$ для окремого не обвалованого укриття з властивостями ПРУ типу «Варта-2» розраховували за залежністю Г.6. Значення коефіцієнта K_I у вказаній залежності прийняте згідно з табл. Г.8, K_{cm} згідно з табл. Г.5, коефіцієнта K_n як для відкритої плити, а коефіцієнта K_{nep} за інтерполяцією згідно з табл. Г.5 за фактичної ваги огорожувальної конструкції. Коефіцієнти $K_{и}$ і V_I приймали згідно з табл. Г.6 для фактичних внутрішніх розмірів ширини і висоти укриття. Коефіцієнт $K_o=0$ за фактичними конструктивними рішеннями, а коефіцієнт $K_m=0,5$ згідно з табл. Г.7 у запас міцності як для промислової зони. Коефіцієнт $K_{пз}=0,45$ прийнято як для окремо розміщеного сховища. Тоді для отримання коефіцієнта послаблення радіації $K_{зф}=1000$ необхідна товщина обвалування залізобетонної конструкції сховища становить 300 мм. Фактичне значення $A_{зф}$ заглибленого сховища перевірене за залежністю Г.1.

Характеристики укриття «Варта 2» із захисними властивостями сховищ прийнято такими: коефіцієнти $K_{y,i}$ двошарового захисту обчислені за даними табл. Г.1 за інтерполяцією для фактичних товщини засипки (шар 1) та бетону (шар 2) покриття і стінок 25 см; коефіцієнт K_p згідно із залежністю Г.2 з використанням $K_{заб}$ згідно із табл. Г.2 для середньої щільності забудови і висоти будівель до 12 м та коефіцієнт $K_{бвд}$ згідно з приміткою до табл. Г.3 для окремо розташованого укриття. Тоді для забезпечення коефіцієнта послаблення $A_s=1000$

товщину обвалування прийнято 60 см. Для забезпечення коефіцієнта послаблення $A_s=3000$ (клас А-II) товщину обвалування ґрунтом прийнято 76 см.

Виконано також контрольний розрахунок міцності плит покриття захисних споруд з урахуванням фактичної міцності бетону, постійних максимальних навантажень від обвалування, власної ваги плит та надмірного тиску повітряної ударної хвилі $\Delta P_{ex}=100$ кПа. Розрахунок проведено для визначення площі арматури розтягнутої зони. При цьому застосовано коефіцієнти відповідальності споруди за [9], як для СС1. З урахуванням конструктивних особливостей покриття розрахункова схема плити – балка на двох опорах із защемленнями.

У розрахунку споруди «Варта-1» постійні навантаження приймали від ґрунту обвалування та від власної ваги залізобетонної плити. Аварійне навантаження на покриття від надмірного тиску ударної хвилі прийняте за схемою «а» (табл. 14.1): $P_I=\Delta P_{ex}=100$ кПа=100 кН/м². Коефіцієнт динамічності до квазістатичного навантаження при розрахунку за умовою ІА становив $K_d=1,2$ (табл. 14.8). Еквівалентне розрахункове погонне навантаження на покриття становило 139,2 кН/мп. Несучу здатність монолітної плити покриття визначили з урахуванням положень деформівного методу.

Розрахунковий згинальний момент M_x визначали для прольоту 2,1 м як для монолітних конструкцій, підйом склепіння приймали в запас міцності. За мінімального захисного шару бетону відстань до центру арматури прийняли з умови забезпечення від вторинного сколювання 36 мм, за фактичних розмірів перерізу та характеристиках бетону визначили коефіцієнти $K=2,394$, $\alpha_m=0,1106$, а за табл. А.6 [14] коефіцієнт $\zeta=0,9339$, тоді обчислена необхідна площа ар-ри A_x була більша за площу фактичного армування плити, визначеного магнітним неруйнівним методом приладом «Профометр 5 Сканлог (Швейцарія)». Фактична площа арматури була недостатня для сприйняття розрахункових навантажень і збільшена для умов використання заглибленої споруди з обвалуванням.

