

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інститут архітектури, будівництва та землеустрою  
Кафедра будівництва та цивільної інженерії

---

## **Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи  
магістра

---

на тему: **Ресурсоекономне планування та особливості та особливості  
планувальних рішень укриття на 600 осіб**

Виконав: студент 6 курсу, групи 601-БП  
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна  
інженерія»

Манько Денис Володимирович

Керівник: доцент кафедри БтаЦІ Семко П.О.

Зав. кафедри: д.т.н., проф. Семко О.В.

Полтава - 2026 року

## Зміст

Вступ.....	5
Розділ 1. Аналітичний огляд сучасних підходів до проєктування та будівництва захисних споруд .....	9
1.1. Історичні передумови та еволюція нормативних вимог до укриттів ..	9
1.2. Аналіз світового досвіду та конструктивних рішень .....	10
1.2.1. Досвід Держави Ізраїль .....	10
1.2.2. Досвід країн Скандинавії (Фінляндія, Швеція) та Швейцарії.....	10
1.3. Порівняльний аналіз конструктивних схем .....	11
1.3.1. Збірний каркас .....	12
1.3.2. Монолітний залізобетон .....	12
1.4. Аналіз існуючих проблем ресурсоефективності.....	13
1.5. Висновки до Розділу 1 .....	13
Розділ 2. Методика проведення досліджень та вихідні дані для проєктування .....	14
2.1. Характеристика району будівництва та інженерно-геологічні умови ..	14
2.1.1. Кліматичні навантаження і впливи .....	14
2.1.2. Інженерно-геологічні умови .....	15
2.2. Методика визначення навантажень на захисну споруду .....	16
2.2.1. Тиск ґрунту обвалування .....	17
2.2.2. Власна вага конструкцій .....	17
2.3. Збір навантажень.....	17
2.3.1. Навантаження на покрівлю (плиту покриття) .....	18
2.3.2. Навантаження на фундаментну плиту .....	21
2.3.3. Розрахунок бокового тиску ґрунту на стіни .....	22
2.4. Створення розрахункової моделі будівлі .....	24
2.5. Методика чисельного моделювання (ЛІРА-САПР) .....	27
2.6. Методика техніко-економічного порівняння варіантів .....	30

					<b>601-БП.12135611.ПЗ</b>			
<b>Змін.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розробив		Манько Д.В.			Ресурсоекономне планування та особливості планувальних рішень укриття на 600 осіб	Стадія	Арк.	Аркушів
Керівник		Семко П.О.					2	92
Н.Контроль		Зигун А.Ю.				НУПП ім. Юрія Кондратюка кафедра БтаЦІ		
Затвердив		Семко О.В.						



4.4. Інженерно-технічне забезпечення функціонування.....	68
4.4.1. Система вентиляції та кондиціонування повітря .....	68
4.4.2. Водопостачання та водовідведення .....	71
4.4.3. Електропостачання та електрообладнання .....	73
4.4.4. Слабкострумні мережі та системи зв'язку .....	75
4.4.5. Система пожежної сигналізації та оповіщення .....	76
4.5. Технологія та організація будівництва.....	77
4.5.1. Загальна характеристика методів виконання робіт.....	77
4.5.2. Технологічна карта на зведення монолітного варіанту .....	80
4.5.4. Гідроізоляція та технологія обвалування споруди.....	83
4.5.5. Закріплення укосів та благоустрій територію .....	84
4.5.6. Заходи з охорони праці та безпеки .....	85
4.6. Висновки до Розділу 4.....	87
Висновки .....	89
Список використаних джерел .....	91

					<b>601-БП.12135611.ПЗ</b>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

## Вступ

### Актуальність теми.

В умовах, які сьогодні склалися в Україні через збройну агресію та постійну загрозу ракетно-бомбових ударів, питання безпеки населення стало критично важливим. Захист життя та здоров'я людей є пріоритетним завданням держави.

Досвід останніх років показав, що наявний склад захисних споруд цивільного захисту (сховищ та протирадіаційних укриттів) часто не готовий до виконання своїх функцій. Значна кількість існуючих укриттів була спроектована ще за радянських часів, має застарілі інженерні мережі, поганий стан гідроізоляції або ж взагалі не придатна до експлуатації. Крім того, більшість наявних споруд не враховують потреб маломобільних груп населення, що робить їх недоступними для значної частини громадян.

У зв'язку з цим виникає гостра потреба у новому будівництві захисних споруд, зокрема протирадіаційних укриттів (ПРУ), які б відповідали сучасним будівельним нормам, були комфортними для довготривалого перебування великої кількості людей та забезпечували надійний захист.

Однак, в умовах воєнного стану та обмеженості наявних ресурсів, економічна складова є надзвичайно важливою. Будівництво захисних споруд — це проект, що коштує багато, який потребує значних обсягів бетону, металу та земляних робіт. Тому необхідно не просто спроектувати надійне укриття, а знайти таке конструктивне рішення, яке дозволить зекономити матеріали і кошти без зниження рівня безпеки.

Саме тому моя магістерська робота присвячена ресурсоекономному плануванню протирадіаційного укриття на 600 осіб та порівнянню різних конструктивних схем (монолітної та збірної). Я вважаю, що дана тема є потрібною, своєчасною та вкрай актуальною сьогодні.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						5
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні ідеї цієї роботи базуються на моєму власному досвіді, отриманому під час виробничої практики. Я особисто обстежував існуючі укриття і бачив реальні проблеми їх експлуатації — від незручних входів до відсутності умов для маломобільних груп. Саме аналіз цих недоліків на реальних об'єктах став основою для рішень, які я пропоную в цьому проєкті.



Рисунок 1 – Обстеження укриття

### **Актуальність теми.**

Аналіз стану наукових досліджень та проєктної практики свідчить, що більшість сучасних розробок фокусується або на швидкому зведенні тимчасових модульних укриттів, або на реконструкції вже наявних укриттів, які повністю не вирішують проблем дотримання сучасним вимогам. Проблема пошуку оптимальних конструктивних рішень для ПРУ великої місткості (на 600 осіб і більше), які б поєднували високий рівень захисту та комфорту людей з доцільним використанням обмежених ресурсів, залишається недостатньо вивченою.

Актуальність цієї магістерської роботи обумовлена гострою потребою у розробці нових типів ресурсоефективних укриттів подвійного призначення, які відповідають вимогам ДБН В.2.2-5:2023 [1], забезпечують безбар'єрний та повністю інклюзивний доступ різних груп населення (в т.ч. МГН) та можуть бути реалізовані в умовах обмеженості будівельних матеріалів та техніки.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Магістерська робота виконана відповідно до пріоритетних напрямів розвитку будівельної галузі України у воєнний та післявоєнний періоди щодо відновлення інфраструктури та забезпечення цивільного захисту.

## **Мета і задачі дослідження.**

Метою роботи є розробка та фактичне обґрунтування оптимальних планувальних і конструктивних рішень протирадіаційного укриття на 600 осіб на основі порівняння показників використання ресурсів монолітних та збірно-каркасних систем.

Для досягнення мети поставлено такі задачі:

- Виконати аналіз нормативної бази (ДБН, ДСТУ) та світового досвіду проектування захисних споруд, виявити недоліки існуючих типових рішень.
- Розробити об'ємно-планувальне рішення укриття, що відповідає сучасним вимогам інклюзивності та комфортного перебування людей протягом 48 годин.
- Виконати чисельне моделювання напружено-деформованого стану основного варіанту (монолітний каркас) у ПК ЛІРА-САПР та САПФІР-3Д. Для альтернативного варіанту (збірний каркас) здійснити аналітичний підбір перерізів несучих елементів та їх уніфікацію відповідно до діючих нормативних навантажень.
- Провести порівняльний економічний аналіз варіантів за критеріями: вартість, трудомісткість, технологічність монтажу, експлуатаційна надійність (герметичність, вогнестійкість).
- Розробити рекомендації щодо технології виконання робіт та заходів з охорони праці.

## **Об'єкт дослідження**

Процес проектування та конструювання захисних споруд цивільного захисту (протирадіаційних укриттів) напівзаглибленого типу.

## **Предмет дослідження**

Конструктивні схеми несучого каркаса укриття та методи оцінки їх економічної ефективності в умовах дії специфічних навантажень (грунтове обвалування) та планування внутрішнього простору.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						7
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Методи дослідження

У роботі застосовано комплексний підхід, що включає:

- системний аналіз – при дослідженні нормативних вимог та існуючих аналогів;
- метод архітектурного моделювання – для розробки функціонально-планувальної структури об'єкта;
- чисельні методи (МСЕ) – для розрахунку напружено-деформованого стану конструкцій з використанням ПК ЛІРА-САПР та САПФІР-3Д;
- порівняльний економічний аналіз – для вибору оптимального конструктивного варіанту.

## Наукова новизна одержаних результатів.

Обґрунтування переваг монолітних безбалкових конструкцій для напівзаглиблених споруд цивільного захисту порівняно зі збірними системами, з урахуванням сучасних вимог до вогнестійкості (R120) [6] та герметичності.

Показано економічну неефективність використання особливих серій збірного залізобетону для будівництва укриттів через високі витрати на логістику, виготовлення та спеціальні захисні заходи.

## Практичне значення одержаних результатів.

Розроблені проєктні рішення можуть бути використані як база для будівництва ПРУ у житлових комплексах або при навчальних закладах чи лікарнях, з урахуванням особливостей щодо планування простору таких укриттів. Запропоноване планування забезпечує повну інклюзивність простору, а економічна ефективність монолітного варіанту дозволяє оптимізувати бюджетні витрати при реалізації програм цивільного захисту.

## Апробація результатів.

Основні положення досліджень пройшли практичну апробацію під час проходження виробничої практики на базі ТОВ БФ «Платформаєкобуд». Матеріали натурних обстежень існуючих укриттів, виконаних мною, покладено в основу розробки планувальних рішень магістерської роботи.

## Обсяг і структура роботи.

Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, та списку використаних джерел. Повний обсяг пояснювальної записки становить 92 сторінки. Робота ілюстрована рисунками, таблицями та містить графічну частину.

									Арк.
									8
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	601-БП.12135611.ПЗ				

# Розділ 1. Аналітичний огляд сучасних підходів до проєктування та будівництва захисних споруд

## 1.1. Історичні передумови та еволюція нормативних вимог до укриттів

Питання захисту цивільного населення від засобів масового ураження набуло актуальності ще в середині ХХ століття. Аналіз літературних джерел показує, що еволюція захисних споруд відбувалася "хвилеподібно", реагуючи на зміну військових доктрин та типів озброєння. У період «холодної війни» (1950–1980 рр.) основним вектором проєктування був захист від ядерного удару. Нормативна база того часу орієнтувала інженерів на створення заглиблених сховищ високих класів захисту, переважно на території промислових підприємств для захисту працюючої зміни. Житловий сектор забезпечувався укриттями за залишковим принципом, що призвело до накопичення фонду споруд, які сьогодні не відповідають вимогам комфорту та інклюзивності.

Сучасний етап (з 2014 року і особливо після 2022 року) характеризується зміною парадигми. Пріоритетом стало забезпечення захисту від фугасної та осколкової дії звичайних засобів ураження (ракет, артилерії, БПЛА) при одночасному забезпеченні автономності перебування людей протягом 48 годин.

Введення в дію нового ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту» [1] стало відповіддю на ці виклики. Важливою складовою норм стала обов'язкова вимога інклюзивності (безбар'єрності) та регламентація класів захисту для об'єктів подвійного призначення, що вимагає перегляду підходів до конструювання несучих каркасів.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						9
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.2. Аналіз світового досвіду та конструктивних рішень

Вивчення закордонного досвіду дозволяє виділити декілька ефективних стратегій, які можуть бути адаптовані до українських реалій.

### 1.2.1. Досвід Держави Ізраїль

Стратегія цивільного захисту Ізраїлю базується на концепції децентралізації. Згідно з законом про цивільну оборону (1992 р.), кожна новобудова повинна мати захищену кімнату («мамад») у квартирі або захищений простір на поверсі («мамак»).

Конструктивне рішення: Монолітні залізобетонні ядра жорсткості, що пронизують будівлю на всю висоту. Товщина стін 200–300 мм, армування посилене.

Переваги: Миттєвий доступ (щоб дістатись треба 15–60 с), висока живучість.

Недоліки для України: Висока вартість реалізації в існуючій забудові та значне здорожчання квадратного метра житла.

### 1.2.2. Досвід країн Скандинавії (Фінляндія, Швеція) та Швейцарії

Ці країни реалізують концепцію колективного захисту. У Швейцарії діє принцип «місце в укритті для кожного мешканця».

Конструктивне рішення: Використання підземних просторів подвійного призначення (паркінги, склади, спортзали), виконаних з монолітного залізобетону високої міцності. Активно використовуються скельні породи як природний захисний екран.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						10
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливості: Системи фільтровентиляції розраховані на тривалий період автономності.

Висновок для даного дослідження: Для умов України найбільш раціональним вбачається комбінований підхід — будівництво окремо розташованих або вбудованих укриттів подвійного призначення середньої місткості (300–600 осіб) для житлових кварталів, що поєднує швейцарську надійність з доступністю.

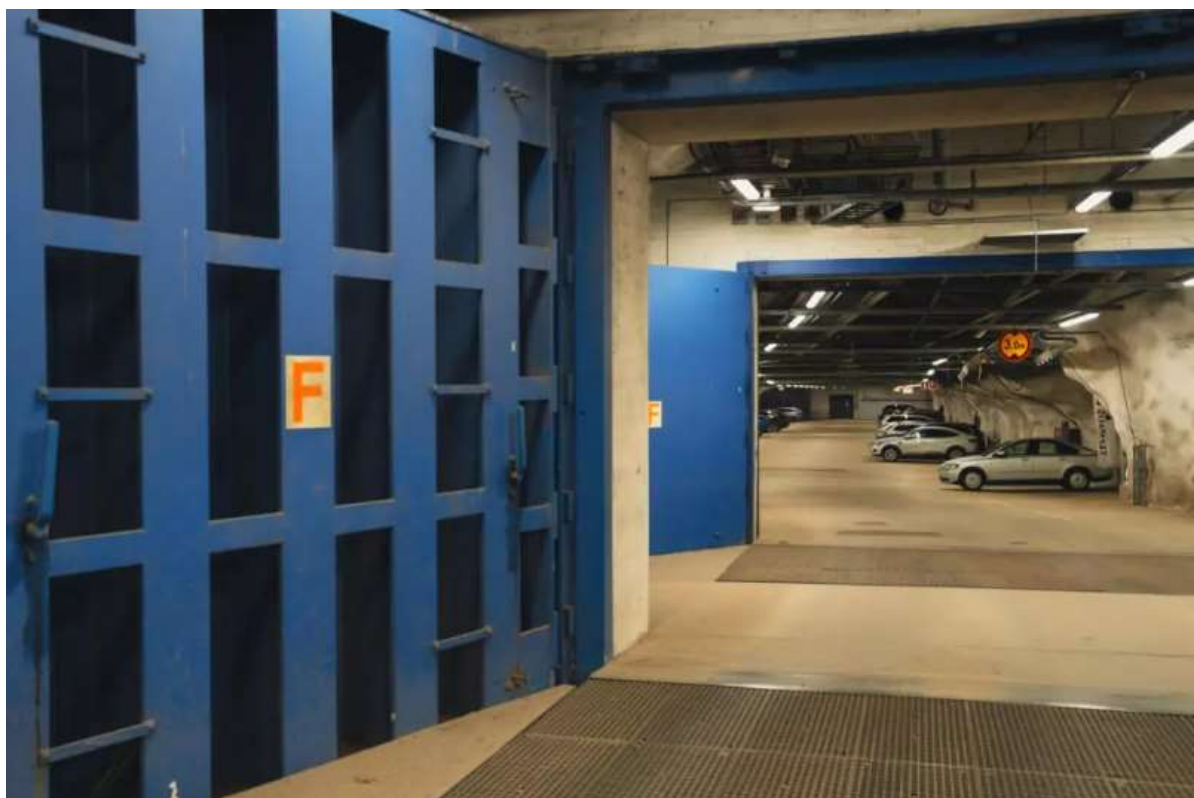


Рисунок 1.2 – Приклад укриття подвійного призначення (підземний паркінг у скельних породах, Фінляндія) [20]

### 1.3. Порівняльний аналіз конструктивних схем

Наразі є потреба у розробці економічно ефективного рішення щодо оптимальної технології зведення каркасів захисних споруд.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

### 1.3.1. Збірний каркас

Технологія заснована на використанні уніфікованих (можливо нестандартних, створених під замовлення) заводських виробів (фундаментні блоки, плити перекриття, стінові панелі).

Переваги: Індустріалізація, контроль якості виробів на заводі, швидкість монтажу «з коліс» у мирний час.

Проблематика: Принципи поведінки збірних конструкцій при динамічних навантаженнях (наприклад при вибуховій хвилі) - виявляють їхню вразливість у вузлах з'єднань. Шарнірні стики не забезпечують достатнього перерозподілу зусиль, що може призвести до прогресуючого обвалення. Крім того, наявність чисельних швів вимагає складних заходів з гідроізоляції та герметизації, що є критичним для протирадіаційних укриттів (захист від радіоактивного пилу та газів).

### 1.3.2. Монолітний залізобетон

Передбачає бетонування конструкцій безпосередньо на будмайданчику.

Переваги: Створення просторово жорсткої системи, що працює як єдиний диск. Відсутність швів гарантує герметичність. Моноліт дозволяє реалізувати будь-які планувальні рішення, що важливо для забезпечення інклюзивності (широкі проходи, пандуси).

Проблематика: Висока трудомісткість, залежність від погодних умов (необхідність прогріву взимку), потреба в опалубці.

Невирішена частина проблеми: Попри очевидні конструктивні переваги моноліту, існує упередження щодо його економічної не вигідності порівняно зі збірним будівництвом.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						12
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### **1.4. Аналіз існуючих проблем ресурсоефективності**

В умовах воєнного стану та дефіциту бюджетних коштів, критерій ресурсоефективності є надзвичайно важливим. Аналіз проектної практики показує, що застосування металевих каркасів для укриттів є проблематичним через вимоги пожежної безпеки (R120) [6]. Вартість вогнезахисту металу може скласти значної частки від загальної вартості конструкцій, що часто не враховується на передпроектній стадії. Також недооціненим є фактор логістики. Транспортування великогабаритних збірних елементів (панелей) вимагає значної кількості рейсів спецтехніки, що в умовах дорогого палива суттєво впливає на кінцевий кошторис.

#### **1.5 Висновки до Розділу 1**

Існуючий фонд захисних споруд потребує оновлення з урахуванням нових норм інклюзивності та автономності.

Світовий досвід підтверджує ефективність використання монолітного залізобетону для об'єктів подвійного призначення.

Питання комплексного техніко-економічного порівняння монолітного та збірних каркасів з урахуванням "прихованих" витрат (логістика, вогнезахист, герметизація) потребує детального дослідження, що частково розкривається в даній роботі.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						13
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Розділ 2. Методика проведення досліджень та вихідні дані для проєктування

### 2.1. Характеристика району будівництва та інженерно-геологічні умови

Для забезпечення реальності результатів дослідження, проєктування протирадіаційного укриття виконується для конкретних фізико-географічних умов. Умовний будівельний майданчик розташовано в с. Розсошенці (Полтавський район), що дозволяє врахувати реальні кліматичні та геологічні параметри центральної частини України.

#### 2.1.1. Кліматичні навантаження і впливи

Визначення розрахункових навантажень виконано відповідно до ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» [4]. Аналіз кліматичних умов майданчика показав наступні характеристики:

**Снігове навантаження:** Згідно з картами районування території України за характеристичними значеннями ваги снігового покриву, Полтавська область відноситься до 5-го снігового району. [4]

Характеристичне значення снігового навантаження для міста Полтава  $S_0$  становить 1450 Па (145 кг/м<sup>2</sup>). [4]

Цей показник є важливим при проєктуванні, оскільки проєктоване укриття є частково заглибленою спорудою з обвалуванням ґрунтом, то конструкція покриття (плита перекриття) буде зазнавати комбінованого навантаження. З одного боку, на неї тисне шар ґрунту товщиною 1,5 метра (в середньому), а з іншого — в зимовий період на поверхні цього ґрунту буде накопичуватися сніг. У періоди інтенсивних опадів вага снігу може бути значною та завдавати додаткового навантаження на плиту. Недооцінка цього

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						14
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фактору може призвести до утворення тріщин у плиті перекриття або навіть до її руйнування, що є неприпустимим для будь-яких споруд. Тому при розрахунку в програмному комплексі ЛПРА-САПР я буду задавати це навантаження з відповідними коефіцієнтами надійності.