Під час розрахунку міцності сховища «Варта-2» класу А-IV постійні та аварійне навантаження, коефіцієнт динамічності приймали аналогічними, як для «Варта-1», тоді еквівалентне статичне розрахункове погонне навантаження становить 139,2 кН/м. Несучу здатність монолітної плити покриття визначали з урахуванням положень деформівного методу. Розрахунковий згинальний момент M_x визначали для прольоту 3,5 м, прийнятого в запас міцності. За мінімального захисного шару бетону 30 мм з умов забезпечення від вторинного сколювання для бетону класу С32/40 визначили коефіцієнти $K=2,394$ та $\alpha_m=0,1098$, а за табл. А.6 [14]

$\zeta=0,9345$. Визначена необхідна площа арматури A_x класу А500С становила 1302,3 мм²/мп. Таке армування плити, визначене магнітним неруйнівним методом, забезпечує сприйняття розрахункових навантажень.

Під час розрахунку міцності сховища класу А-ІІ постійні навантаження також приймали від ґрунту обвалування та власної ваги залізобетонної плити. Аварійне навантаження на покриття від надмірного тиску ударної хвилі прийнято за схемою «а» (табл. 14.1) і становило $P_I = \Delta P_{ex} = 300$ кПа = 300 кН/м². Еквівалентне статичне розрахункове навантаження при коефіцієнті динамічності $K_d = 1,2$ за умовою ІА прийнято 382,32 кН/м. Несучу здатність монолітної плити покриття визначали з урахуванням положень деформівного методу. При цьому розрахунковий проліт 3,5 м прийнято в запас міцності. За мінімального захисного шару бетону 30 мм з умов забезпечення від вторинного сколювання та відстані до центру арматури 45 мм визначено коефіцієнти $K=2,394$ та $\alpha_m=0,3166$ і за табл. А.6 [14] коефіцієнт $\zeta=0,7864$. За таких вихідних даних необхідна площа арматури класу А500С становила $A_x=4355,0$ мм²/м. Армування плити, визначене магнітним методом, відповідало проекту та було недостатнім для сприйняття розрахункових навантажень. Для укриттів класу А-ІІ рекомендували в розтягнутій зоні встановити 9Ø25 площею 4418 мм²/мп.

Перевірковий розрахунок необхідної товщини для забезпечення від проникнення та вторинного сколювання виконали для обвалованої споруди. Приведені коефіцієнти піддатливості проникненню приймали за табл. 14.13: для бетону – 1,065, для ґрунту обвалування – 0,228. Тоді для споруди «Варта-2» умова $h_{np} > 310$ мм як для бетону класу С32/40 (табл. 14.13) виконується. Для споруди «Варта-1» $h_{np} \approx 310$ мм, тобто також умова виконується. Для посилення захисних властивостей споруд на проникнення та вторинне сколювання запропоновано додаткові конструктивні заходи при розробці споруди «Варта-3» класу А-ІІ та вдосконалене армування споруди «Варта-1». За розрахунку обвалованої стінки додатково приймали коефіцієнти розрахунку за умовою ІА $K_d=1,0$ (табл. 14.8), $K_\sigma=0,5$ (табл. 14.3). Еквівалентне статичне розрахункове навантаження, прийняте в розрахунок, становило $P_2=100 \times 1,0 \times 0,5=50,0$ кН/м. Для обчислення M_{ct} у стінці з бетону класу С32/40 визначили [14] коефіцієнти $K=2,394$ та $\alpha_m=0,0099$, а за таблицею А.6 – коефіцієнт $\zeta=0,9955$. За таких даних фактична площа арматури класу А500С у стінці споруди, товщина захисного шару відповіда-

ють проекту та забезпечують сприйняття розрахункових навантажень як при обвалуванні, так і без нього.

Розрахунок на перекидання і ковзання (друга група граничних станів) виконали для випадку наземного розміщення укриттів. Встановили, що їхня маса не забезпечує стійкості на перекидання та ковзання від дії горизонтальної складової надлишкового тиску. За розрахунку заглиблення споруди визначено необхідну глибину з умови нормованого коефіцієнта надійності 1,2, але не менше за мінімальний 1,10. Для забезпечення рівномірного тиску від відпору ґрунту за товщиною заглиблення необхідне забезпечення пошарового ущільнення ґрунту зворотної засипки механічними трамбівками.