**Вітрове навантаження:** Полтавська область згідно з картами районування за тиском вітру відноситься до 3-го вітрового району. [4]

Характеристичне значення вітрового тиску для міста Полтава  $W_0$  становить 470 Па ( $47 \text{ кг/м}^2$ ).<sup>2</sup>). [4]

Вплив вітру на підземні та напівзаглиблені споруди є менш значним, ніж на висотні будівлі. Оскільки основна частина укриття захищена шаром ґрунту, то вона фактично не піддається прямому впливу вітру. Однак, вітрове навантаження необхідно враховувати при проектуванні елементів, що виступають над поверхнею землі. До таких елементів у моєму проекті відносяться:

- Огороджувальні конструкції входних груп (стіни та дахи тамбурів над пандусами);
- Вентиляційні шахти їх оголовки;

Врахування фактору вітрового навантаження є важливим для перевірки стійкості цих елементів.

**Температурний режим:** Температурний режим району будівництва визначає вимоги до теплоізоляції огороджувальних конструкцій. Для Полтави температура повітря найхолоднішої п'ятиденки забезпеченістю 0,92 становить мінус 23°C. [9, табл. 2]

### 2.1.2. Інженерно-геологічні умови

В цьому проекті, для навчальних цілей я прийняв спрощені та типові для Полтавського району геологічні умови.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						15
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Ґрунти основи:** Основою під фундамент слугують суглинки напівтверді, лесовидні, непросадні. Це ґрунти, які мають достатню несучу здатність для сприйняття навантаження від ваги укриття, ґрунтового обвалування та тимчасових навантажень. Розрахунковий опір ґрунту основи  $R_0$  попередньо прийнято рівним 250 кПа. [3]

**Глибина промерзання:** Згідно кліматичних умов майданчика будівництва в м. Полтава необхідно врахувати глибину промерзанням ґрунтів. Нормативна глибина промерзання для суглинистих ґрунтів даного регіону була прийнято рівною 900 мм. Відповідно до вимог ДБН В.2.1-10:2018 «Основи та фундаменти» [3], глибина закладання фундаментів має бути такою, аби не було морозного пучіння ґрунту під подошвою. У моєму проєкті низ фундаментної плити розташований на відмітці -1,100 від поверхні землі. Оскільки фактична глибина закладання перевищує глибину промерзання ( $1,1 \text{ м} > 0,9 \text{ м}$ ), умова морозостійкості основи виконується.

**Гідрогеологія:** Рівень ґрунтових вод (РГВ) на майданчику прийняв на глибині більше 5,0 м від поверхні землі. Оскільки низ фундаментної плити мого укриття знаходиться на відмітці вище рівня води, то це означає, що будівництво буде вестися в сухих умовах. Це є позитивним фактором, який дозволяє: відмовитися від складних систем води з котловану, застосувати стандартну вертикальну та горизонтальну гідроізоляцію.

## 2.2. Методика визначення навантажень на захисну споруду

Специфікою розрахунку ПРУ є врахування комбінації звичайних експлуатаційних навантажень та особливих навантажень від маси ґрунтового обвалування. Для розрахунку каркаса прийнято такі значення постійних навантажень:

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						16
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.2.1. Тиск ґрунту обвалування

Товщина шару засипки над плитою покриття становить 1,5 м. Прийнята середня щільності ґрунту  $\gamma = 1650 \text{ кг/м}^3$ , нормативне навантаження становить: 24,28 кН/ м<sup>2</sup>.

З урахуванням коефіцієнта надійності за навантаженням

$\gamma_{fm} = 1,15$ , розрахункове навантаження становить 27,922 кН/м<sup>2</sup>.

Детальний збір навантажень викладено у п. 2.3. цього документу.

### 2.2.2. Власна вага конструкцій

Розраховується програмним комплексом автоматично на основі об'ємної ваги залізобетону.

Корисне навантаження: Відповідно до призначення приміщень (для перебування людей) прийнято 2,0 кН/м<sup>2</sup>.

## 2.3. Збір навантажень

Розрахунок навантажень є ключовим етапом проектування, оскільки від точності визначення зусиль залежить надійність та довговічність захисної споруди.

Збір навантажень виконано у відповідності до вимог ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» [4]. Для зручності розрахунку та подальшого введення даних у програмний комплекс ЛІРА-САПР та САПФІР-3Д, всі навантаження розділені на постійні (вага конструкцій та ґрунту) та змінні (корисне навантаження, сніг).

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						17
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.3.1. Навантаження на покрівлю (плиту покриття)

Конструкція покриття протирадіаційного укриття є багатошаровою. Оскільки споруда є обвалованою, основним навантаженням є вага ґрунту зворотної засипки.

Склад покрівлі прийнято з урахуванням необхідності гідроізоляції та утеплення, щоб запобігти утворенню конденсату на стелі всередині приміщення. Розглянемо прийняті шари конструкції зверху вниз:

Ґрунт зворотної засипки. Товщина шару над плитою становить 1500 мм. Для розрахунку прийнято ґрунт із щільністю  $\gamma=1650 \text{ кг/м}^3$  [4]

Захисний шар (шиповидна мембрана). Захищає гідроізоляцію та утеплювач від механічних пошкоджень ґрунтом та камінням.

Геотекстиль. Виконує функцію фільтрації та розподілу навантаження.

Теплоізоляційний шар. Використовуються плити жорсткої мінеральної вати високої щільності. Товщина утеплювача прийнята 100 мм для забезпечення енергоефективності.

Стяжка з бетону. Створює нахил для відведення води (разуклонки). Середня товщина прийнята 100 мм.

Гідроізоляційний килим. Основний бар'єр від вологи. Використано сучасну ТПО-мембрану.

Детальний розрахунок навантаження на  $1 \text{ м}^2$  плити покриття наведено в таблиці 2.1.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						18
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

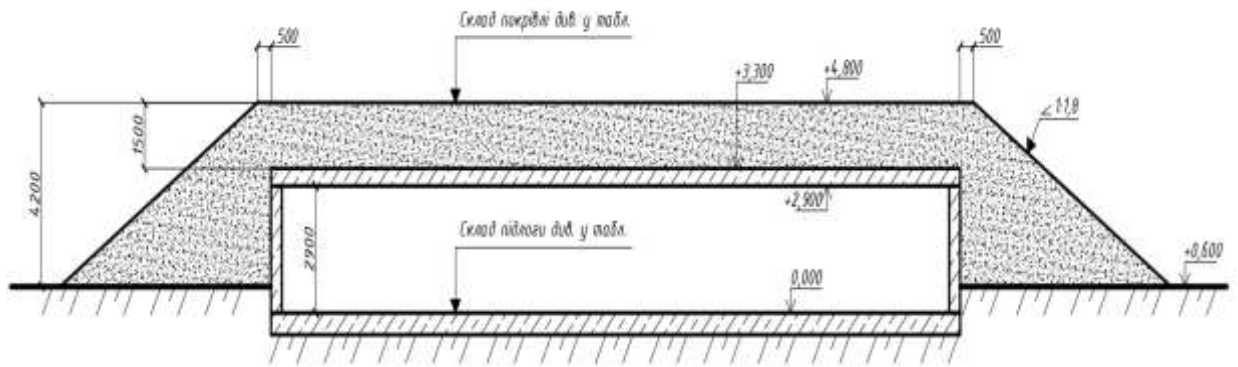


Рисунок 2.1 – Схема до збору навантажень

Таблиця 2.1 — Збір навантаження на покрівлю

№ з/п	Назва конструктивного шару	Характеристичне значення навантаження, кН/м <sup>2</sup>	Експлуатаційне значення, кН/м <sup>2</sup>	Коефіцієнт надійності за граничним навантаженням $\gamma_{fm}$	Граничне значення навантаження, кН/м <sup>2</sup>
1	Ґрунт зворотної засипки, $t=1500$ мм, $\gamma=1650$ кг/м <sup>3</sup> $\varphi=20$	$1,5 \times 1,650 \times 9,8$ $1 = 24,28$	24,28	1,15	27,922
2	Захисний шар — шиповидна мембрана	0,012	0,012	1,2	0,0144
3	Розподільний шар — геотекстиль	0,0071	0,0071	1,2	0,0085

601-БП.12135611.ПЗ

Арк.

19

Змін. Арк. № докум. Підпис Дата

	термооброблений, $\gamma=900$ кг/м <sup>3</sup> , $t=0,8$ мм				
4	Теплоізоляційний шар — мінеральна вата, $\gamma=180$ кг/м <sup>3</sup> , $t=100$ мм	$0,1 \times 0,180 \times 9,8$ $1 = 0,177$	0,177	1,2	0,2124
5	Стяжка з бетону С8/10 по ухилу $t=100$ мм, $\gamma=2400$ кг/м <sup>3</sup>	$0,1 \times 2,400 \times 9,8$ $1 = 2,354$	2,354	1,3	3,06
6	Плівка поліетиленова будівельна $\gamma=920$ кг/м <sup>3</sup> , $t=0,2$ мм	0,0018	0,0018	1,2	0,0022
7	Геотекстиль поліпропіленовий $\gamma = 500$ г/м <sup>2</sup>	0,0049	0,0049	1,2	0,0059
8	Гідроізоляція — ТПО мембрана, $t=1,2$ мм	0,0108	0,0108	1,2	0,013
9	Шар клею та праймер	0,0048	0,0048	1,2	0,0058

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-БП.12135611.ПЗ

Арк.

20

1 0	Власна вага з/б плити покриття (t=400 мм)	Враховується автоматично в ПК ЛІРА/САПФІР			
	Всього	-	26,85	-	31,24

### 2.3.2. Навантаження на фундаментну плиту

Конструкція підлоги в укритті повинна бути міцною, зносостійкою та легкою у прибиранні. Прийнято наступний склад підлоги:

Покриття (фарбування). Спеціальна зносостійка фарба для бетонних підлог, що наноситься у 3 шари. Вона забезпечує відсутність накопичення пилу та герметичність поверхні.

Армована стяжка. Бетон класу С20/25 згідно з ДБН В.2.6-98 [5] товщиною 80 мм, армований сіткою. Це основний несучий шар підлоги, по якому ходять люди.

Підстиляючий шар (полістиролбетон). Шар товщиною 220 мм. Він виконує функцію утеплення підлоги від плити та вирівнювання основи під стяжку.

Розрахунок навантажень від конструкції підлоги наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 — Збір навантаження на фундаментну плиту

№ з/п	Назва конструктивного шару	Характеристичне значення навантаження, кН/м <sup>2</sup>	Експлуатаційне значення, кН/м <sup>2</sup>	Коефіцієнт надійності $\gamma_{fm}$	Граничне розрахункове значення, кН/м <sup>2</sup>

						601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			21

1	Захисне покриття — фарба (3 шари), витрата 1,4 кг/м <sup>2</sup> на шар	0,0536	0,0536	1,2	0,0643
2	Ґрунтування	0,001	0,001	1,2	0,0012
3	Покриття — бетон кл. С20/25, армований сіткою Ø10 А400С 200х200, t=80 мм	$0,08 \times 2,5 \times 9,81 =$ 1,962	1,962	1,1	2,158
4	Підстиляючий шар — полістиролбетон $\gamma=350$ кг/м <sup>3</sup> , t=220 мм	$0,22 \times 0,350 \times 9,8$ 1= 0,755	0,755	1,3	0,982
5	Власна вага з/б фундаментної плити (t=500 мм)	Враховується автоматично в ПК ЛІРА/САПФІР			
	Всього	-	2,77	-	3,21

### 2.3.3 Розрахунок бокового тиску ґрунту на стіни

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Стіни укриття, що заглиблені в ґрунт, зазнають постійного бокового тиску. Величина цього тиску залежить від глибини, ваги ґрунту та його характеристик тертя.

Навантаження від ваги самих залізобетонних стін враховується програмним комплексом автоматично.

Вихідні дані для розрахунку бокового тиску:

Кут внутрішнього тертя ґрунту (суглинок):  $\varphi = 20^\circ$

Питома вага ґрунту:  $\gamma = 16,5 \text{ кН/м}^3$  ( $1650 \text{ кг/м}^3$ )

Коефіцієнт надійності за навантаженням для ґрунту:

$$\gamma_{fm} = 1,15 \text{ кН/м}^3 \text{ [4, табл.5.1]}$$

Фізико-механічні характеристики ґрунту (суглинок) прийнято відповідно до ДБН В.2.1-10:2018 [3]

### Визначення коефіцієнта бокового тиску

Цей коефіцієнт показує співвідношення між вертикальним та горизонтальним тиском. Його можна визначити за формулою:

$$\mu = tg^2(45^\circ - \varphi/2)$$

Якщо підставити значення:

$$\mu = tg^2\left(45^\circ - \frac{20^\circ}{2}\right) = tg^2(35^\circ) = 0,49$$

Розрахунок виконую для двох відміток по висоті для стіни:

Рівень верху стіни (під плитою покриття). Відстань від поверхні обвалування  $h_1 = 1,5 \text{ м}$ .

Рівень низу стіни (вкрх фундаментної плити). Глибина від поверхні обвалування  $h_2 = 1,5$  (ґрунт) +  $0,4$  (плита) +  $2,9$  (висота приміщення) =  $4,8 \text{ м}$ .

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						23
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### Розрахунок тиску на рівні верху стіни ( $h_1 = 1,5$ м):

Вертикальне навантаження від ґрунту ( $P_{1x}$ ):

$$P_{1x} = h_1 \cdot \gamma \cdot 9,81 = 1,5 \cdot 1,650 \cdot 9,81 = 24,28 \text{ кН/м}^2$$

Експлуатаційне ґрунтове бокове навантаження ( $P_{1e}$ ):

$$P_{1e} = P_{1x} \cdot \mu = 24,28 \cdot 0,49 = 11,90 \text{ кН/м}^2$$

Граничне розрахункове бокове навантаження ( $P_1$ ):

$$P_1 = P_{1e} \cdot \gamma_{fm} = 11,90 \cdot 1,15 = 13,69 \text{ кН/м}^2$$

Розрахунок тиску на рівні низу стіни ( $h_2 = 4,8$  м):

Вертикальне навантаження від ґрунту ( $P_{2x}$ ):

$$P_{2x} = h_2 \cdot \gamma \cdot 9,81 = 4,8 \cdot 1,650 \cdot 9,81 = 77,70 \text{ кН/м}^2$$

Експлуатаційне ґрунтове бокове навантаження ( $P_{2e}$ ):

$$P_{2e} = P_{2x} \cdot \mu = 77,70 \cdot 0,49 = 38,07 \text{ кН/м}^2$$

Граничне розрахункове бокове навантаження ( $P_2$ ):

$$P_2 = P_{2e} \cdot \gamma_{fm} = 38,07 \cdot 1,15 = 43,78 \text{ кН/м}^2$$

Отримані значення навантажень ( $P_1 = 13,69$  кН/м<sup>2</sup> та  $P_2 = 43,78$  кН/м<sup>2</sup>) прикладаються до стін у вигляді трапецеподібного навантаження.

Визначення коефіцієнта бокового тиску та розрахунок активного тиску ґрунту на стіни виконано згідно з методикою ДБН В.2.1-10:2018 [3]

### 2.4. Створення розрахункової моделі будівлі

Для виконання статичного розрахунку та підбору арматури було створено просторову скінченно-елементну модель (СЕМ) в програмному комплексі ЛІРА-САПР. Геометрична схема будівлі розроблена на основі

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						24
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сітки колон та несучих стін відповідно до архітектурного завдання в програмному комплексі САПФІР-САПР.

Для початку було відтворено модель будівлі відповідно до архітектурного рішення в програмному комплексі САПФІР-3D

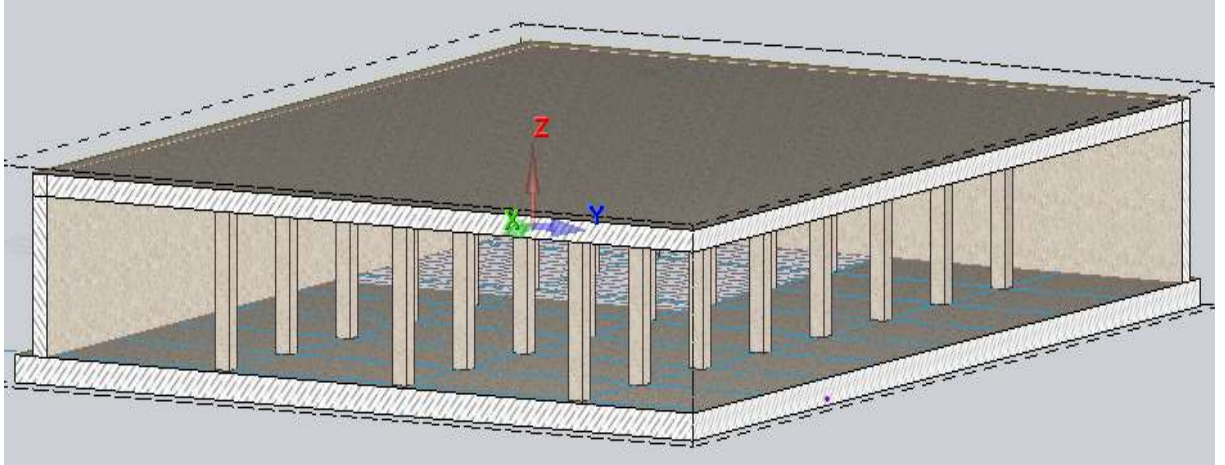


Рисунок 2.2 – Фрагмент 3D-моделі укриття (САПФІР-3D)

Моделювання несучих елементів виконано з використанням універсальних скінченних елементів оболонки для фундаментної плити, стін укриття та плити перекриття. Цей тип елементів дозволяє врахувати роботу конструкції як у власній площині, так і з площини, що є важливим для коректної оцінки напруженого стану коробчастої структури укриття. Для моделювання залізобетонних колон каркаса використано стержневі скінченні елементи.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

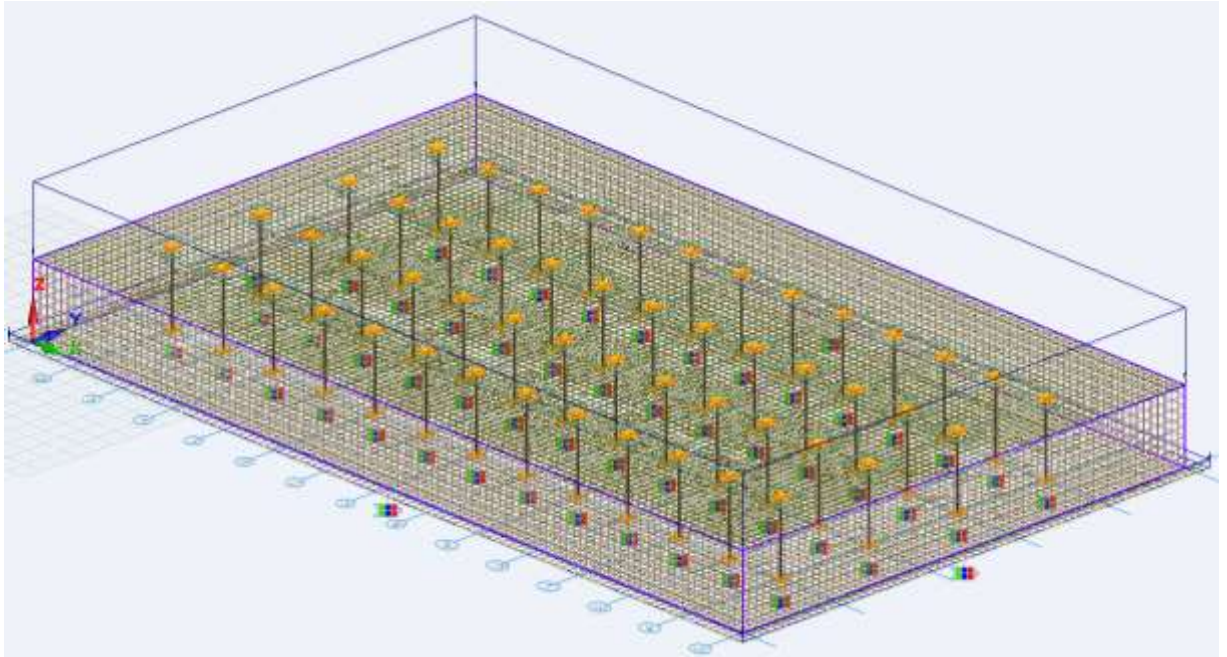


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема в САПФІР-3D

Взаємодія споруди з основою змодельована за схемою жорсткого закріплення. Граничні умови задані шляхом накладання в'язей на вузли фундаментної плити, що обмежують лінійні переміщення по напрямках X, Y, Z. Таке припущення дозволяє виконати розрахунок за міцністю власне конструкцій каркаса, приймаючи основу як ту, що не деформується, яка йде в запас надійності для армування плити покриття.

Крок триангуляції скінченно-елементної сітки прийнято рівним 0.4 м, що забезпечує достатню точність результатів для інженерних розрахунків та коректне узгодження вузлів спряження "плита-колона".

Фізико-механічні характеристики матеріалів задані згідно з ДБН В.2.6-98:2009 [5]: бетон важкий класу С20/25 та арматура класу А400С.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-БП.12135611.ПЗ

Арк.

26

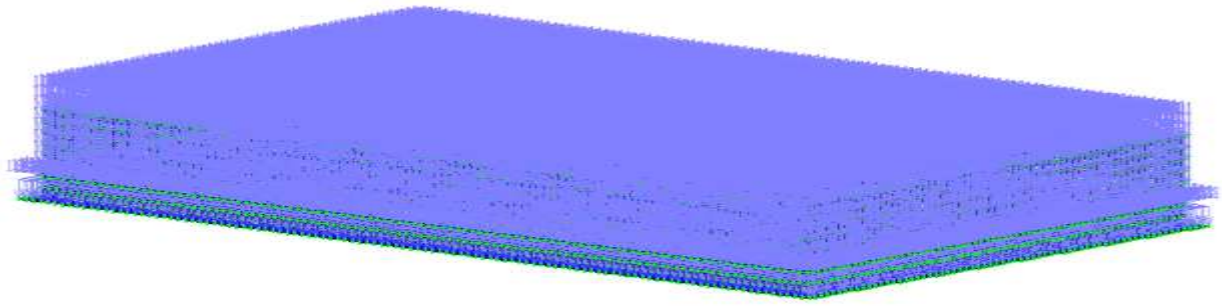


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд розрахункової схеми споруди в ЛІРА-САПР

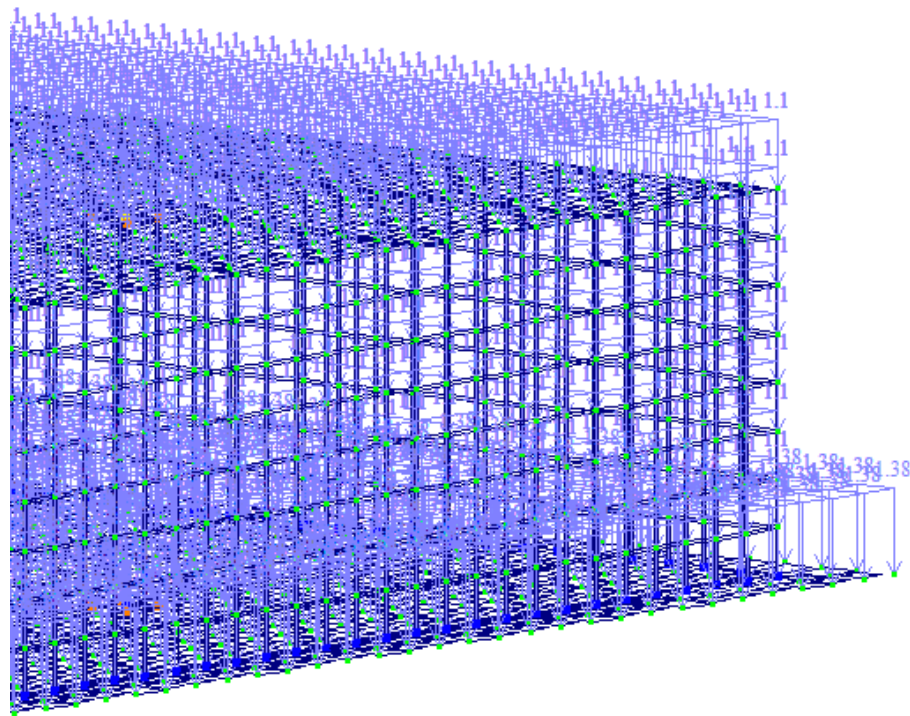


Рисунок 2.4 – Укрупнений вигляд розрахункової схеми споруди в ЛІРА-САПР

## 2.5. Методика чисельного моделювання (ЛІРА-САПР)

Для перевірки прийнятих конструктивних рішень було проведено повний статичний розрахунок каркаса.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						27
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для визначення напружено-деформованого стану (НДС) несучих конструкцій використано метод скінченних елементів (МСЕ), реалізований у програмному комплексі ЛІРА-САПР 2024.

Алгоритм побудови розрахункової моделі:

**Тип схеми:** Прийнято ознаку схеми №5 (просторова система з 6 ступенями вільності у вузлі).

**Скінченні елементи:** Плита покриття, фундаментна плита та стіни моделюються універсальними оболонковими скінченними елементами.

Колони моделюються стрижневими елементами.

**Триангуляція:** Крок сітки скінченних елементів прийнято  $0,4 \times 0,4$  м, що забезпечує достатню точність обчислення зусиль у зонах концентрації напружень (над колонами).

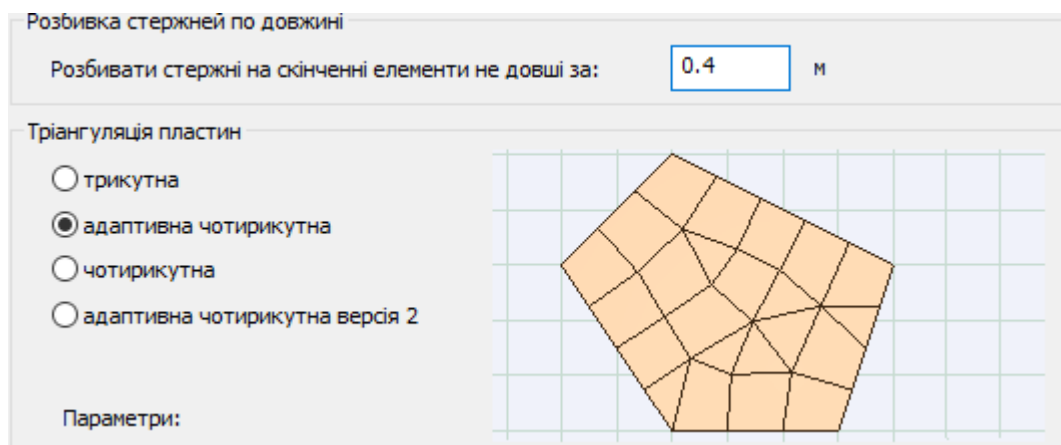


Рисунок 2.5 – Рис. Триангуляції

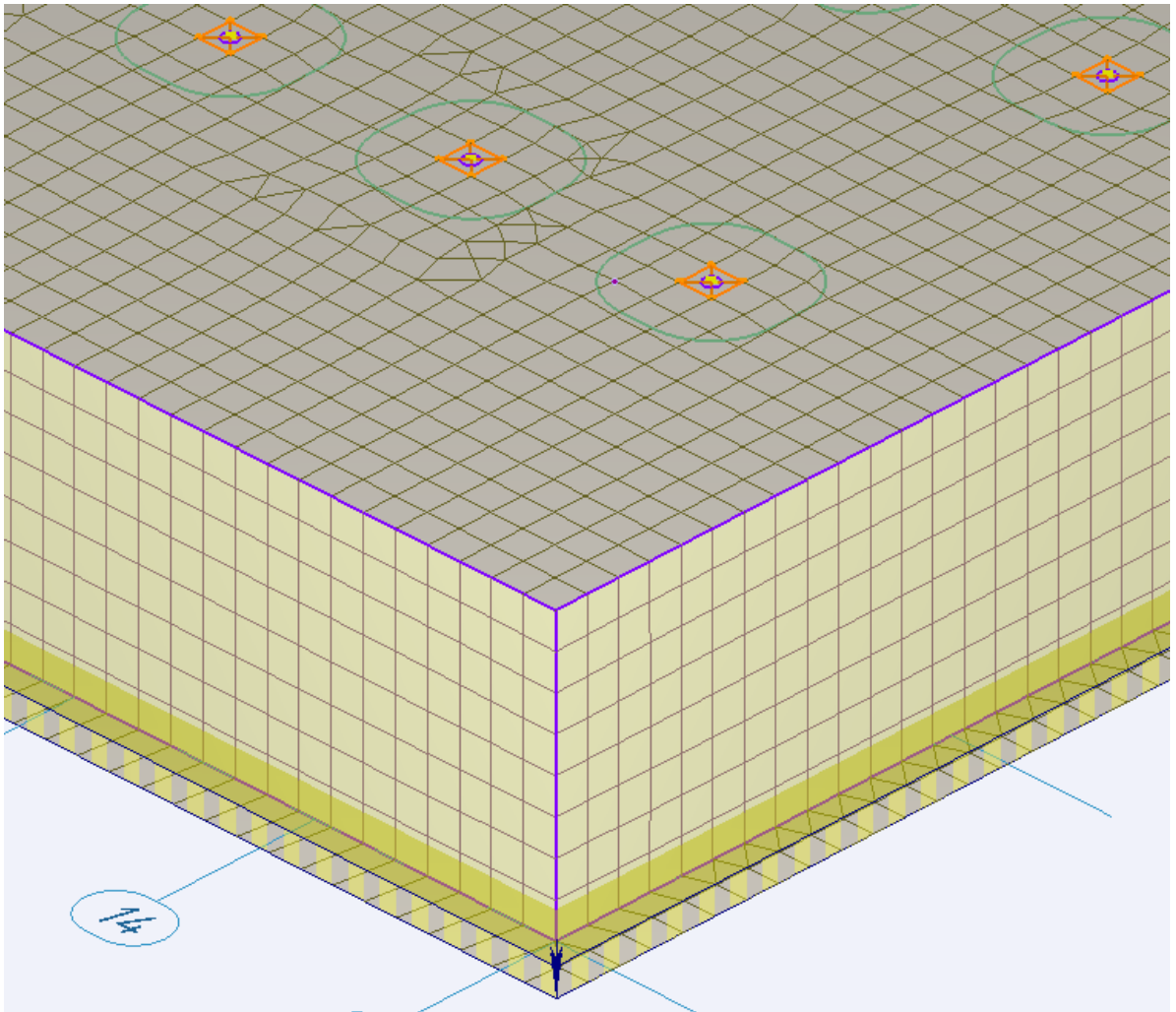


Рисунок 2.6 – Триангуляція на аналітичній моделі (САПФІР-3D)

**Граничні умови:** Спирання споруди на основу змодельовано шляхом накладання в'язей (заборона переміщень) на вузли фундаментної плити. Це дозволяє отримати розподіл зусиль у каркасі з урахуванням абсолютної жорсткості основи.

Розрахунок виконується на основне сполучення навантажень. Результатом розрахунку є поля переміщень, епюри згинальних моментів та мозаїки необхідного армування, які є підставою для конструювання монолітного каркаса.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-БП.12135611.ПЗ

Арк.

29

## 2.6. Методика техніко-економічного порівняння варіантів

Для оцінки ефективності використання ресурсів відповідно до прийнятих рішень, мною було застосовано метод порівняльного аналізу техніко-економічних показників двох альтернативних варіантів конструктивної схеми:

**Варіант 1:** Монолітний каркас.

**Варіант 2:** Збірний каркас.

Основним критерієм ефективності обрано кошторисну вартість будівельно-монтажних робіт, визначену відповідно до поточних цін. Додатковими критеріями є:

- Трудомісткість робіт (люд-год).
- Тривалість роботи машин і механізмів (маш-год).
- Відповідність вимогам надійності (клас вогнестійкості R120) [6].

Порівняння проводиться для конструкцій "нульового циклу" та каркаса, оскільки оздоблювальні роботи та інженерні мережі є ідентичними для обох варіантів.

Обґрунтована у даному розділі методика дозволяє виконати порівняння варіантів та обрати оптимальне конструктивне рішення, що буде реалізовано в наступних розділах.

## 2.7. Висновки до Розділу 2

У другому розділі виконано обґрунтування методики досліджень та підготовку вихідних даних для проектування протирадіаційного укриття.

**Аналіз умов будівництва:** Інженерно-геологічні та кліматичні умови майданчика (м. Полтава) дозволяють реалізувати проєкт частково

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						30
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заглибленої споруди. Ґрунти основи (суглинки) мають достатню несучу здатність ( $R_0 = 250$  кПа) [3], а відсутність ґрунтових вод на глибині закладання спрощує процес гідроізоляції.

**Визначення навантажень:** Проведено детальний збір навантажень на несучі елементи каркаса з урахуванням специфіки заглибленої споруди. Розрахункове навантаження на плиту покриття становить  $27,92$  кН/м<sup>2</sup>, що вимагає застосування потужних залізобетонних конструкцій. Виконано розрахунок бокового тиску ґрунту на стіни, який змінюється від  $13,69$  кН/м<sup>2</sup> до  $43,78$  кН/м<sup>2</sup> по глибині.

**Моделювання:** Обґрунтовано вибір методу скінченних елементів (МСЕ) та програмного комплексу ЛІРА-САПР для чисельного дослідження напружено-деформованого стану каркаса. Розроблено адекватну розрахункову модель, яка враховує спільну роботу конструкцій.

**Методологія порівняння:** Сформовано систему критеріїв для техніко-економічного порівняння варіантів (вартість, трудомісткість, терміни), що дозволить у наступних розділах об'єктивно довести переваги монолітної технології.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						31
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### Розділ 3. Результати досліджень та їх аналіз

В умовах сучасного будівництва, для якого характерно постійне зростанням вартості енергоносіїв та будівельних матеріалів, питання вибору оптимальної конструктивної схеми набуває вагомого значення. Для об'єктів цивільного захисту (сховищ, протирадіаційних укриттів) ця задача ускладнюється, оскільки необхідно забезпечити вимоги надійності конструкції та захисту осіб, відповідно до ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту» [1].

Головною метою даного розділу дипломного проекту є обґрунтування прийнятих конструктивних рішень на основі порівняльного техніко-економічного аналізу.

Тут наведено результати чисельного моделювання напружено-деформованого стану несучих конструкцій укриттів, отримані за допомогою ПК ЛІРА-САПР, а також результати порівняльного техніко-економічного аналізу варіантів каркаса.

#### 3.1. Результати розрахунку напружено-деформованого стану монолітного каркасу

##### 3.1.1. Результати статичного розрахунку

Після застосування всіх розрахункових навантажень, включаючи власну вагу конструкцій, тиск ґрунту зворотної засипки та корисне навантаження, було виконано лінійний статичний розрахунок системи. Аналіз напружено-деформованого стану дозволив зробити наступні висновки:

Аналіз переміщень показав, що максимальні вертикальні переміщення (осадка) фундаментної плити розподілені рівномірно і не перевищують

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						32
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гранично допустимих значень для даного типу ґрунтів. Прогини плити покриття під дією значної ваги ґрунту засипки (1.5 м) знаходяться в межах норми ( $f < L/200$ ) [4]. Найбільші прогини спостерігаються в центрі прольотів між колонами, що відповідає очікуваній роботі безбалкового перекриття.

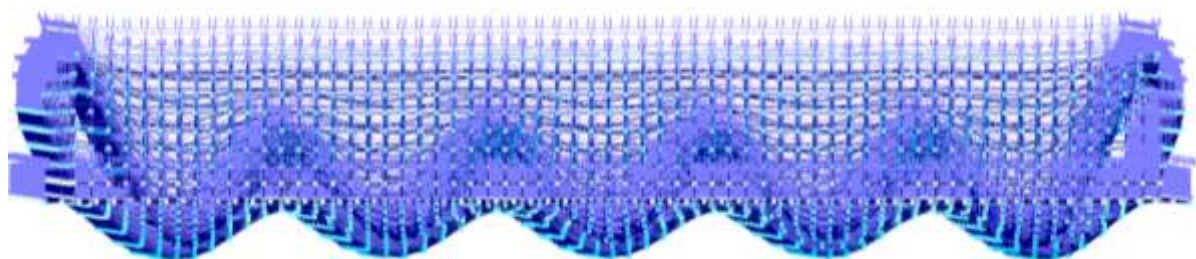


Рисунок 3.1 – Ізополя вертикальних переміщень конструкцій (ЛІРА-САПР)

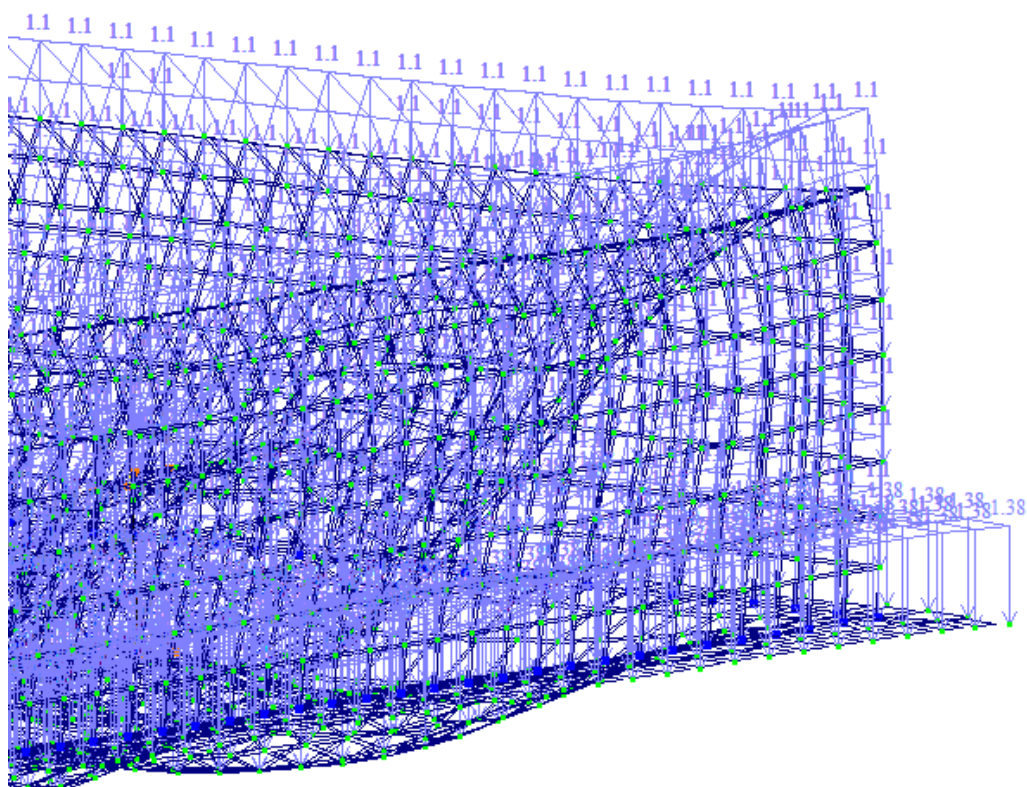


Рисунок 3.2 – Ізополя вертикальних переміщень конструкцій.  
Укрупнене зображення (ЛІРА-САПР)

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Аналіз розподілу зусиль свідчить про концентрацію згинальних моментів у місцях спирання плити покриття на колони, що вимагає встановлення додаткового верхнього армування. У прольотній частині плити виникають додатні моменти, які сприймаються нижньою фоновною арматурою.