Об'єм бетону на споруду «Варта-1» прийнято згідно зі специфікаціями збірних елементів. Для цього об'єму визначили вагу порожньої (найневигідніший випадок) споруди G_1 . Розподілене зусилля горизонтальне від надмірного тиску прикладене до бічної стіни вище попередньо прийнятого заглиблення 1,5 м (найменше плече зусилля утримування від перекидання). Розрахунок виконано на мінімальну довжину стінки споруди. Розрахункову схему показано на рис. 2.

Оскільки в чинних нормах [13] відсутні розрахункові схеми для визначення стійкості положення захисної споруди, прямокутну епіюру за висотою стиснутої зони ґрунту (зона відпору, рис. 2, 3) прийнято з таким обґрунтуванням: у граничному стані за розрахунку згинаних та позацентрово стиснутих конструкцій за деформівним методом епіюра приймається прямокутною; зменшення міцності ґрунтів основи на 29–31 % за нульового заглиблення фундаментів (рівність нулю другого доданка ($d=0$) порівняно із заглибленням 1,5 м у розрахунковій залежності норм [3] для визначення R_0 (трапецієподібна епіюра за висотою стиснутої зони) компенсують збільшенням міцності матеріалів за динамічних навантажень (сейсмічне, ударне). Ці коефіцієнти збільшення для конструкційних матеріалів (дерево, бетон, сталь), що мають, як і суглинки, пластичні чи псевдопластичні властивості й залежать від швидкості прикладення навантаження, становлять 1,15–1,5 та покривають це зменшення. Додатковою підставою для цього є наявність коефіцієнта крайового тиску ґрунту 1,2 за розрахунку позацентрово навантажених фундаментів. Визначене заглиблення споруди «Варта-1» забезпечує коефіцієнт надійності 1,21 при розрахунках стійкості на перекидання та ковзання споруди за дії розрахункового горизонтального тиску 100 кПа.

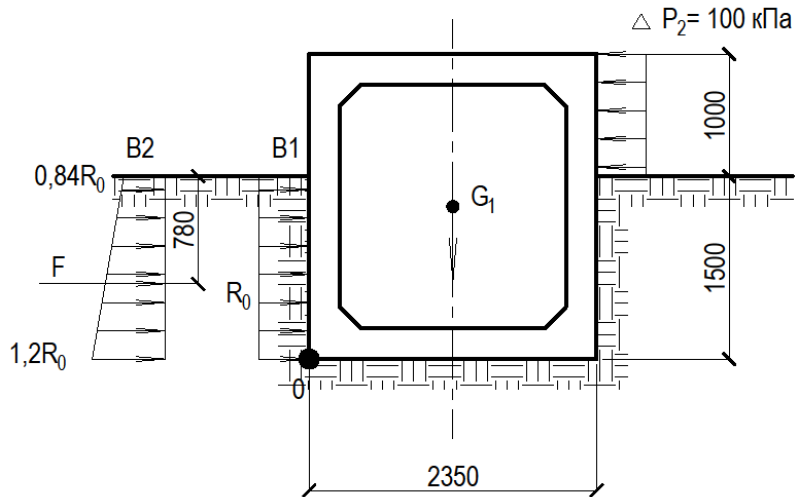


Рис. 2. Розрахункова схема укриття «Варта-1»

За точнішого розрахунку (трапецієподібна епюра за висотою стиснутої зони ґрунтів пошарово ущільненої оберненої засипки, B2) з відповідними величинами R_0 для відмітки денної поверхні та за необхідного заглиблення центру тяжіння епюри утримуючий момент відносно точки повороту конструкції сховища O забезпечує фактичний коефіцієнт надійності 1,15. Стійкість на перекидання та ковзання споруди за дії розрахункового горизонтального тиску 100 кПа забезпечена. Об'єм бетону на

споруду «Варта-2» приймали згідно зі специфікацією на секцію довжиною 1 м. Тоді визначали вагу порожньої споруди G_2 . Розподілене зусилля горизонтальне від надмірного тиску прикладали до бічної стіни вище за попереднє прийняте заглиблення 1,5 м (найменше плече зусилля утримування від перекидання). Розрахунок виконано на довжині стінки секції для розрахункової висоти споруди 2,5 м. Розрахункова схема зображена на рис. 3.