### 3.1.2. Аналіз полів необхідного армування

Перед уніфікацією арматури було виконано аналіз мозаїк необхідної площі армування, отриманих у результаті підбору в ПК ЛІРА-САПР. Мозаїка нижнього армування (Рис. 3.3) демонструє, що основна потреба в робочій арматурі зосереджена в прольотних частинах плити (між колонами) та у місцях примикання колон. Максимальні значення необхідної площі досягають розрахункових піків у центрі клітинок сітки колон.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						34
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

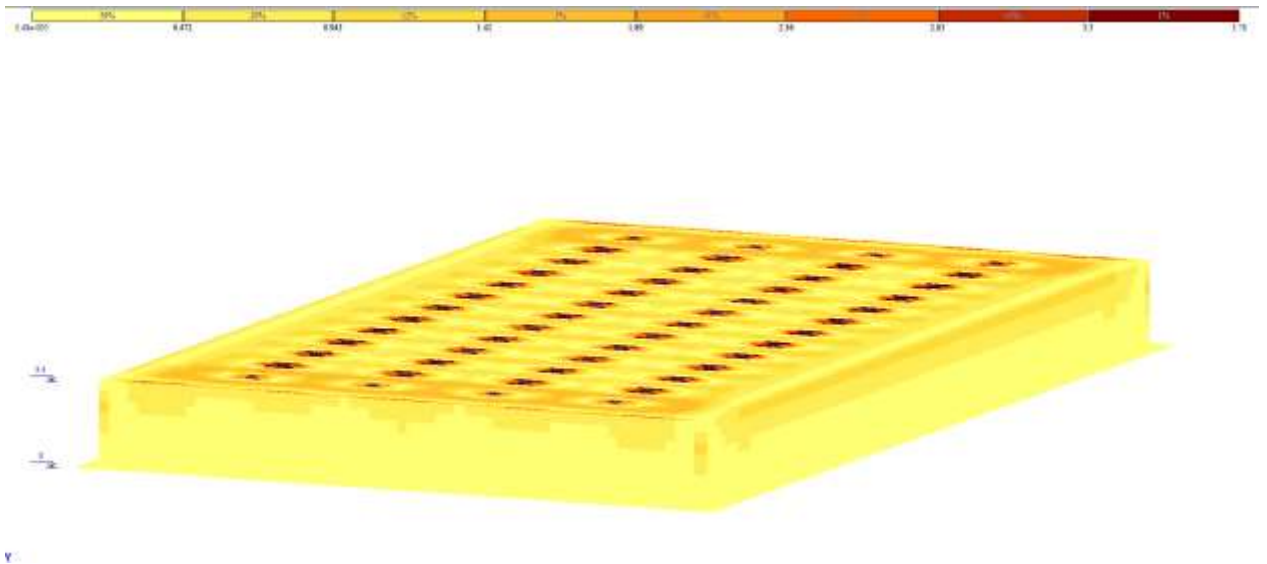


Рисунок 3.3 – Мозаїка необхідного нижнього армування плити покриття (ЛІРА-САПР)

Мозаїка верхнього армування (Рис. 3.4) чітко локалізує зони розтягу верхньої грані бетону. Вони зосереджені виключно над опорами (колоннами). Це підтверджує правильність роботи безбалкового перекриття і обґрунтовує необхідність встановлення додаткових сіток та каркасів саме в цих зонах, залишаючи прольоти вільними від верхньої арматури.

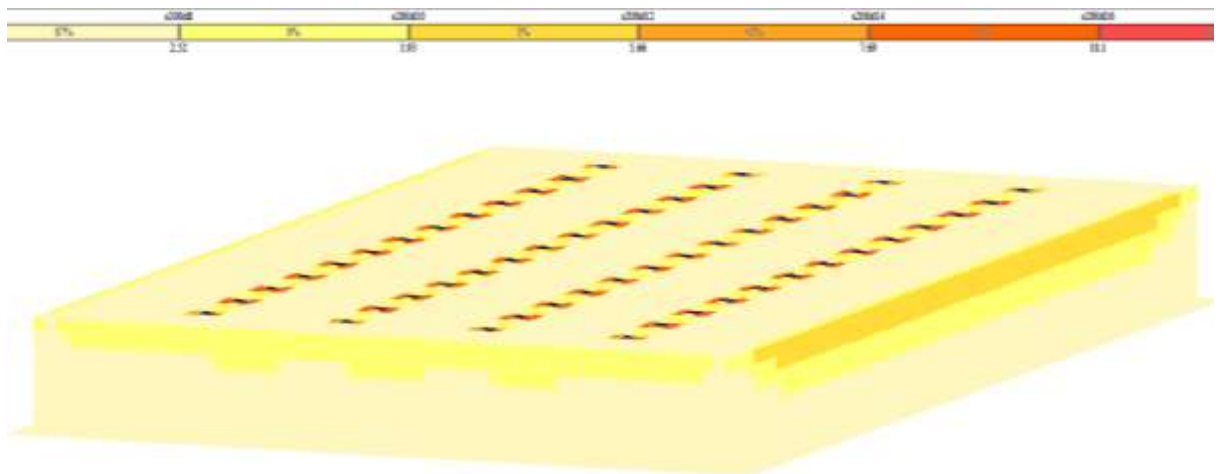


Рисунок 3.4 – Мозаїка необхідного верхнього армування (надопорні зони) (ЛІРА-САПР)

Підбір площі перерізу арматури виконано в модулі "САПФІР-ЗБК" відповідно до вимог ДСТУ 3760:2019 [10]. Конструювання проводилося за

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

принципом уніфікації: призначення основного фонового армування та встановлення додаткових стержнів у зонах концентрації напружень.

### Армування плити покриття (Пм-1)

Для плити покриття товщиною 400 мм за результатами розрахунку прийнято фонове (основне) армування у вигляді сітки з окремих стержнів Ø12 А400С з кроком 200х200 мм як у нижній, так і у верхній зонах. Таке рішення дозволяє уніфікувати арматурні роботи на будівельному майданчику.

У зонах опирання на колони та в місцях примикання до стін, де діючі моменти перевищують несучу здатність фонові сітки, передбачено встановлення додаткового армування стержнями Ø16 мм та Ø20 мм. Загальна витрата сталі на плиту покриття склала 22.15 т, що відповідає питомій витраті 51.4 кг/м<sup>3</sup>.

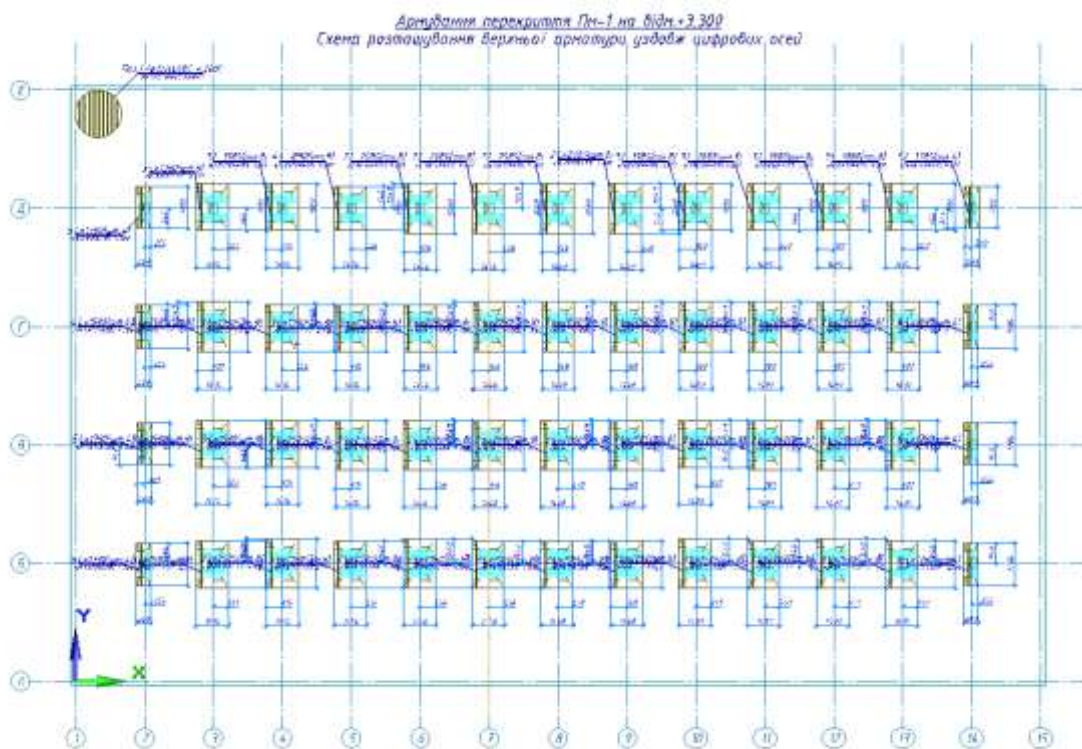


Рисунок 3.5 – Схема розташування верхнього армування плити покриття (Пм-1) (САПФІР-3D)

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-БП.12135611.ПЗ

Арк.

36

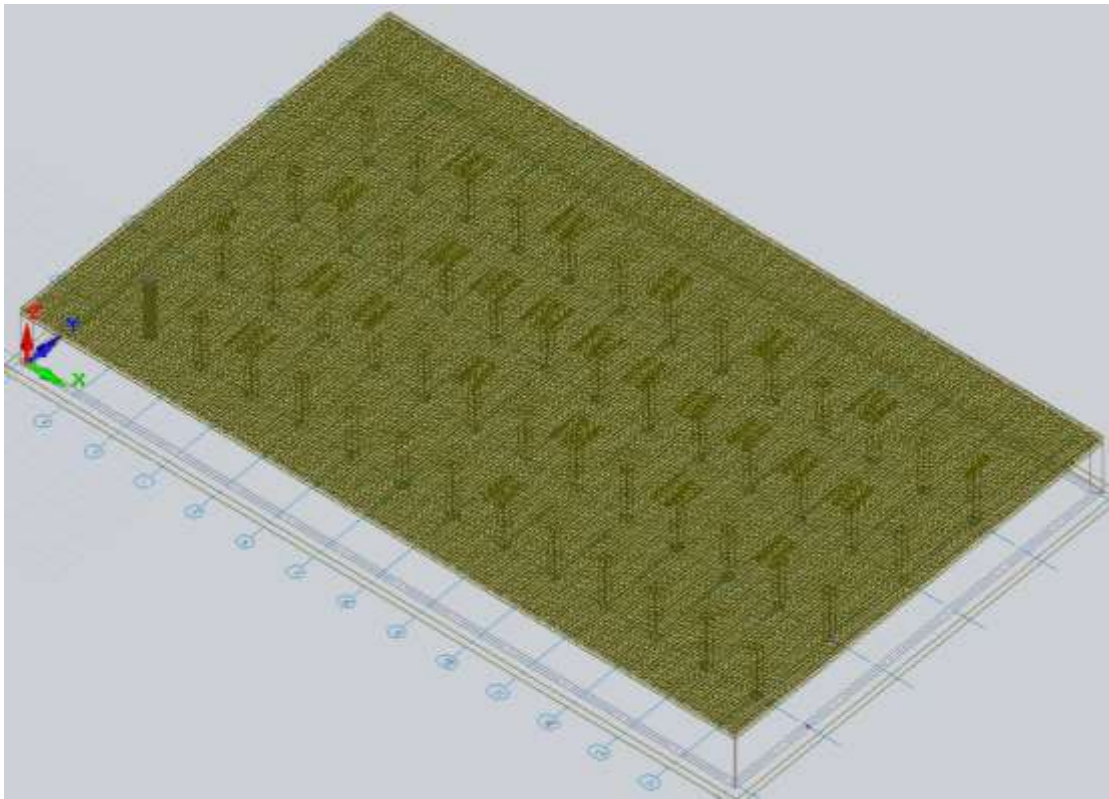


Рисунок 3.6 – Армування плити перекриття (САПФІР-3D)

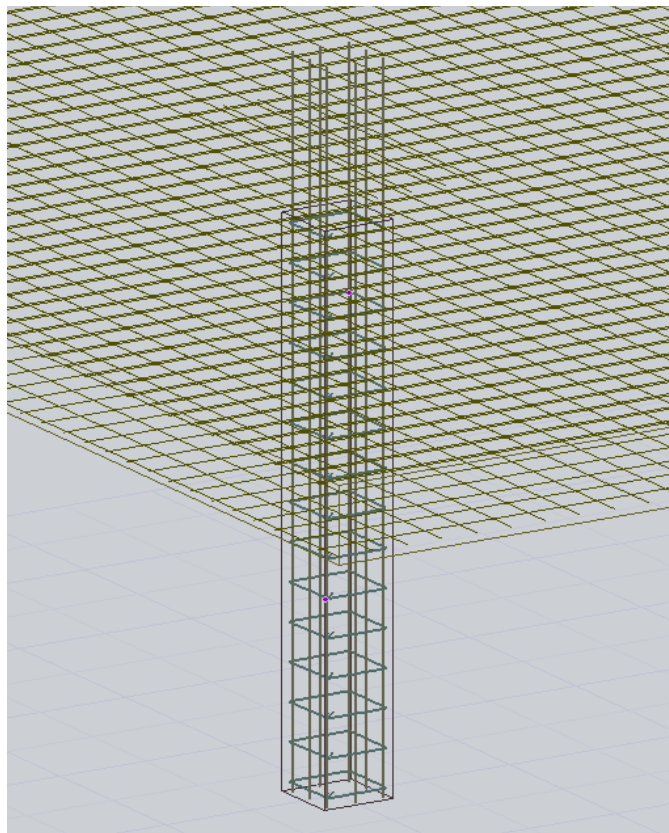


Рисунок 3.7 – Додаткове армування плити у зоні примикання до плити  
(САПФІР-3D)

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

## Армування колон (К-1)

Для колон перерізом 400x400 мм прийнято уніфіковане симетричне армування. В якості робочої повздовжньої арматури використовуються 4 стержні Ø12 А400С. Поперечне армування (хомути) виконується з арматури Ø8 А240С з кроком 150 мм у нижній та верхній зонах колони (зони анкерування) та 300 мм у середній частині. Відсоток армування перерізу становить  $\mu = 0.57\%$ , що є економічно доцільним показником.

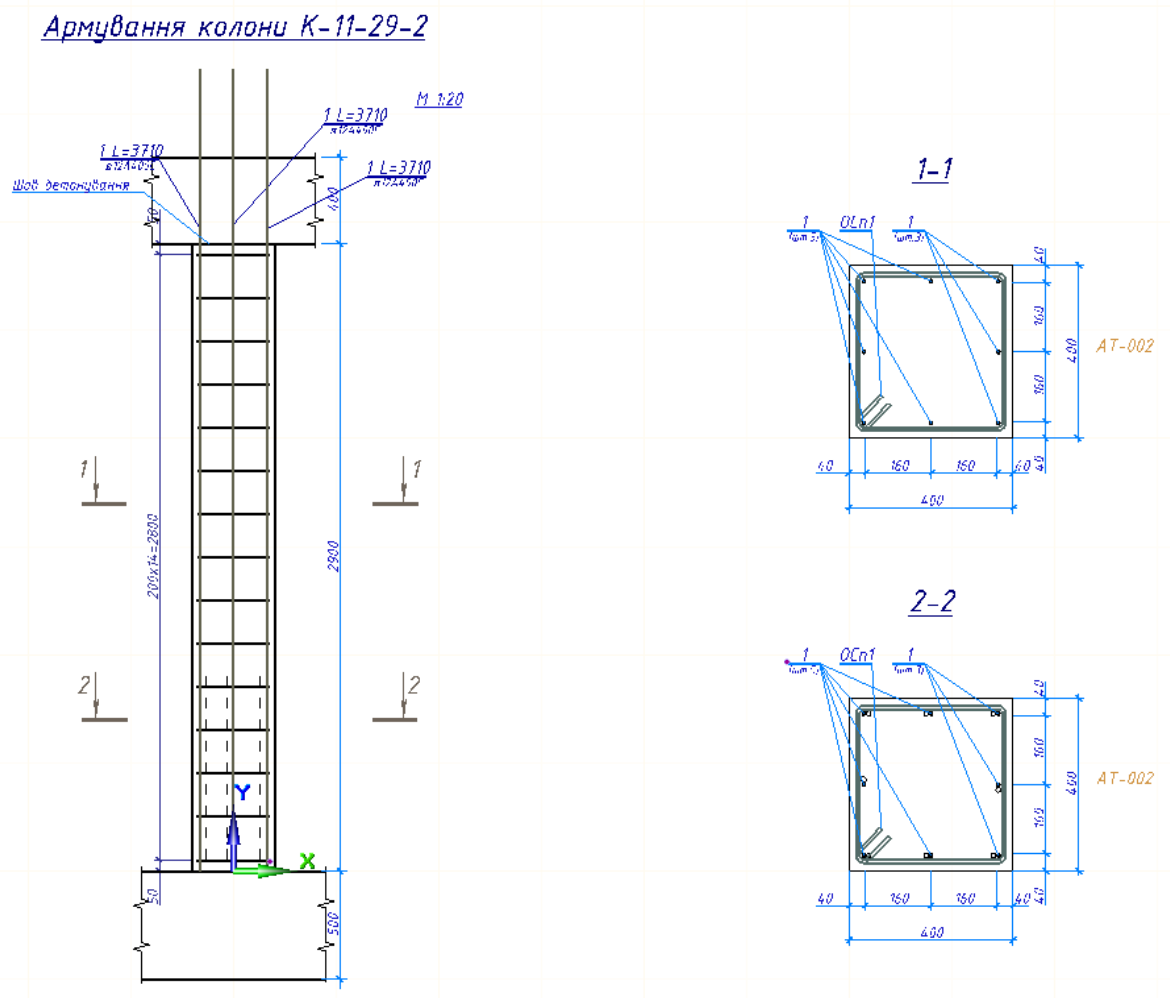


Рисунок 3.8 – Схема армування та переріз типової колони К-1 (САПФІР-3D)

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-БП.12135611.ПЗ

Арк.

38

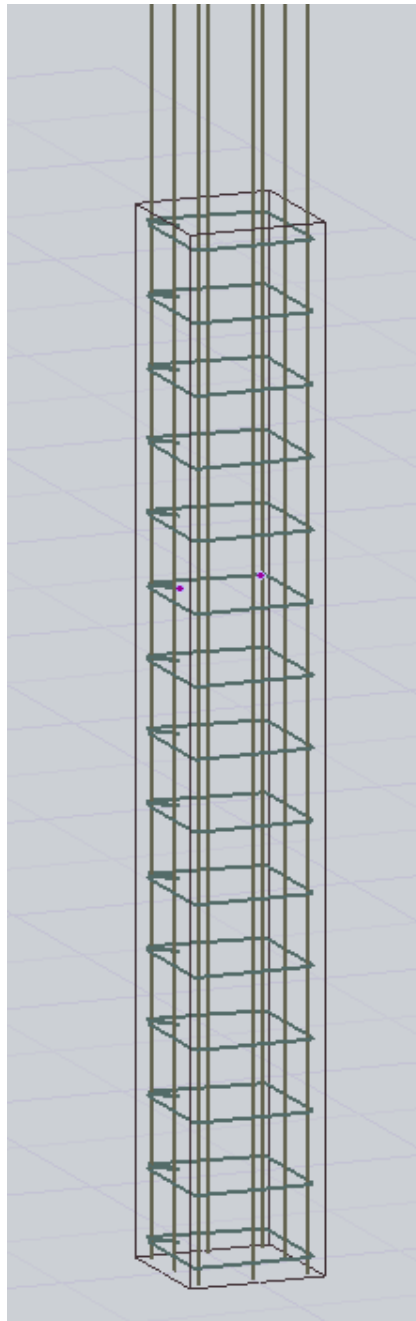


Рисунок 3.9 – Схема армування та переріз типової колони К-1  
(САПФІР-3D)

### Армування стін (СМ-1)

Монолітний контур стін сприймає значний боковий тиск ґрунту, тому їх армування виконано просторовими каркасами. Прийнято вертикальну робочу арматуру  $\varnothing 12$  А400С з кроком 200 мм біля внутрішньої та зовнішньої граней стіни. Горизонтальна розподільча арматура також прийнята діаметром  $\varnothing 12$  мм. Загальна витрата сталі на стіни склала 9.72 т.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-БП.12135611.ПЗ

Арк.

39

Шкала армування

Ø12к.200	Ø16к.200	Ø20к.200	Ø16к.100	Ø25к.200	Ø20к.100	Понад
5.65	10.05	15.71	20.11	24.54	31.42	

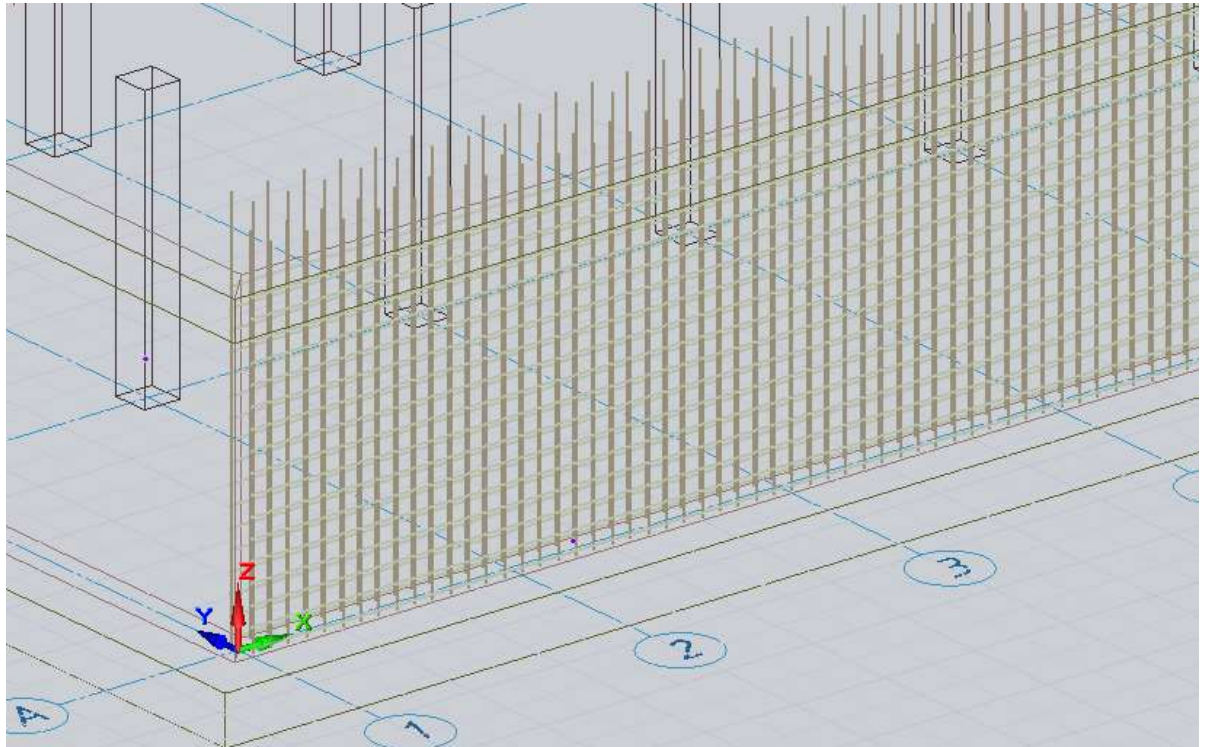


Рисунок 3.10 – Змінити назву (САПФІР-3D)

### Армування фундаментної плити (Пм-2)

Фундаментна плита товщиною 500 мм сприймає значні навантаження від відпору ґрунту. Армування виконано аналогічно до плити покриття: прийнято фонову сітку з арматури Ø12 А400С (крок 200х200 мм) у верхній та нижній зонах. Це забезпечує необхідну жорсткість основи та рівномірний розподіл тиску на ґрунт. Загальна витрата арматурної сталі на фундаментну плиту склала 23.05 т.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-БП.12135611.ПЗ

Арк.

40

Шкала армування

Ø12к.200	Ø16к.200	Ø20к.200	Ø16к.100	Ø25к.200	Ø20к.100	Понад
5.65	10.05	15.71	20.11	24.54	31.42	

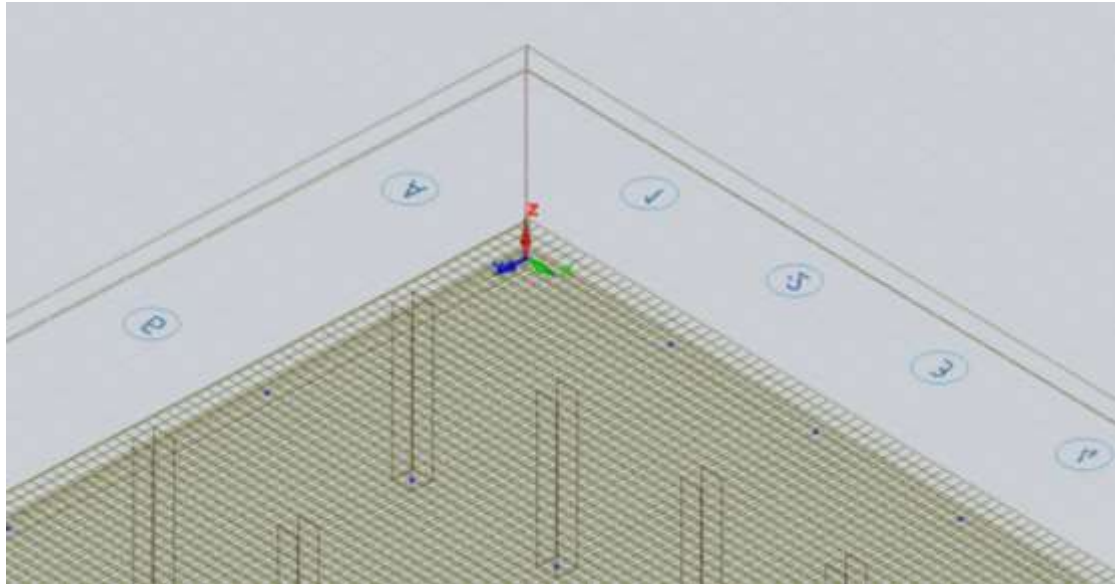


Рисунок 3.11 – Змінити назву (САПФІР-3D)

### 3.1.3. Перевірка на спливання споруди

Оскільки проектоване укриття є заглибленою спорудою, необхідним етапом проектування є перевірка стійкості проти спливання під дією гідростатичного тиску ґрунтових вод (закон Архімеда) згідно з вимогами ДБН В.2.1-10:2018 [3]. Умова стійкості має вигляд:

$$G_{const} \cdot \gamma_n \geq F_{arch} \cdot k_{st}$$

де  $G_{const}$  – сумарна вага конструкцій будівлі та ґрунту над нею;  $F_{arch}$  – виштовхувальна сила води.

Розрахункова вага залізобетонних конструкцій складає приблизно 3000 т. Вага ґрунту зворотної засипки товщиною 1.5 м над площею покриття складає 2790 т. Розрахунок навантажень виконано відповідно до ДБН В.1.2-2:2006 [4]. Таким чином, сумарна утримуюча сила становить 5790 т.

При можливому повному затопленні котловану об'єм витісненої води складатиме близько 4000 м<sup>3</sup>, що створює виштовхувальну силу 4000 т. Оскільки 5720 т > 4000 т, умова стійкості виконується із запасом, що дозволяє відмовитися від влаштування додаткових ґрунтових анкерів.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						41
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2. Техніко-економічне порівняння варіантів конструктивних рішень

В основу порівняння покладено систему з чотирьох груп критеріїв:

*Вартісні показники:* Прямі витрати (матеріали, зарплата), накладні витрати, кошторисний прибуток.

*Показники трудомісткості:* Загальні витрати праці (люд-год) та питома трудомісткість на 1 м<sup>3</sup> будівельного об'єму.

*Показники тривалості:* Терміни виконання робіт з урахуванням технологічних перерв.

*Якісні (експлуатаційні) показники:* Довговічність, ремонтпридатність, енергоефективність, відповідність вимогам цивільного захисту (герметичність, вогнестійкість).

#### 3.2.1. Характеристика та конструктивно-технологічний аналіз варіантів

Для проведення порівняння було розроблено дві альтернативні моделі несучого каркаса укриття, які забезпечують ідентичні об'ємно-планувальні параметри: сітка колон 5×3 м, корисна висота приміщень 2,9 м, здатність витримувати навантаження від ґрунтового обвалування товщиною 1,5 м.

**Варіант №1 (Базовий):** Монолітний залізобетонний каркас

Даний варіант прийнято як основний у проекті. Конструктивна схема являє собою просторову рамно-в'язеву систему, де всі елементи (фундаментна плита, колони, стіни, перекриття) об'єднані в єдиний жорсткий блок.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						42
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічні особливості реалізації:

*Бетонні роботи:* Виконується укладання бетонної суміші класу С20/25 (марка за водонепроникністю W6, за морозостійкістю F150) згідно з вимогами ДБН В.2.6-98:2009 [5]. Використання гідротехнічного бетону дозволяє відмовитися від складної зовнішньої гідроізоляції.

*Армування:* Застосовуються в'язані арматурні каркаси зі сталі класу А400С. Відсутність зварних з'єднань робочої арматури підвищує втомну міцність конструкції при динамічних навантаженнях.

*Опалубні роботи:* Передбачається використання інвентарної щитової опалубки промислового типу (наприклад, Дока Framax), що забезпечує високу якість поверхні та мінімізує витрати на оздоблення.

Переваги варіанту:

*Герметичність:* Відсутність конструктивних швів гарантує захист від проникнення ґрунтових газів та радіоактивного пилу.

*Свобода планування:* Можливість влаштування отворів для комунікацій у будь-якому місці без порушення несучої здатності (на відміну від збірних плит, які не можна різати).

**Варіант №2 (Альтернативний):** Каркас змішаного типу

Як альтернатива розглядається індустріальний метод будівництва, що передбачає металевого прокату та збірного залізобетону. Конструктивне рішення:

*Несуча основа:* Колони виконуються зі сталевого двотавра 40К1 (колонний), ригелі — з двотавра 35Б1. Вибір настільки потужних профілів

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						43
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зумовлений значними вертикальними навантаженнями від ваги ґрунту. Сталь класу С245/С255.

*Перекрыття:* Використовуються ребристі залізобетонні плити розміром 3×1 м (спец. серії). Плити приварюються до полиць ригелів через закладні деталі.

*Стіни:* Зовнішній контур формується з утеплених стінових панелей тришарової конструкції.

Технологічні ризики варіанту:

*Корозія:* Металевий каркас в умовах підвищеної вологості підземної споруди вимагає посиленого антикорозійного захисту (багатошарове фарбування, гумування).

*Вогнезахист:* Згідно з ДБН В.1.1-7:2016 [6], межа вогнестійкості несучих конструкцій укриттів має становити не менше R120 (120 хвилин). Метал без захисту витримує вогонь значно менше часу. Це вимагає нанесення дорогих покриттів.

### 3.2.2. Розрахунок фізичних обсягів робіт та матеріаломісткості

Нижче наведено розшифровку обсягів для альтернативного варіанту (Варіант №2), оскільки обсяги для Варіанту №1 детально обраховані в конструктивному розділі.

*Розрахунок металокаркаса:* Геометрична схема будівлі включає 15 осей у поздовжньому напрямку та 6 осей у поперечному (сітка 15×6).

Колони:

Кількість вузлів перетину осей:  $15 \times 6 = 90$  шт.

Висота колони (від верху фундаменту до низу ригеля):

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						44
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H=h_{\text{прим}} - h_{\text{риг}} = 2,90 - 0,35 = 2,55 \text{ м.}$$

Вага погонного метра двотавра 40К1: 146,6 кг/м [13]

Загальна маса колон:

$$M_{\text{col}} = 90 \cdot 2,55 \cdot 146,6 = 33645 \text{ кг} \approx 33,7 \text{ т.}$$

Ригелі (Балки):

Кількість прольотів: 75 шт.

Довжина ригеля: 5,0 м.

Вага погонного метра двотавра 35Б1: 48,0 кг/м [13].

Загальна маса ригелів:

$$M_{\text{beam}} = 75 \cdot 5,0 \cdot 48,0 = 18000 \text{ кг} = 18,0 \text{ т.}$$

З'єднувальні елементи: Враховано коефіцієнт  $k = 1,1$  на фасонний прокат (бази колон, ребра жорсткості, монтажні столики). Додаткова вага  $\approx 5,2$  т.

*Розрахунок огорожувальних конструкцій:*

Плити перекриття: Площа перекриття  $1050 \text{ м}^2$ . Розмір плити  $3 \text{ м}^2$ .

Кількість: 350 шт.

Стінові панелі: Периметр будівлі 134 м. Ширина панелі 1 м. Кількість: 134 шт.

Герметизація: Загальна довжина стиків між панелями складає: 134 шт  $\times$  3 м402 м.п.

### 3.2.3. Порівняльний кошторис (Калькуляція)

Розрахунок вартості виконано ресурсним методом у поточних цінах станом на I квартал 2026 року. Особливу увагу приділено "прихованим" витратам: логістиці великогабаритних вантажів та спеціальним роботам із

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						45
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

захисту конструкцій, які інколи ігноруються в укрупнених розрахунках, але є критичними для бюджету.

Таблиця 3.1 — Детальна порівняльна калькуляція вартості будівництва каркаса

№	Найменування витрат	Од. вим.	Ціна од., грн	К-сть (Моноліт)	Сума (Моноліт), грн	К-сть (Збірний)	Сума (Збірний), грн
I	ОСНОВНІ МАТЕРІАЛИ						
1	Бетон С20/25 (без доставки)	м <sup>3</sup>	3300	1197,6	3952080	140	462000
2	Арматура А400С (періодична)	т	36500	56,2	2051300	8	292000
3	Сталеві колони (Двотавр 40К1)	т	54 500	-	-	33,7	1 836 650
4	Сталеві балки (Двотавр 35Б1)	т	51 200	-	-	18,0	921 600
5	Фасонний прокат (пластини)	т	58 000	0,5	29000	5,2	301 600
6	Плити перекриття (посилені)	шт	6750	-	-	350	2362500

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

7	Стінові панелі (посилені)	шт	7000	-	-	134	938000
II	РОЗХІДНІ МАТЕРІАЛИ						
8	Електроди / Дріт в'язальний	кг	120	300	36000	1200	144000
9	Метизи (Болти М24, Гайки)	кг	150	-	-	450	67500
1 0	Анкери фундаментні	Шт	500	-	-	360	180000
1 1	Гідроізоляція швів (комплект)	Комп. п.	48000 0	-	-	1	480000
II	ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ						
I							
1 2	Ґрунтовка + Емаль (2 шари)	кг	200	-	-	850	170000
1 3	Вогнезахист (R120)	м <sup>2</sup>	1300	-	-	1250	1625000
I	Логістика						
V							
1 4	Доставка бетону (міксери)	рейс	3500	134	469000	16	56000
1 5	Доставка металу (Фура 20т)	рейс	7000	3	21000	4	28000

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-БП.12135611.ПЗ

Арк.

47

1 6	Доставка ЗБВ	рейс	6000	-	-	162	972000
V	Робота та механізми						
1 7	Доставка ЗБВ (Панелевози)	м- год	1800	50	90000	550	990000
1 8	Автобетонона сос	м- год	4500	60	270000	8	36000
1 9	Оренда опалубки	міс	43333 3	1,5	650000	-	-
2 0	Зарплата	л- год	220	3200	704000	2800	616000
	<b>ВСЬОГО:</b>	грн		8269380		11915800	

Моніторинг вартості матеріально-технічних ресурсів проведено за відкритими даними постачальників будівельної продукції (ПБГ «Ковальська», «Метінвест», «Епіцентр К» та ін.) у мережі Інтернет станом на січень 2025 року.

					<b>601-БП.12135611.ПЗ</b>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

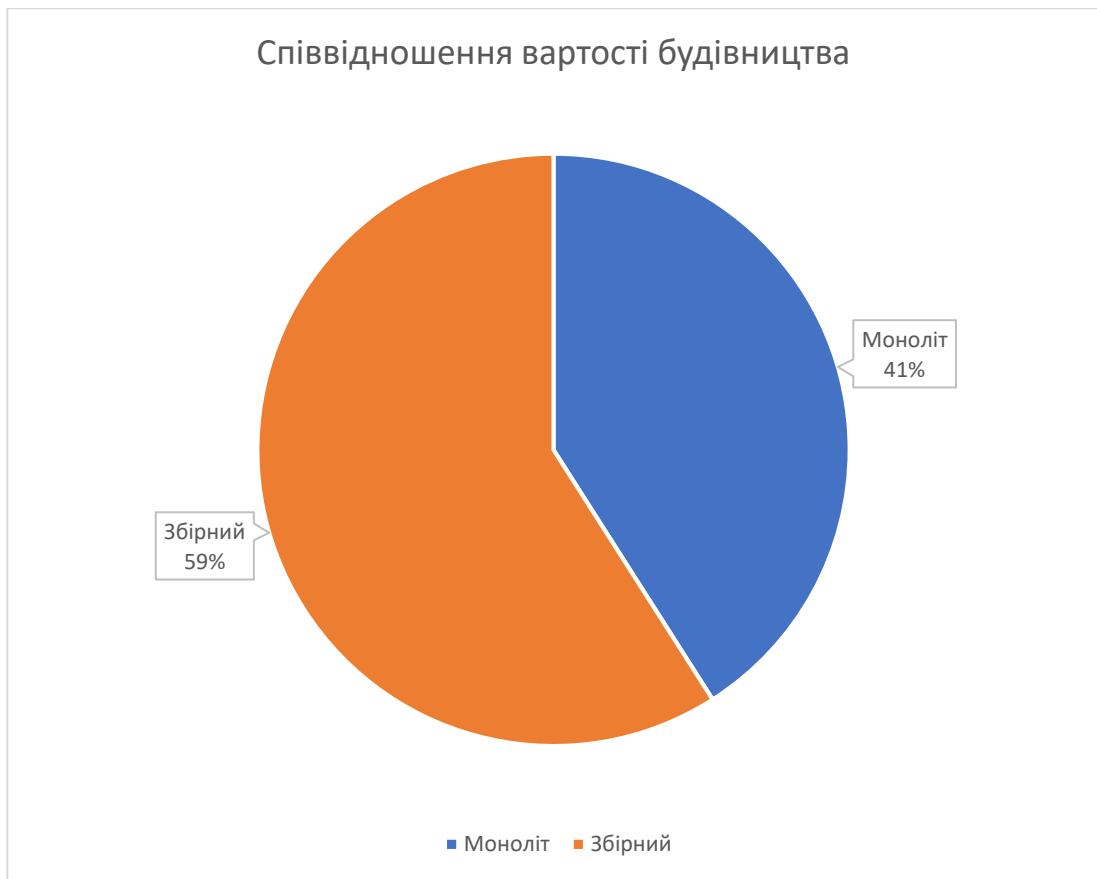


Рисунок 3.12 – Діаграма порівняння вартості будівництва

### 3.2.4. Аналіз структурних складових вартості

Детальний аналіз отриманих результатів (див. Таблицю 4.1) дозволяє виявити причини значної різниці у вартості варіантів.

#### Аналіз ефективності матеріалів

У Варіанті №1 спостерігається збалансована структура витрат, де основну частку (близько 60%) займає бетон. Бетон є матеріалом подвійного призначення: він одночасно сприймає стискаючі зусилля та забезпечує захист від зовнішнього середовища. Арматура складає близько 25% бюджету.

У Варіанті №2 виявлено високу металоємність. Вага сталевого каркаса (57 т) є майже ідентичною до ваги арматури в моноліті (56 т). Однак, вартість тонни прокатного металу (двотаврів) значно вища за вартість арматури. Крім того, у кошторисі з'являється стаття витрат на "Збірні ЗБВ" (3,3 млн грн), яка

фактично дублює вартість бетону в моноліті, але включає додаткову маржу заводів-виробників та витрати на енергоносії.

### **Логістичний аспект**

В результаті дослідження видно неефективність логістики збірного варіанту.

*Коефіцієнт використання вантажопідйомності:* При перевезенні плит перекриття транспортний засіб використовує свою вантажопідйомність лише на 40-50% через обмеження за об'ємом та габаритами.

*Кількість рейсів:* Для доставки компонентів збірного каркаса необхідно виконати сумарно орієнтовно 182 рейси (162 панелевози + 4 металовози + 16 міксерів). Для монолітного варіанту — лише 137 рейсів. Різниця у 45 рейсів важкої техніки — це пряме подорожчання (понад 500 тис. грн), та додаткове навантаження на інфраструктуру та екологію.

### **Фактор спеціальних робіт**

В даному варіанті суттєвим є вплив вимог пожежної безпеки. Витрати на вогнезахист металевого каркаса складають 1 625 000 грн. У монолітному варіанті ця стаття витрат дорівнює нулю, оскільки бетон є негорючим матеріалом з високою тепловою інерцією.

## **3.3. Порівняння технологічності та організації будівництва**

### **3.3.1. Оцінка трудомісткості та термінів будівництва**

Першочергово я вважав, що збірне будівництво є менш трудомістким. Однак, аналіз показує, що для специфічних умов захисної споруди це твердження є спірним.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						50
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна трудомісткість робіт по Варіанту №1 (Моноліт) складає 2850 люд-годин. Цей показник включає в себе не лише зведення каркаса, а й значний обсяг робіт з мурування внутрішніх цегляних перегородок (200 м<sup>3</sup> кладки), що виконується паралельно з гідроізоляційними роботами. Згідно з розробленим графіком, загальний термін зведення коробки будівлі складає 52 дні, що повністю задовольняє директивні терміни та вимоги ДБН А.3.1-5:2016 [7].