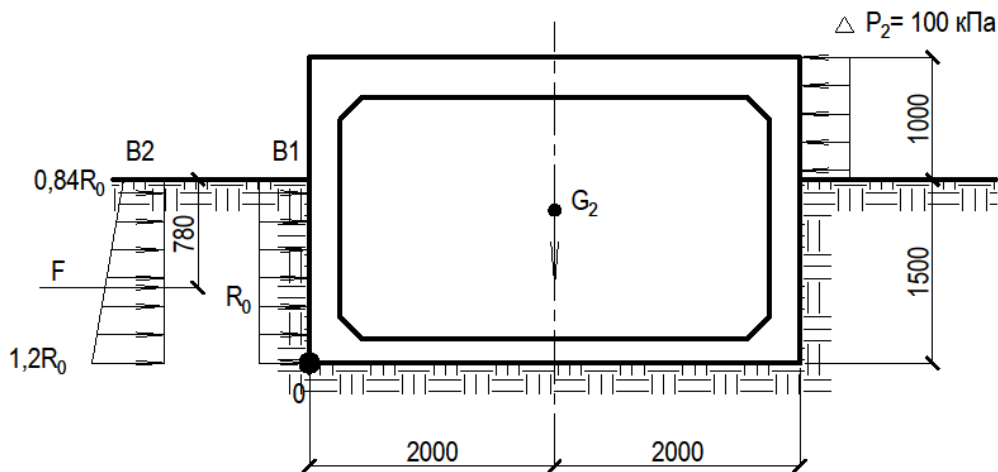


Рис. 3. Розрахункова схема заглибленого а) базування сховища «Варта-2»

Утримувальний момент за прямокутної епюри (B1) забезпечував фактичний коефіцієнт надійності 1,214. Утримувальний момент за трапецієподібної епюри (B2) забезпечує фактичний коефіцієнт надійності 1,199. За прийнятого попередньо заглиблення стійкість на перекидання та ковзання споруди при дії розрахункового горизонтального тиску 100 кПа забезпечена. За наземного базування влаштовано контрфорси. Тоді вага двох залізобетонних контрфорсів забезпечує необхідний утримувальний момент та коефіцієнт надійності $>1,1$.

При розрахунку стійкості на ковзання коефіцієнт тертя бетону по ґрунту Ψ (0,3–0,35) прийнято в запас міцності. Тоді утримувальне зусилля забезпечує виконання умови стійкості з коефіцієнтом надійності $>1,1$ на ковзання конструкції з анкерами в контрфорсах.

Статичні випробування. Статичні випробування збірного виробу фрагменту сховища «Варта 2» проведені на виробничій базі підприємства-виготовлювача. Температура зовнішнього повітря

+10 °С забезпечувала нормальну роботу вимірювальних приладів – прогиномірів типу БПАО. Вертикальне рівномірне розподілене навантаження прикладали на площі 3,5 м² у вигляді фундаментних блоків масою по 500 кг. Ступені навантаження становили по 5,0 т. Загальна навантага 284,49 кН, що

становить близько 0,81 від руйнуючої та відповідає вимогам щодо натурних випробувань споруд (не менше ніж 0,7 від розрахункового навантаження). На кожному ступені контролювали прогини та наявність тріщин мікроскопом МПБЗ. Графік прогинів покриття наведено на рис. 4.

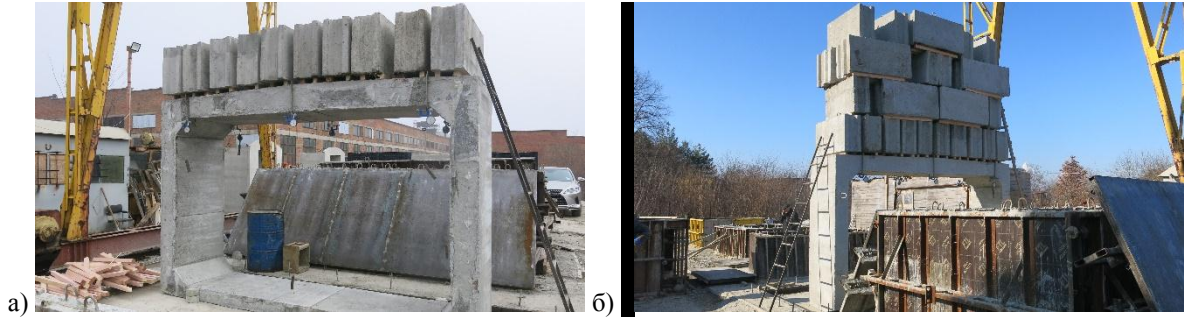


Рис. 4. Статичні випробування. перший (а) та четвертий ступінь (б)