Таблиця 3.2 – Калькуляція трудових витрат і витрат машинного часу для зведення монолітного укриття

№ з/п	Найменування	Од. вим.	Кільк.	Трудомісткість (люд-год)	Найменування механізму	К-сть маш-змін	Тр-ть робіт (днів)	Змін в добу	Робітн. в зміну	Склад бригади
1	Зрізання рослинного шару	1000 м <sup>2</sup>	1,2	8,2	Бульдозер ДЗ-42	1	1	1	2	Машиніст бр-1
2	Розробка ґрунту (котлован)	м <sup>3</sup>	1450	48	Екскаватор ЕО-3322	6	3	2	1	Машиніст бр
3	Доробка дна вручну	м <sup>3</sup>	72	115	-	-	2	1	4	Землекоп 2р
4	Влаштування бетонної підготовки	м <sup>3</sup>	105	64	-	-	2	2	4	Бетоняр 3р
5	Влаштування опалубки (плита)	м <sup>2</sup>	68	32	-	-	1	2	2	Тесляр 4р
6	Армування фундаментної плити	т	45	360	Кран КС-5363	5	5	2	6	Арматурник 4р
7	Бетонування фундаментної плити	м <sup>3</sup>	525	192	Автобетононасос	4	2	2	6	Бетоняр 4р
8	Армування стін та колон	т	28	224	Кран КС-5363	4	4	2	6	Арматурник 4р
9	Монтаж опалубки стін	м <sup>2</sup>	650	280	Кран КС-5363	5	5	2	6	Тесляр 4р
10	Бетонування стін та колон	м <sup>3</sup>	210	96	Автобетононасос	2	2	2	5	Бетоняр 4р
11	Влаштування опалубки перекриття	м <sup>2</sup>	1050	480	Кран КС-5363	8	6	2	8	Тесляр 4р
12	Армування перекриття	т	35	280	Кран КС-5363	5	5	2	6	Арматурник 4р
13	Бетонування перекриття	м <sup>3</sup>	420	160	Автобетононасос	4	2	2	5	Бетоняр 4р
14	Мурування внут. Стін та перегородок	м <sup>3</sup>	200	840	Кран КС-5363, Розчинозмшувач	9	18	1	6	4р-3, Підсобни
15	Гідроізоляція (стіни + дах)	м <sup>2</sup>	2400	320	Автогудронатор	4	8	1	4	Ізолювальник
16	Зворотна засипка та обвалування	м <sup>3</sup>	2800	72	Бульдозер ДЗ-42	9	5	2	1	Машиніст бр

Хоча монолітна технологія об'єктивно потребує значних трудовитрат на в'язання арматури та встановлення опалубки, це компенсується складністю робіт у Варіанті №2 (Збірний), а саме:

*Зварювальні роботи:* Збірний варіант вимагає виконання понад 2000 погонних метрів відповідальних зварних швів. Це потребує залучення висококваліфікованих зварювальників (5–6 розряду) [7] та проведення перевірки на аналіз дефектів, що значно дорожче та довше за роботу бетонників.

*Монтажні операції:* Кожен з 650 елементів збірного каркаса вимагає індивідуального циклу (стропування – монтаж - вивірка", що в умовах котловану сповільнює темп робіт.

Таким чином, порівняльний аналіз підтверджує, що монолітний варіант є більш раціональним з точки зору організації робіт.

### 3.3.2. Механізація

Залежність від механізмів у Варіанті №2 є дуже суттєвою. Монтажний кран має знаходитися на об'єкті постійно. Будь-який простій крана (поломка, погодні умови) повністю зупиняє весь будівельний процес. У Варіанті №1 застосовується більш гнучка схема. Використання бетононасосів дозволяє подавати бетонну суміш на значні відстані та висоту, не залежачи від радіусу дії крана. Кран виконує лише допоміжні функції, що знижує ризики простоїв.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						52
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.4. Оцінка експлуатаційної надійності та життєвого циклу

Перевірка ефективності проекту не завершується на етапі здачі об'єкта в експлуатацію. Важливим є аналіз життєвого циклу.

#### 3.4.1. Прогноз для Варіанту №2 (Збірний)

Споруда зі збірних елементів має значно менший ресурс експлуатації без необхідності у ремонтних роботах в умовах агресивного середовища (вологий ґрунт).

*Проблема стиків:* Наявність 400 погонних метрів стиків стінових панелей створює постійний ризик розгерметизації. Вібрації, осадки ґрунту можуть призвести до порушення цілісності герметиків, що може призвести дорогого ремонту (повторна герметизація може знадобитись кожні 15-20 років).

*Корозія:* Незважаючи на захист, металеві елементи будуть піддаватися корозії у місцях мікропошкоджень покриття. Це вимагатиме регулярних перевірок та відновлення фарбування.

#### 3.4.2 Прогноз для Варіанту №1 (Моноліт)

Монолітна залізобетонна конструкція з часом лише набирає міцність. Експлуатаційні витрати на утримання "коробки" будівлі дуже низькі. Відсутність стиків гарантує стабільну радіаційну безпеку та захист від підтоплення.

### 3.5. Висновки до Розділу 3

На основі проведеного комплексного техніко-економічного дослідження, яке охоплювало вартісні, технологічні, логістичні та експлуатаційні аспекти, можна зробити наступні висновки:

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						53
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

*Економічна ефективність:* Розрахункова кошторисна вартість реалізації Варіанту №1 (Моноліт) становить 8 269 380 грн. Вартість реалізації Варіанту №2 (Метал + Збірний) становить 11 915 800грн. Абсолютна економія капітальних вкладень при виборі монолітної технології складає:

$$\Delta E = 11915800 - 8269380 = 3\ 646\ 420 \text{ грн.}$$

Відносний показник економії становить 30,6 %.

*Технологічна доцільність:* Монолітна технологія дозволяє уникнути залежності від складної будівельної техніки (важких кранів) та складної логістики негабаритних вантажів.

*Експлуатаційна перевага:* Обраний варіант забезпечує створення герметичного, вогнестійкого та довговічного об'єкта, що повністю відповідає нормативним вимогам до укриттів та мінімізує витрати на майбутнє обслуговування.

Таким чином, у дипломному проекті остаточно затверджено використання монолітного залізобетонного каркаса як основного рішення для будівництва заглибленого протирадіаційного укриття.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						54
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Розділ 4. Практична реалізація проєктних рішень

### 4.1. Генеральний план та благоустрій території

#### 4.1.1. Розміщення споруди

Проєктоване протирадіаційне укриття є окремо розташованою спорудою підземного, напівзаглибленого типу. При виборі місця розташування на генплані було дотримано ключову умови безпеки — розміщення споруди поза межами зони можливих завалів згідно ДБН В.1.2-4:2019 [22]. Детальніше у розрахунку:

#### 4.1.2. Визначення зони можливих завалів

Теоретично, укриття розташоване біля житлового комплексу по вул. Сергія Параджанова, будинки 3 та 7, вздовж вулиці Віктора Андрієвського в сторону с. Щербані. Зона можливих завалів розраховується від висоти навколишніх будівель та перепаду висот місцевості. Ухил даної місцевості складає всього 1%, оскільки різниця висот на відстані 300 м від довгої сторони будівлі склала всього 3 м, то ухил склав:

$$\frac{h}{l} \cdot 100\% = \frac{3}{300} \cdot 100\% = 1\%$$

де  $h$  – різниця висот між двома точкам;  $l$  – довжина між двома точками.

Отже, згідно [22, дод. А] при поверховості будівлі в 9 поверхів зона можливих завалів при ухилі до 10% складає  $0,75 \cdot H = 0,75 \cdot 30 = 22,5$  м від довшої сторони будівлі.

де  $H$  – висота будівлі (висота поверху сусідніх будинків умовно прийнята рівною 3 м).

Розміщення укриття на безпечній відстані гарантує, що у випадку руйнування сусідніх житлових або громадських будинків внаслідок вибуху,

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						55
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

їх уламки не заблокують входи та виходи з укриття, а також не перекриють вентиляційні отвори.

#### 4.1.3. Вертикальне планування та обвалування

Однією з ключових особливостей проекту є використання ґрунтового обвалування, що дозволяє заощадити час та ресурси у порівнянні із повноцінно заглибленим укриттям, при цьому зберігаючи захисні властивості на високому рівні.

Вертикальне планування вирішено таким чином: Відмітка чистої підлоги укриття (0,000) знаходиться нижче рівня існуючої землі на 0,6 м, це дозволяє реалізувати вхідну групу до укриття у вигляді пандусів, без використання сходів чи вертикальних підйомників.

Такий підхід забезпечує можливість проектування інклюзивної споруди, де люди на кріслах колісних та батьки з візками матимуть змогу без зайвих перешкод дістатись укриття, а в разі аварійної ситуації за відсутності електропостачання евакуюватись з ПРУ без необхідності використання вертикальних підйомників.

Споруда виступає над рівнем землі, але повністю перекривається штучним насипом ґрунту. Товщина шару ґрунту над плитою покриття прийнята 1,5 м. Таке рішення є ресурсоекономним та ефективним.

Шар ґрунту виконує функцію потужного екрану від іонізуючого випромінювання (радіації), а також значно знижує дію надмірного тиску у фронті повітряної ударної хвилі.

Крім того, ґрунт має велику теплову інерцію, що забезпечує стабільний температурний режим всередині укриття як взимку, так і влітку.

Конструкція обвалування має укоси з ухилом 1:1,8. Такий показник обрано для забезпечення механічної стійкості укосів і запобігання зсувам ґрунту.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						56
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для захисту від водної (розмивання дощами) та вітрової ерозії передбачено комплекс заходів з озеленення: поверхня обвалування необхідно вкрити шаром рослинного ґрунту товщиною 15-20 см і засіяти трав'яним покриттям, оскільки воно утворить щільну поверхню.

#### **4.1.4. Організація під'їздів та підходів**

На генеральному плані я передбачив зручні пішохідні шляхи до укриття з житлової забудови.

Один з виходів безпосередньо з'єднано з житловим комплексом, інший веде до пішохідної доріжки, розташованої поруч. Дане з'єднання покликане розосередити потоки людей та, одночасно, забезпечити доступ до нього з різних сторін.

Ширина пішохідних доріжок, що ведуть до входів, становить не менше 1,8 м. Це дозволяє забезпечити двосторонній рух людей, а також вільний проїзд для людей на кріслах колісних та батьків з дитячими візками.

Покриття доріжок та майданчиків перед входами передбачено виконати з неслизьких матеріалів з шорсткою поверхнею.

Для забезпечення водовідведення передбачено поперечні та поздовжні ухили доріжок, що спрямовують дощову воду в дренажну систему, яка приєднана до зливної каналізації або на газони, що дозволяє запобігати утворенню калюж перед входами в укриття та на шляху до нього.

#### **4.1.5. Благоустрій**

Окрім озеленення самого обвалування, також необхідно встановити елементи зовнішнього освітлення та лавки для сидіння зі смітниками.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						57
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Світильники будуть розташовані вздовж доріжок та безпосередньо біля входів в укриття. Живлення зовнішнього освітлення буде підключено до загальної електромережі, але також передбачено його автоматичне (для основного освітлення) перемикавання на аварійне джерело живлення (генератор дизельний) у випадку відключень світла.

Лавки будуть розташовані біля доріжок з обох боків, оскільки в безпечний час територія також завжди відкрита, то необхідно передбачити сценарій, за якого люди будуть прогулюватись даною територією.

Смітники, що будуть розташовані біля лавок забезпечать чистоту навколишньої території.

#### **4.2. Об'ємно-планувальні та архітектурні рішення**

Об'ємно-планувальне рішення даної споруди протирадіаційного укриття (ПРУ) розроблено на основі розрахункової кількості осіб, що необхідно прийняти в разі загроз (600 осіб), та вимог нормативних документів, а саме ДБН В.2.2-5:2023 [1] та ДБН В.2.2-40:2018 [2]. Загальна площа споруди по внутрішньому контуру зовнішніх стін та з врахуванням внутрішніх стін та перегородок (фактична площа всіх доступних приміщень) становить 962,38 м<sup>2</sup>.

Споруда має прямокутну конфігурацію в плані з розмірами в осях 42,0×25,0 м. Конструктивна сітка колон 3,0×5,0 м дозволила створити зручне та гнучке планування та поділити укриття на логічні зони за функціональним призначенням.

Внутрішній простір укриття чітко розділений за зонами та з'єднаний системою коридорів (приміщення №24, №25, №26) загальною площею понад 165 м<sup>2</sup> та шириною 2000 мм, що забезпечує вільну евакуацію та пересування людей всередині.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						58
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



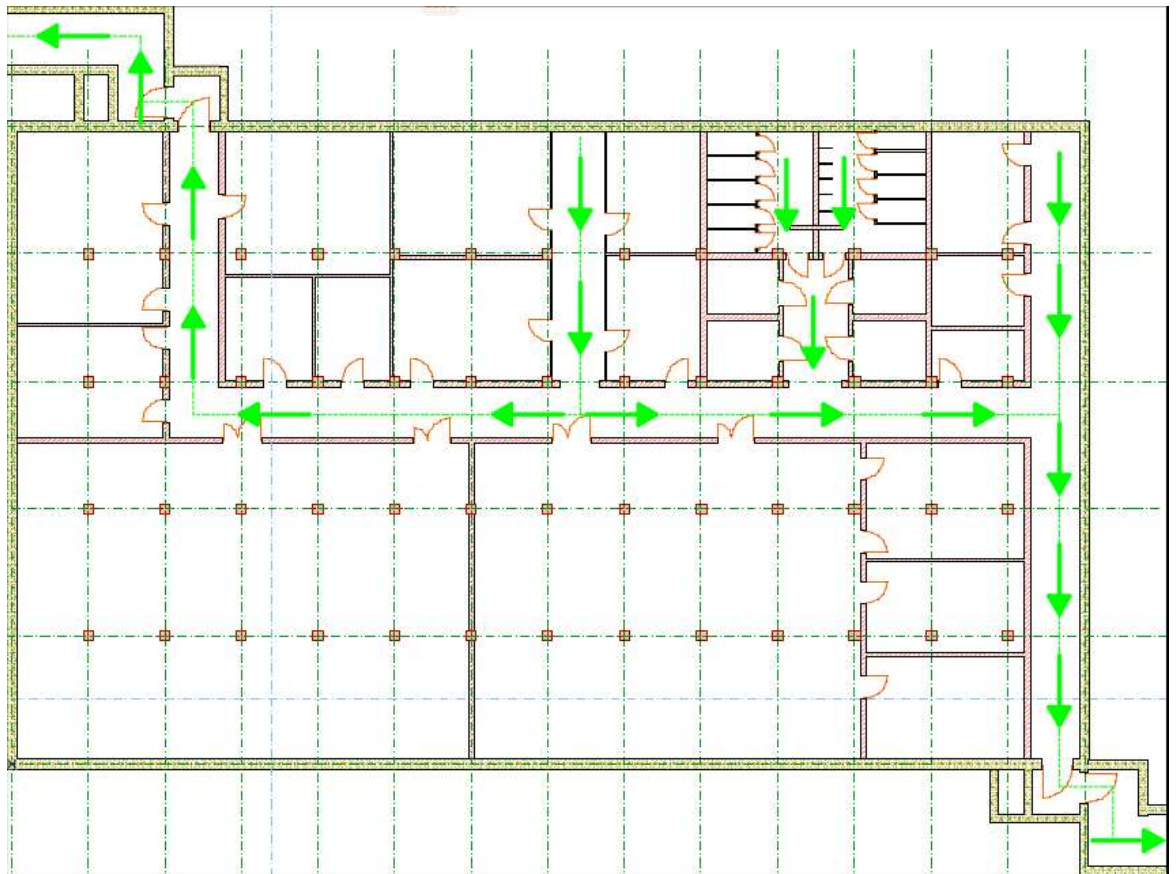


Рисунок 4.2 – Шляхи евакуації з укриття

Захист шляхів входу від радіаційного випромінювання та осколкових уражень забезпечується облаштуванням зовнішніх стін та перекриття із залізобетону та встановленням дверей з відповідним призначенням, а саме захисних (зовнішніх) дверей та захисно-герметичних (внутрішніх) дверей.

Також на шляхах входів до ПРУ запроєктовано два повороти під кутом  $90^\circ$  покликані захистити населення, що укривається від уламкових поранень та впливу радіоактивного випромінювання [1].

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-БП.12135611.ПЗ

Арк.

60

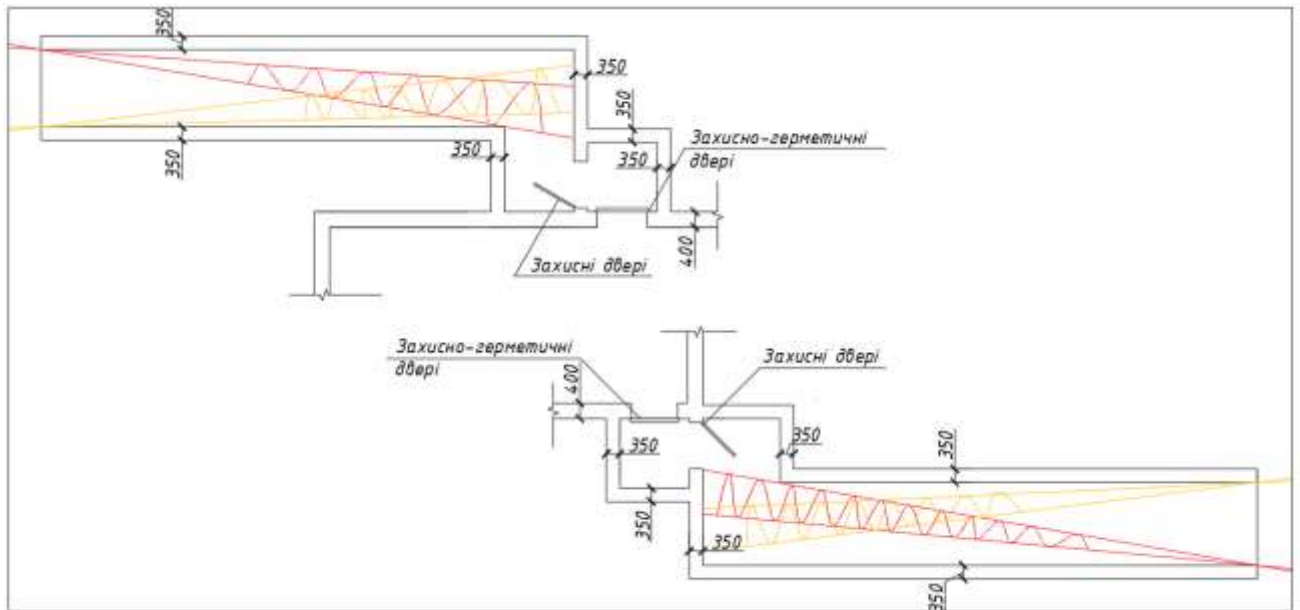


Рисунок 4.3 – Конструктивне виконання входу в укриття для послаблення випромінювання та осколкового ураження

#### 4.2.1. Детальний склад приміщень згідно з експлікацією

##### 1. Основна зона розміщення людей (основні приміщення).

Для перебування людей передбачено дві основні зали, які займають найбільшу площу (основні приміщення). Поділ основного приміщення на два менші має на меті розосередити людей для зменшення загального рівня шуму, підвищення комфорту та організованої евакуації, за потреби.

Приміщення №13: Основне приміщення для укриття №1 площею 184,51 м<sup>2</sup>.

Приміщення №14: Основне приміщення для укриття №2 площею 216,62 м<sup>2</sup>. Сумарна площа основних приміщень становить 401,13 м<sup>2</sup>.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-БП.12135611.ПЗ

Арк.

61

Дана площа враховує норму 0,6 м<sup>2</sup> (360 м<sup>2</sup> на 600 осіб) площі на людину та додатково 10% від площі для осіб з особливими потребами (36 м<sup>2</sup>) [1], що повністю задовольняє потребу на 600 осіб.

Приміщення мають правильну геометричну форму, що дозволяє комфортно почуватись всередині та розмістити потрібні меблі.

## *2. Вхідна група та зона дезактивації.*

При вході в укриття розташоване приміщення №01 для зберігання брудного верхнього одягу площею 42,90 м<sup>2</sup>. Це приміщення виконує функцію "брудної зони", де люди залишають вуличний одяг, який міг бути потенційно забруднений радіоактивними осадами, перед входом у «чисту» зону.

## *3. Санітарно-гігієнічний блок.*

В проекті передбачено зручну систему санвузлів, що розділена на загальні та для осіб з особливими потребами:

Приміщення №05: Жіночий санвузол площею 19,62 м<sup>2</sup> містить 5 окремих кабінок з унітазами та зону з умивальниками для дотримання гігієни.

Приміщення №06: Чоловічий санвузол площею 19,55 м<sup>2</sup> містить 4 окремі кабінки з унітазами, зону з шістьма пісуарами та зону з умивальниками.

Приміщення №20, 21, 22, 23: Чотири окремі універсальні санвузли для маломобільних груп населення (МГН) площами 6,29 м<sup>2</sup>, 6,23 м<sup>2</sup>, 6,69 м<sup>2</sup> та 6,69 м<sup>2</sup> відповідно .

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						62
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Така кількість санітарних приміщень повністю задовільняє санітарні вимоги для захисних споруд [1].

Розташування зон для осіб з інвалідністю розташовані на відстанях менше 50 м до універсальних санвузлів, згідно норм. Відповідні приміщення позначені інформаційними контрастними вказівниками та включають шрифт Брайля [2].

#### *4. Блок харчування та зберігання продуктів.*

Для забезпечення комфортного прийому їжі розміщено наступні приміщення:

Приміщення №04 та №19: Два приміщення для зберігання продуктів харчування та води відповідно з площами 17,13 м<sup>2</sup> та 17,59 м<sup>2</sup>.

Розділення складів дозволяє зберігати різні типи продуктів окремо, що є дуже зручним.

Приміщення №18: Приміщення для підігріву та прийому їжі площею 29,12 м<sup>2</sup> забезпечене потрібною технікою та облаштовано меблями для можливості зручного прийому їжі.

В приміщенні також розташовано столи на висоті, зручній для маломобільних груп населення. Розташування цього приміщення поруч зі складами забезпечує зручність та правильну логістику всередині укриття.

#### *5. Медичний та адміністративний блок.*

Для керування життєдіяльністю укриття та надання допомоги також розміщено окремо:

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						63
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приміщення №16: Пункт керування та пожежний пост площею 13,84 м<sup>2</sup> розміщений таким чином, аби можна було забезпечити контроль за входами та коридорами.

Приміщення №17: Санітарний пост площею 11,56 м<sup>2</sup> для надання медичної допомоги постраждалим.

*6. Приміщення для особливих категорій населення.*

Проект враховує потреби вразливих груп населення:

Приміщення №10: Кімната для дітей віком до 11 років площею 27,58 м<sup>2</sup>. Дозволяє знаходитись дітям у комфортнішій атмосфері та облаштовано відповідними інструментами для забезпечення активності дітей та їх емоційного розвантаження.

Приміщення №11: Кімната матері та дитини (для годування та сповивання) площею 22,06 м<sup>2</sup> передбачення для комфорту годуючих мам.

Приміщення №15: Приміщення для тимчасового перебування домашніх тварин площею 24,97 м<sup>2</sup>. Це приміщення ізольоване від основних зал, що дозволяє уникнути алергічних реакцій у інших людей та, в той же час, дозволяє людям брати з собою домашніх улюбленців, що, за досвідом, для багатьох є критично важливою умовою.

*7. Технічні та господарські приміщення.*

Для забезпечення автономного функціонування передбачено:

Приміщення №02 та №12: Дві вентиляційні камери для розміщення фільтровентиляційного обладнання площами 35,80 м<sup>2</sup> та 24,80 м<sup>2</sup>.

Приміщення №03: Електрощитова площею 27,97 м<sup>2</sup>.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						64
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приміщення №07: Ізольоване приміщення для зберігання відходів площею 16,99 м<sup>2</sup>, розташоване віддалено від місць прийому їжі та постійного перебування людей.

Обладнане сміттєвими баками на колесах задля можливості вивозу сміття.

Приміщення №09: Комора прибирального інвентарю площею 7,12 м<sup>2</sup>.

Приміщення №08: Універсальне складське приміщення площею 9,89 м<sup>2</sup>

### **4.3. Забезпечення доступності для маломобільних груп населення**

Проектування протирадіаційного укриття вико

нано з обов'язковим дотриманням вимог ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд». [2]

Головним принципом проекту є створення безбар'єрного простору, який дозволяє вільний доступ та користування укриттям для всіх категорій населення, включаючи осіб з порушеннями опорно-рухового апарату, зору та слуху.

#### **4.3.1. Вхідна група**

Шляхи доступу до укриття організовано без використання сходів.

Обидва входи обладнані пандусами нормативного ухилу (1:20), що забезпечує можливість самостійного спуску на кріслі колісному.

Вхідні площадки та тамбури мають розміри, достатні для маневрування та розвороту візка (а саме ширину 2000 мм).

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						65
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поверхня покриття пандусів виконана з неслизьких матеріалів, а вздовж обох боків встановлено огороження з поручнями на двох рівнях (0,7 м та 0,9 м) [2].

#### 4.3.2. Шляхи руху всередині будівлі

Планування укриття передбачає достатньо широкі коридори із влаштуванням поручнів на двох рівнях. Основний розподільчий коридор (приміщення №24) має площу 133,15 м<sup>2</sup> і ширину 1900 мм на основних ділянках, що дозволяє безперешкодний двосторонній рух людей, в тому числі на кріслах колісних.

Дверні прорізи у всіх приміщеннях, доступних для МГН, мають ширину у просвіті не менше 900 мм [2].

Пороги у дверних прорізах відсутні або не перевищують 20 мм зі скошеними краями у допоміжних приміщеннях.

#### 4.3.3. Санітарно-гігієнічні приміщення

Особливу увагу приділено санітарному обслуговуванню маломобільних груп. На плані передбачено чотири окремих універсальних санітарних кабін (приміщення №20, 21, 22, 23) . Їх характеристики відповідають нормам доступності:

Площа кабін (від 6,23 м<sup>2</sup> до 6,69 м<sup>2</sup>) та ширина вільного простору дозволяє вільний розворот крісла колісного на 360 градусів.

У кабінах передбачено простір для розміщення унітаза з відкидними поручнями.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						66
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розташування умивальників та дзеркал виконано на висоті, доступній для людини, що сидить.

Двері санвузлів відчиняються назовні.

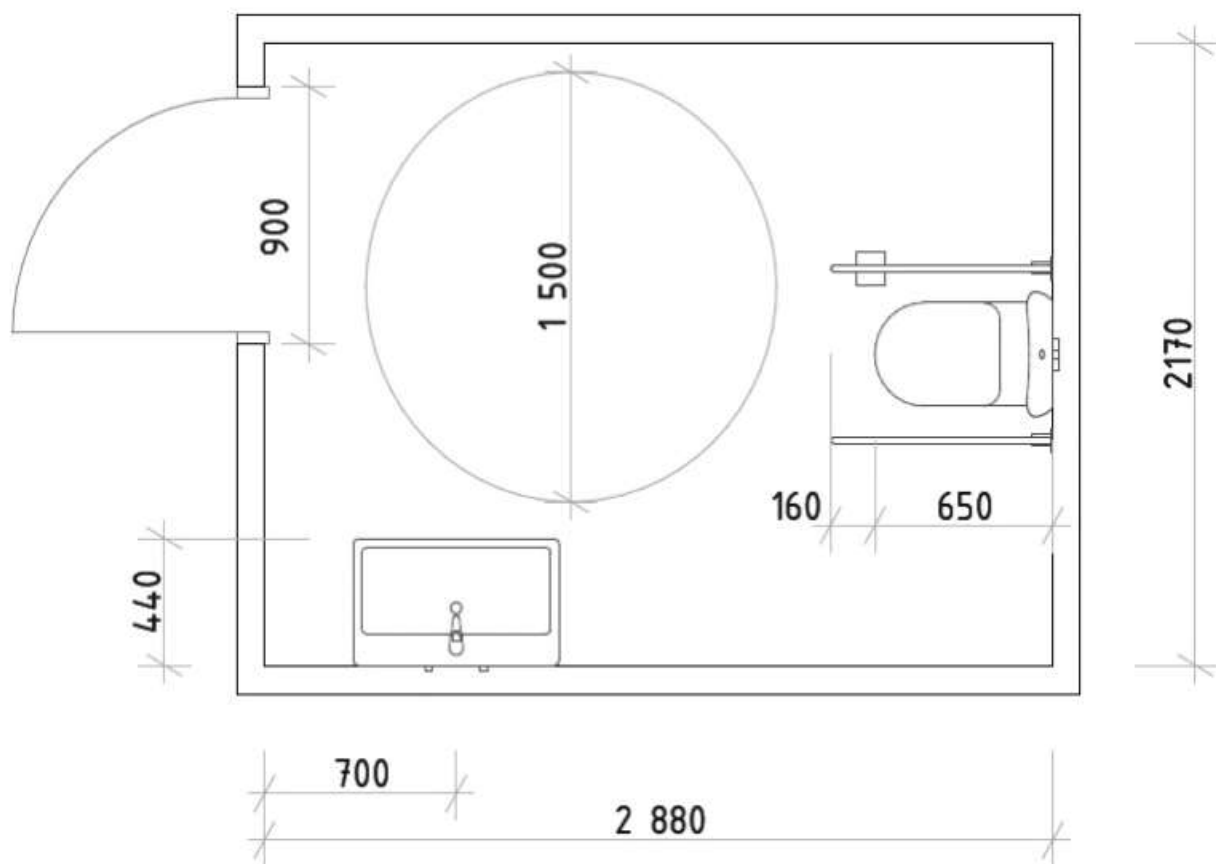


Рисунок 4.4 – Планувальне рішення універсальної kabіни санвузла для МГН

#### 4.3.4. Засоби орієнтації та інформаційної підтримки

Для людей з порушеннями зору передбачено влаштування тактильних елементів на підлозі перед входами та поворотами:

Перед вхідною групою в укриття передбачено тактильну плитку з рельєфом круглих «зрізаних» конусів, що розташовані на відстані 50 мм одна від одної та направляючу плитку у вигляді поздовжніх рифів ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд», що прокладена вздовж всієї

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						67
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

доріжки та слугує направляючою між житловим будинком та спорудою укриття. В середині тактильні елементи виконані у вигляді структурованих килимків.

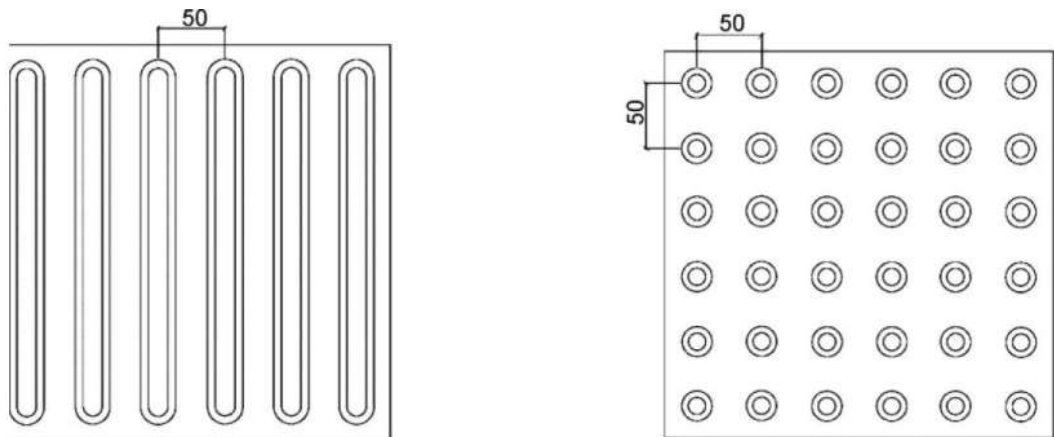


Рисунок 4.5 – Спеціальні тактильні індикатори (плити) [2]

Окрім того, текстова інформація дублюється шрифтом Брайля на табличках, а також передбачено контрастні поручні розташовані вздовж шляхів евакуації, що покликані додатково направити людей в умовах недостатньої освітленості та для осіб з порушенням зору.

Кольорове оздоблення інтер'єру передбачає контрастні поєднання (наприклад, світлі стіни та темні двері), що полегшує орієнтацію в просторі.

Окрім того, двері додатково позначені яскравою контрастною стрічкою, для полегшення їх ідентифікації.

#### 4.4. Інженерно-технічне забезпечення функціонування

##### 4.4.1. Система вентиляції та кондиціонування повітря

Система вентиляції є найважливішою складовою інженерних мереж протирадіаційного укриття, оскільки саме вона забезпечує життєдіяльність людей в умовах повної герметизації та ізоляції від зовнішнього середовища.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

601-БП.12135611.ПЗ

Арк.

68

Проектування виконано згідно з вимогами ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту» [1].

### **Режими вентиляції**

Для забезпечення комфортного та безпечного перебування 600 осіб передбачено два режими роботи системи вентиляції:

Режим I (Чиста вентиляція): Заплановано використовувати у мирний час або при відсутності зараження атмосфери.

Повітря забирається в укриття ззовні, очищається від пилу в фільтрах і подається в приміщення.

Норма подачі повітря в цьому режимі становить не менше 10 м<sup>3</sup>/год на одну особу для I кліматичного району [1, табл. 11.4]

*Режим II (Фільтровентиляція):* Вмикається при виникненні радіаційної небезпеки або при наявності у повітрі отруйних речовин.

В такому випадку зовнішнє повітря проходить через спеціальні фільтри-поглиначі, які затримують радіоактивний пил та отруйні гази.

У цьому режимі в укритті створюється надлишковий тиск, який не дає проникнути забрудненому повітрю через нещільність огороджувальних конструкцій.

Норма подачі — 2 м<sup>3</sup>/год на особу. [1].

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						69
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Обладнання припливної системи

Припливна система розташовується у двох вентиляційних камерах, ізольованих від основних приміщень. Надзмені частини будуються із будівельних конструкцій, які витримують дію ударної хвилі.

До складу установки входять:

– *Противовибухові пристрої (ПВП)*: Встановлюються на оголовках повітрязаборів. Вони автоматично перекривають доступ повітря при дії ударної хвилі, тим самим захищають обладнання від руйнування при вибухах [1].

– *Фільтри-поглиначі (типу ФПУ-200)*: Це головний інструмент при роботі укриття в режимі захисту (Режимі II). Кількість фільтрів визначається розрахунком на 600 осіб.



Рисунок 4.6 – Фільтр-поглинач ФПУ-200 для системи фільтровентиляції [18]

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						70
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– *Вентиллятори з ручними приводами (ЕРВ)*: вони необхідні для роботи вентиляторів у разі відсутності електроенергії. Ці вентилятори працюють від джерела електричного живлення. Це гарантує подачу повітря навіть при повному знеструмленні об'єкта. Розрахункова кількість осіб для обертання вентилятора — 2-4 людини.

### **Витяжна вентиляція**

Виведення відпрацьованого повітря передбачено через вентканали у санвузлах, приміщенні для відходів та кухні. Витяжні канали також обладнуються клапанами надлишкового тиску, вони дають повітрю вільно вийти назовні, але не дають ударній хвилі потрапити всередину.

### **4.4.2. Водопостачання та водовідведення**

Системи водопостачання та каналізації проектується згідно з вимогами ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту» [1].

Головна задача даної системи — забезпечення життєдіяльності людей в автономному режимі протягом 48 годин.

### **Господарсько-питне водопостачання**

У звичайному режимі експлуатації, у мирний час водопостачання санітарних приладів та технічних приміщень здійснюється від зовнішньої водопровідної мережі.

На вводі водопроводу запроектовано встановлення вузла із запірною арматурою. В разі роботи укриття в аварійному режимі та в разі пошкодження зовнішніх мереж - також передбачено створення аварійного запасу питної води.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						71
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно [1], норма водопостачання для протирадіаційних укриттів становить 3 л на одну особу на добу. Розрахунок необхідного об'єму аварійного запасу води виконується за формулою [1]:

$$V=N \cdot q \cdot t$$

де: N = 600 — кількість осіб, що переховуються; q = 3 л/добу — норма споживання води; t = 2 доби — розрахунковий термін автономності.

$$V=600 \cdot 3 \cdot 2=3600\text{л} = 3,6\text{м}^3$$

Технічно запас води зберігається у чотирьох протічних поліетиленових ємностях об'ємом 1000 л кожна, які об'єднані в єдину систему.

Використання схеми протічних баків забезпечує постійне оновлення води у мирний час, що запобігає погіршенню її санітарно-гігієнічних якостей.

Баки обладнані повітряними клапанами для захисту від потрапляння радіоактивного пилу всередину ємності при заборі води.

### **Система водовідведення та аварійний збір стоків**

Відведення побутових стоків від санітарних приладів здійснюється, як правило, самопливом у зовнішню каналізаційну мережу. Відмітка рівня підлоги укриття відносно землі становить -0,600 що при нормативному заглибленні зовнішніх мереж дозволяє організувати природний стік.

Але, згідно з [1, п. 11.1.4], на випуску каналізації з укриття обов'язково встановлюється запірна арматура. Це необхідно для захисту приміщень від затоплення стічними водами у разі переповнення зовнішнього колектора або його руйнування.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						72
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрім цього, проектом передбачено аварійний резервуар для збору стоків. У разі виникнення аварійної ситуації та закриття засувки на випуску каналізації, користування санвузлами не повинно припинятись. Стоки відводяться у спеціальний герметичний залізобетонний з пластиковою ємністю, розміщений нижче рівня підлоги у приямку.

Ємність резервуара розраховується на прийом стоків протягом 48 годин. Для запобігання накопиченню небезпечних газів резервуар обладнується витяжною трубою, приєднаною до витяжної системи вентиляції. Випорожнення резервуара здійснюється після завершення аварійного режиму за допомогою пересувних насосів або асенізаційної машини через люк.

### **Принцип роботи каналізаційної системи**

*Режим мирного часу:* Засувка на випуску в міську мережу відкрита. Стоки потрапляють у приямок насосної станції і автоматично відкачуються в місто.

*Аварійний режим:* В разі надзвичайної ситуації, герметична засувка на трубопроводі закривається, відрізаючи укриття від зовнішньої мережі. Стоки від санвузлів збираються в аварійному резервуарі.

### **4.4.3. Електропостачання та електрообладнання**

Надійне електропостачання є критично важливим для функціонування протирадіаційного укриття, оскільки від нього залежить робота систем життєзабезпечення (вентиляції, насосів водопостачання та каналізації), а також освітлення.

Відповідно до ДБН В.2.5-23:2025, електроприймачі укриття відносяться до I категорії надійності електропостачання [23, табл 2.1.]

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						73
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це означає, що живлення повинно забезпечуватися від двох незалежних взаємнорезервуючих джерел, і перерва в електропостачанні допускається лише на час автоматичного введення резерву.

### **Джерела електропостачання**

*Основне джерело:* Живлення здійснюється від зовнішньої трансформаторної підстанції міської мережі напругою 0,4 кВ. Прокладання кабелів в укриття виконується герметичним методом, за допомогою закладних деталей, з подальшою герметизацією для захисту від ґрунтових вод.

*Резервне джерело (ДЕС):* Враховуючи можливість знеструмлення зовнішніх мереж у надзвичайних ситуаціях, проектом передбачено влаштування автономної дизельної електростанції (ДЕС). Вона знаходиться поза межами захисної споруди та за зоною можливих завалів.

### **Розрахунок та обладнання ДЕС**

За максимальним навантажень було прийнято рішення встановити дизель-генератор потужністю 50 кВт у кожусі для шумоізоляції. Для забезпечення безперебійної роботи генератора протягом 48 годин у приміщенні ДЕС встановлюється паливний бак об'ємом, достатнім для безперервної роботи генератора при 75% навантаженні.

Бак розміщується у металевому піддоні, який може вмістити весь об'єм палива у разі аварії та виливу такого палива. Вихлопні гази відводяться за допомогою сталеві труби поза межами можливих завалів.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						74
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Освітлення та автоматика

Перемикання на резервне живлення має відбуватись швидко. Час запуску генератора становить до 60 секунд.

Система освітлення поділяється на:

- Робоче: Забезпечує нормовану освітленість (150 лк).
- Аварійне (евакуаційне): Світильники встановлюються на шляхах евакуації. Важливим елементом є наявність у світильниках вбудованих акумуляторів, що дозволяє забезпечити найважливіших шляхів укриття навіть без електрики, що не допускає паніки людей, що укриваються.

### 4.4.4. Слабкострумні мережі та системи зв'язку

Проектування систем зв'язку виконано з урахуванням вимог ДБН В.2.2-5:2023 та специфіки об'єкта цивільного захисту. Головним пріоритетом є не побутовий доступ до мережі, а забезпечення стійкого управління та координації дій.

Для підтримки зв'язку з підрозділами ДСНС та місцевою владою в захисній споруді передбачено пункт керування, де зосереджені основні комунікації.

Система побудована так, щоб передача інформації залишалася можливою за різних умов:

*Телефонний зв'язок:* До пункту керування підведена дротова лінія від міської мережі. Стаціонарний телефон на столі чергового залишається основним каналом для звітування про стан в укритті та отримання прямих розпоряджень.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						75
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

*Радіофікація:* Укриття інтегроване в міську мережу проводового мовлення. У залах для людей та в операторській встановлені гучномовці. Це важливо, оскільки мережа дозволяє отримувати сигнали цивільного захисту («Увага всім!», «Повітряна тривога») у автономному режимі, навіть якщо зникне електропостачання чи мобільна мережа.

*Інтернет:* Як додатковий (резервний) канал комунікації використано оптоволоконний ввід. Це дозволяє черговому постійно моніторити офіційні ресурси держорганів та підтримувати зв'язок через цифрові канали у штатному режимі.