Графік прогинів наведено на рис. 5. Перші тріщини шириною 0,05 мм у перекритті та однієї зі стінок на розтягнутих гранях виявлені на четвертому ступені. На наступному ступені з'явилась тріщина на іншій стінці на зовнішній грані та друга тріщина в першій стінці. На шостому ступені з'явилися ще дві нормальні тріщини в перекритті та три тріщини в стінці.

Також виникла одна тріщина посередині довжини на верхній грані в плиті фундаменту шириною розкриття до 0,1 мм. Максимальна ширина розкриття тріщин на поверхні бетону не перевищувала 0,25 мм (рис. 6). Прогини й ширину розкриття тріщин контролювали згідно з [10; 15] для довідок, оскільки за аварійного навантаження розрахунок за другою групою не виконується.

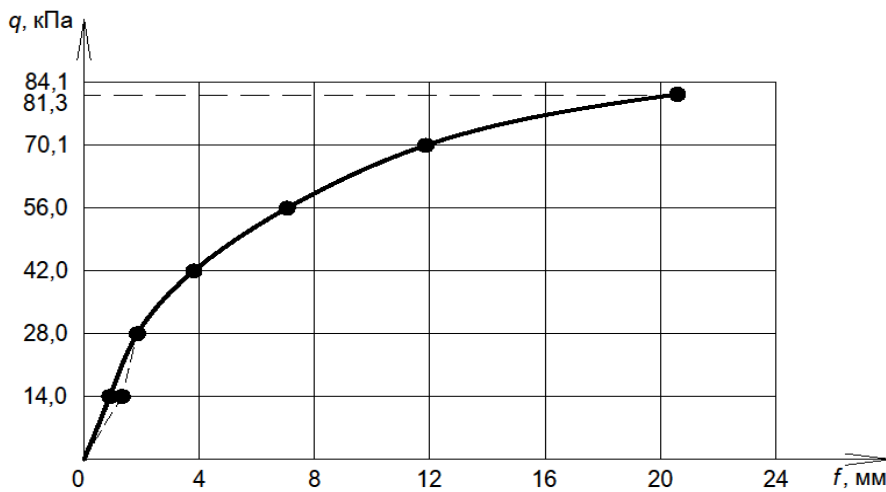


Рис. 5. Графік прогинів покриття сховища «Варта-2» від статичного навантаження

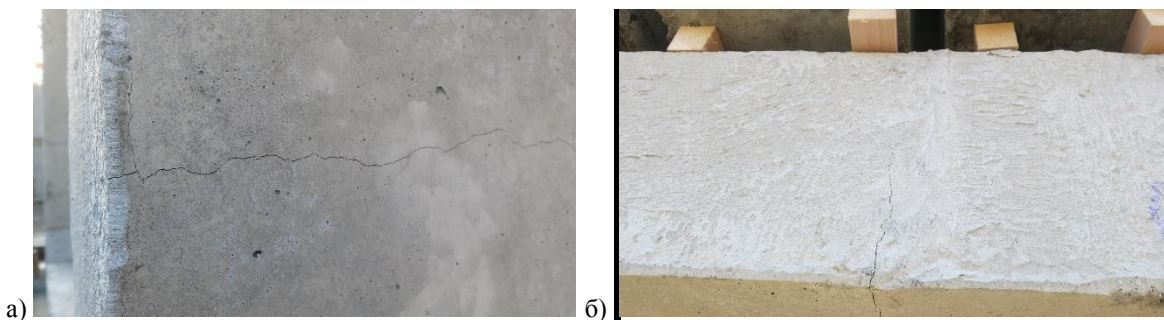


Рис. 6. Нормальні тріщини у стінці (а) та плиті покриття (б)

Висновки. Технічний стан усіх основних конструктивних елементів збірного фрагменту захисної споруди: плити покриття, стін і фундаментів, за сукупністю розрахункових даних, результатів обстеження та випробування, за класифікацією [4; 12] визначено як нормальний та придатний до експлуатації за призначенням. Проведене детальне інструментальне обстеження несучих конструкцій захисних споруд дало підстави для висновків та рекомендацій:

1. Отримані під час детального обстеження дані про стан конструкцій сховищ дають змогу однозначно встановити їхній технічний стан та розробити рекомендації з подальшої експлуатації, що усунуло потребу в спеціальному обстеженні.

2. Ступінь розвитку виявлених дефектів конструкцій на момент проведення обстеження дає змогу однозначно стверджувати, що вони не впливають на несучу здатність основних конструкцій споруд та їхню експлуатаційну придатність.

3. Фізико-механічні характеристики бетону несучих конструкцій захисних споруд відповідають проектам і вимогам чинних норм [3; 6]. Несуча здатність конструкцій сховищ та укриттів згідно з проведеними перевіркою розрахунками відповідає проектним і нормативним вимогам для відповідних груп та класів, а отримані розрахункові параметри обвалування та заглиблення сховищ і укриттів дають змогу забезпечити нормовані коефіцієнти ослаблення радіації згідно з [3].

4. Для посилення захисних властивостей укриттів (сховищ) на проникнення та вторинне сколювання запропоновано додаткові конструктивні заходи згідно з [16; 17] за розробки укриття «Варта-3», вдосконалене армування укриття «Варта-1» для забезпечення міцності при аварійних навантаженнях зовнішнього надмірного тиску $P_I = \Delta P_{ex} = 100$ кПа, вдосконалене армування укриття «Варта-2» та «Варта-3» для забезпечення міцності при аварійних навантаженнях зовнішнього надмірного $P_I = \Delta P_{ex} = 300$ кПа.

Бібліографічний список

1. Інструкція щодо утримання захисних споруд Цивільної оборони у мирний час: наказ Міністерства з НС № 653 від 21.08.2018. Київ, 2018. 6 с.

2. ДБН А.3.1-9-2015. Експлуатаційна придатність закінчених будівництвом об'єктів споруди цивільного захисту: наказ № 338 від 30.12.2015 р. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2015. 7 с.

3. ДБН В.2.2.5:2023 зі зміною 1. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України. Захисні споруди цивільного захисту. 131 с.

4. ДСТУ-Н Б В.1.2-18-2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Київ, 2016.

5. Правила обстеження технічного стану захисних споруд цивільного захисту (цивільної оборони): наказ Міністерства з НС № 868/613 від 21.12.2009. Київ, 2009. 17 с.

6. ДБН В.2.6-98-2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ: МінрегіонБуд Україн, 2009.

7. ДБН В.1.2-2-2006 зі змінами. Навантаження і впливи. Київ: МінрегіонБуд України, 2016.

8. ДБН В.2.1-10-2018. Основи та фундаменти споруд. Основні положення. Київ: МінрегіонБуд України, 2018.

9. ДБН В.1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. Київ: МінрегіонБуд України, 2018.

10. ДСТУ Б В.2.6-156-2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Київ: МінрегіонБуд України, 2010.

11. ДСТУ Б В.2.6-2:2009. Вироби бетонні та залізобетонні. ЗГУ. Київ: МінрегіонБуд України. 2010 р. 29 с.

12. ДСТУ Б В.2.7-220:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності методами неруйнівного контролю. Київ: НДІБК, 2010. 20 с.

13. ДСТУ 9208:2022. Бетони важкі. Технічні умови. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. 24 с.

14. Бліхарський З. Я., Кархут І. І. Розрахунок і конструювання згинаних залізобетонних елементів: навчальний посібник. Львів, 2017. 188 с.

15. ДСТУ Б В.1.2-3-2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. Київ: МінрегіонБуд України, 2006.

16. Karkhut I. Strength of inclined cross-sections of reinforced concrete protective shells under the action of punching. *Theory and Building Practice. Bulletin of NULP*. 2022. Vol. 4, No 1. P. 1–17. <https://doi.org/10.23939/jtbp2022.01.001>.

17. Karkhut I. Improving the crack resistance of inclined cross-sections of reinforced concrete containment shells in areas of emergency loads of pushing. *Estern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 117, No 7. P. 31–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.262337>.

Стаття надійшла 06.08.2024