#### **4.4.5. Система пожежної сигналізації та оповіщення**

##### **Пожежна безпека**

Для безпеки в укритті передбачена автоматична пожежна сигналізація. Систему налаштували так, щоб вона максимально швидко реагувала на загрозу залежно від типу приміщення.

Наприклад, у залах, де перебувають люди, встановлюються димові датчики, а от у технічних приміщеннях (зокрема там, де стоїть дизель-генератор) краще використовувати теплові або комбіновані сповіщувачі, бо там може бути незначне задимлення від техніки, яке не є пожежею.

Весь контроль за системою виведений на прилад ППКП (приймально-контрольний пожежний прилад), який стоїть у пункті керування під наглядом чергового. Сама сигналізація працює в парі з системою оповіщення.

Якщо десь спрацює датчик, то автоматично вмикаються сирени та гучномовці. В такому разі система або програє заздалегідь записаний текст про евакуацію, або черговий може сам через мікрофон пояснити людям, куди йти, щоб не було паніки

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						76
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4.5. Технологія та організація будівництва.

### 4.5.1. Загальна характеристика методів виконання робіт

Організація будівельного виробництва при побудові протирадіаційного укриття (ПРУ) на 600 осіб має бути розроблена з врахуванням конструктивних особливостей споруди, а саме: факт напівзаглиблення та обвалювання ґрунтом.

Виконання робіт необхідно проводити потоковим методом, оскільки це дозволить забезпечити неперервність процесів виробництва та ефективно використовувати будівельну техніку та інструменти.

Весь спектр робіт можна умовно поділити на кілька поступових етапів: підготовчий етап (включає також і геодезичну розбивку осей), роботи нульового циклу (земляні роботи та влаштування фундаментів), зведення надземної частини каркасу, та завершальні роботи, до них входять: гідроізоляція конструкцій, засипання захисного ґрунтового шару та благоустрій території.

В даному дипломному проекті розглядається технологія виконання робіт для двох варіантів конструктивного схем: монолітного залізобетонного каркаса та каркаса зі збірних елементів (з упором на монолітний варіант), оскільки вибір методу помітно впливає на тривалість будівництва, її вартість та необхідність у техніці.

### Технологія виконання земляних робіт

Процес влаштування котловану під напівзаглиблену споруду укриття є першочергово важливим етапом, оскільки від якості підготовки основи залежить подальша надійність всієї конструкції.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						77
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи проектні відмітки (глибина закладання підосви фундаменту -0,500 м відносно "нуля" споруди при відмітці землі +0,600 м), то загальна глибина заглиблення становить 1,1 м.

### **Геодезичні розбивочні роботи**

Перед початком земляних робіт потрібно зробити геодезичну розбивку осей будівлі на місці. Закріплення осей виконується за допомогою використання обноски, яку встановлюють за межами зони роботи землерийної техніки (на відстані 2-3 м від краю котловану).

Також важливо, що контур розробки ґрунту визначається з врахуванням не тільки габаритів фундаментної плити (42x25 м + 0,5 м запасу з кожного боку), але й вільного простору для того, аби робітники могли пересуватись по майданчику, встановити опалубку та, в подальшому, виконати гідроізоляцію споруди.

Тому ширина котловану по дну приймається на 1,0 м ширшою за розміри самої споруди з кожного з боків.

### **Зняття родючого шару**

Відповідно до екологічних вимог та норм рекультивації земель, перед розробкою основного котловану необхідно зняти родючий шар ґрунту (чорнозем) [15].

Зрізання ґрунту товщиною 20 см виконується бульдозером (наприклад, типу ДЗ-42). Цей ґрунт не можна перемішувати з рештою ґрунту, а потрібно перемістити на окрему зону (відвал) на будівельному майданчику. В подальшому цей шар землі буде використаний для озеленення шару обвалування укриття.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						78
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



захисного шару землі над укриттям. Даний підхід допомагає суттєво економити на витратах на транспорт.

### **Дорозробка котловану та утворення укосів**

Експаватором ґрунт розробляється не на повну глибину, а недокопуючи 10–15 см до відмітки низу. Це робиться для того, щоб ковшом не пошкодити нижній ґрунт основи. Остаточне вирівнювання дна котловану виконується вручну лопатами ланкою землекопів безпосередньо перед початком виконання робіт з заливання бетону.

Стінки котловану виконуються з укосами з ухилом 1:0,5, для суглинків, адже це дозволяє не влаштовувати додаткові кріплення, аби край котловану був стійким. Для спуску робітників вниз передбачені тимчасові сходишки.

### **4.5.2. Технологічна карта на зведення монолітного варіанту**

При виборі першого варіанту головний обсяг робіт виконується вже на будівельному майданчику, оскільки основна робота – це укладання бетонної суміші в опалубки.

### **Влаштування фундаментної плити**

Дана робота розпочинається після остаточної зачистки дна. Першочергово виконується влаштування бетонної підготовки з бетону класу С8/10 товщиною 100 мм. Після, необхідно зачекати твердіння підготовки та влаштувати горизонтальну гідроізоляцію в два шари.

Армування фундаментної плити товщиною 500 мм виконується методом в'язки окремих стержнів та сіток арматури. Для зберігання точного

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						80
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проектного положення верхньої та нижньої сіток арматури доцільно встановити спеціальні підтримуючі каркаси з арматури діаметром 8-10 мм.

Заливка бетону плити виконується захватками. Це зумовлено великою площею поверхні (понад 1000 м<sup>2</sup>). Подача бетонної суміші здійснюється автобетононасосом з довжиною стріли 32,8 м (Putzmeister BSF 38-5), оскільки під'їзд міксерів до місця є складним процесом.

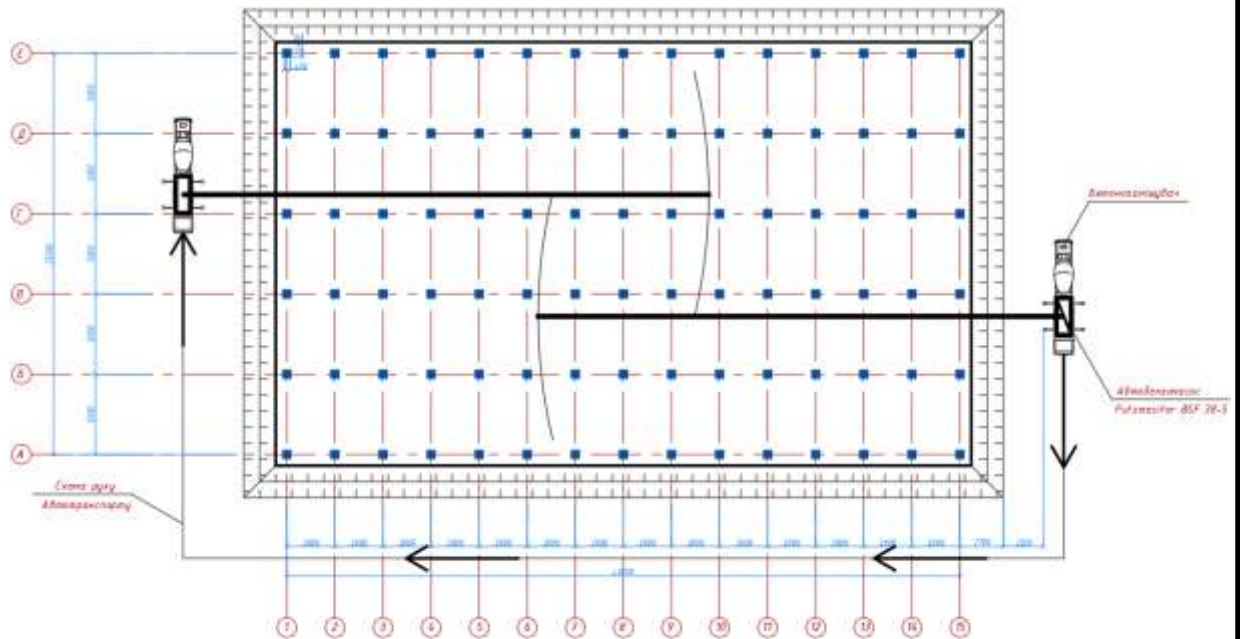


Рисунок 4.8 – Технологічна схема бетонування монолітної плити покриття

### **Зведення вертикальних конструкцій (стін та колон)**

Спочатку необхідно дочекатись набору міцності бетону фундаменту, після - перейти до встановлення арматурних каркасів та опалубки для стін.

У проекті передбачено використання інвентарної дрібнощитової опалубки, щоб залити стіни висотою 2,9 м. Перед роботою щити треба змастити емульсолом. Потім їх ставлять у проектне положення і стягують гвинтами, які проходять через пластикові трубки, щоб не зіпсувати кріплення.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

Укладка бетонної суміші виконується шар-за-шаром (по 30-50 см кожен) із ущільненням кожного спеціальними глибинними вібраторами. Це надзвичайно важливо для забезпечення герметичності та отримання розрахованої міцності укриття.

### **Влаштування монолітного перекриття**

Для перекриття на відмітці +3,300 використовують опалубку на телескопічних стійках. На ці стійки зверху кладуться балки, а на них вкладають вологостійку фанеру.

Саме бетонування плити потрібно виконати за один раз у межах захватки, щоб не зв'явилися зайві робочі шви.

За бетоном потім потрібно вести догляд: орієнтовно протягом тижня поливати його водою і накривати плівкою, щоб той не пересихав.

### **4.5.3. Технологія монтажу конструкцій збірного варіанту**

У другому варіанті технологія будівництва полягає, переважно, в монтажі готових елементів виготовлених в заводських умовах.

### **Вибір монтажних механізмів**

Виходячи з маси найважчих елементів (стінові панелі та плити перекриття до 5 т) та необхідного вильоту стріли, прийнято використання автомобільного крана вантажопідйомністю 25 т (XCMG QY25K5-I). Використання баштового крана на такому об'єкті є економічно не вигідним через малу висоту будівлі.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						82
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### **Послідовність кроків монтажу**

Монтажні роботи ведуться від внутрішньої до зовнішньої частини будівлі. Спочатку встановлюються металеві колони на попередньо закладені анкери у фундаментній плиті. Далі відбувається монтаж стінових панелей розміром 1х3 м.

Панелі встановлюються на шар цементного розчину, вирівнюються та тимчасово закріплюються підкосами. Всі зварні з'єднання (вузли кріплення панелей та колон) обов'язково захищаються від корозії.

### **Монтаж плит покриття**

Плити перекриття габаритами 1х3 м укладаються на балки п. Шви між плитами (шпонки) ретельно замоноличуються бетоном на дрібному заповнювачі. Якісне виконання стиків означає герметичність укриття від проникнення зараженого повітря.

### **4.5.4. Гідроізоляція та технологія обвалування споруди**

Специфікою цієї споруди є те, що після зведення «коробки» вона повністю засипається землею.

Після завершення бетонних робіт необхідно виконати суцільне обмазування гідроізоляцією стін та перекриття. Гідроізоляція захищається від механічних пошкоджень геотекстилем та плівкою поліпропіленовою.

### **Вимоги до початку робіт**

Роботи з обвалування землею можна розпочинати виключно після досягнення бетоном плити перекриття 100% проектної міцності, оскільки навантаження від шару ґрунту товщиною 1,5 м є значним.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						83
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Технологія засипки ґрунту

Процес виконується з використанням двох машин (бульдозер + екскаватор).

*Засипка пазух:* Бульдозер виконує зворотну засипку пазух котловану навколо стін. Це відбувається рівномірно з усіх боків шарами по 30–40 см з подальшим ущільненням.

*Формування профілю:* Формування укосів (з ухилом 1:1,8) виконується знизу догори. В жодному разі не можна насипати ґрунт на покрівлю без наявності сформованих бокових укосів, адже вони виступають опорою для ґрунтового масиву.

*Подача ґрунту на покриття:* Враховуючи висоту будівлі 3200 мм від рівня землі - подача ґрунту здійснюється екскаватором, який встановлюється на рівні землі. Бульдозер підгортає ґрунт до екскаватора, а той ковшем переміщує його на плиту перекриття.

## Ущільнення

Насипний ґрунт обов'язково потрібно утрамбувати. На покритті ущільнення виконується легкими віброплитами (наприклад Higher 6,5 КМ), щоб не виникало ударних навантажень на несучі конструкції.

### 4.5.5. Закріплення укосів та благоустрій територію

Після завершення формування форми земляного насипу необхідно виконати заходи щодо захисту ґрунту від зсувів та ерозії.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						84
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Рекультивация та озеленення

На сформовану поверхню укосів та покрівлі після проведення всіх робіт повертається родючий шар ґрунту (чорнозем) товщиною 15–20 см, який був зрізаний та збережений на початку будівництва. Для закріплення стійкості поверхні виконується посів багаторічних трав, оскільки їх коренева система буде утворювати щільну дернину.

## Обмеження

Посадка дерев або кущів (з глибокою кореневою системою) не допускається, адже їх коріння безпосередньо може, в разі проникнення на велику глибину може пошкодити гідроізоляцію або зруйнувати захисний шар споруди. Це є неприпустимим для споруд цивільного захисту.

### 4.5.6. Заходи з охорони праці та безпеки

#### Загальні вимоги та аналіз небезпечних факторів

Будівництво протирадіаційного укриття (ПРУ) на 600 осіб у даному проекті має свої особливості, оскільки споруда є напівзаглибленою з подальшим обвалуванням ґрунтом.

Організація будівельного майданчика має відповідати вимогам ДБН А.3.2-2-2009 [8]. До основних небезпечних факторів під час будівництва відносяться:

- робота землерийної техніки (екскаваторів, бульдозерів) при влаштуванні насипу;
- виконання робіт на висоті (монтаж плит перекриття на відмітці +3,300, що становить 2,7 м від рівня землі);

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						85
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- переміщення вантажів кранами;
- ризик обвалу ґрунту при влаштуванні укосів насипу.

### **Безпека при земляних роботах**

Згідно з проектними відмітками, підшва фундаменту знаходиться на відмітці -0,500, а рівень землі — на +0,600 відносно рівня підлоги. Таким чином, глибина розкопки котловану становить 1,1 м.

Це дозволяє виконувати розробку ґрунту без додаткових кріплень стінок, дотримуючись мінімальних укосів згідно з типом ґрунту (1:0,25 або 1:0,5).

Основна небезпека виникає на етапі зворотної засипки та обвалування споруди. Оскільки верх насипу знаходиться на відмітці +4,800, товщина шару землі над плитою становить 1,5 м. При формуванні насипу бульдозерами забороняється рух техніки ближче ніж 1 м до брівки укосу.

Для підйому на насип для робітників мають бути влаштовані тимчасові сходи з поручнями, оскільки пересування по похилій поверхні (ухил 1:1,8) може призвести до травмування, особливо у вологу погоду.

### **Техніка безпеки при бетонних та монтажних роботах**

Роботи зі зведення каркаса ведуться з рівня фундаментної плити. При монолітному варіанті - особливу увагу слід приділити бетонуванню стін та колон.

Оскільки висота приміщення 2,9 м, то роботи з в'язки арматури у верхній зоні та встановлення опалубки будуть відноситись до робіт на висоті.

					<b>601-БП.12135611.ПЗ</b>	Арк.
						86
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Робітники повинні використовувати підмостки. Забороняється виконувати роботи, стоячи на опалубці.

*При збірному варіанті:* Монтаж стінових панелей та колон виконується краном. Монтажники повинні перебувати на безпечній відстані під час підйому вантажу. Коригування конструкцій на місце установки виконується за допомогою багрів, щоб руки робітника не потрапили між збірними елементами. Після монтажу плит перекриття (на відм. +3,300) ходити по них дозволяється тільки після їх надійного закріплення, а саме зварювання закладних деталей.

### **Пожежна та електробезпека**

Всі електроінструменти мають бути заземлені. Оскільки укриття напівзаглиблене, то можливе скупчення вологи на підлозі після дощів до моменту влаштування покриття укриття, тому кабелі повинні бути підвішені, а не лежати на підлозі.

Пожежний щит потрібно розмістити біля в'їзду на майданчик будівництва.

## **4.6. Висновки до Розділу 4**

У даному розділі розроблено комплексні проєктні рішення для реалізації будівництва протирадіаційного укриття на 600 осіб, що відповідають сучасним вимогам надійності, автономності та інклюзивності.

*Архітектурно-планувальні рішення:* Запроєктовано напівзаглиблену споруду з ґрунтовим обвалуванням, що забезпечує подвійний захист (конструктивний та ґрунтовий екран) від загроз. Планування передбачає чітке зонування на «чисті» та «брудні» зони, а також повну безбар'єрність

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						87
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

простору. Передбачено універсальні санвузли та пандуси з ухилом 1:20, що робить укриття доступним для всіх груп населення.

*Інженерне забезпечення:* Розроблено схему автономного функціонування об'єкта протягом 48 годин. Система вентиляції забезпечує роботу в двох режимах (чиста вентиляція та фільтровентиляція), а дизель-генератор потужністю 50 кВт гарантує безперебійне електропостачання систем життєзабезпечення.

*Технологія будівництва:* Обґрунтовано методи виконання робіт для специфічних умов заглибленого будівництва. Розроблено технологічну карту, яка передбачає використання потокового методу та засобів механізації (екскаватор ЕО-3322, автобетононасос), що дозволяє дотриматись директивних термінів будівництва.

*Безпека:* Передбачено комплекс заходів з охорони праці, зокрема при виконанні земляних робіт та робіт на висоті, що мінімізує виробничі ризики.

Запропоновані рішення є практично реалізованими та можуть бути використані для будівництва захисних споруд у житлових кварталах.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						88
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки

У даній магістерській роботі досліджено актуальне науково-практичне завдання щодо підвищення ресурсоефективності будівництва та оптимального планування внутрішнього простору захисних споруд цивільного захисту. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень отримано наступні результати:

*Аналітичний огляд:* Встановлено, що в сучасних умовах пріоритетним напрямком є будівництво протирадіаційних укриттів (ПРУ) подвійного призначення, інтегрованих у житлову забудову. Аналіз світового досвіду (зокрема Ізраїлю та Швейцарії) та нормативної бази (ДБН В.2.2-5:2023) показав, що монолітні залізобетонні конструкції є найбільш перспективними з точки зору забезпечення герметичності та живучості споруди.

*Чисельне моделювання:* Розроблено скінченно-елементну модель каркаса укриття в ПК ЛІРА-САПР із попереднім створенням 3д-моделі в САПФІР-3Д. Розрахунок підтвердив надійність запроєктованої конструктивної схеми (сітка колон 5×3 м, безбалкове перекриття товщиною 400 мм). Армування підібрано раціонально, зони концентрації напружень підсилені.

*Економічна ефективність:* Виконано техніко-економічне порівняння двох варіантів реалізації каркаса. Доведено, що застосування монолітної технології (Варіант 1) дозволяє знизити кошторисну вартість будівництва на 3 646 420 грн. (30,6%), порівняно зі збірно-монолітним каркасом (Варіант 2).

Вартість монолітного каркаса: 8 269 380 грн.

Вартість збірного каркаса: 11 915 800 грн.

*Фактори впливу:* Виявлено, що основними причинами здорожчання альтернативного (збірного) варіанту є наступні витрати: вартість виконання вогнезахисту металевих елементів, низька ефективність логістики

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						89
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

великогабаритних виробів та необхідність дороговартісної герметизації стиків.

*Практична реалізація:* Розроблено проєкт для будівництва ПРУ на 600 осіб у с. Розсошенці. Проєктні рішення враховують сучасні вимоги інклюзивності (безбар'єрний доступ, спеціалізовані санвузли), забезпечують повну автономність функціонування (дизель-генератор, запаси води) та відповідають вимогам енергоефективності.

*Соціальний ефект:* Запропоноване рішення дозволяє не лише зекономити бюджетні кошти, але й підвищити рівень безпеки населення завдяки створенню єдиного просторово жорсткого каркаса, стійкого до сейсмічних та динамічних впливів, що є критично важливим для об'єктів цивільного захисту.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						90
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список використаних джерел

1. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. Київ: Мінрегіон України, 2023.
2. ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. Зі Зміною № 1. Київ: Мінрегіон України, 2018.
3. ДБН В.2.1-10:2018. Основи та фундаменти будівель і споруд. Основні положення. Київ: Мінрегіон України, 2018.
4. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування (зі змінами). Київ: Мінбуд України, 2006.
5. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зміна № 1. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011.
6. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ: Мінрегіон України, 2017.
7. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. Київ: Мінрегіон України, 2016.
8. ДБН А.3.2-2-2009. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Київ: Мінрегіонбуд України, 2012.
9. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011.
10. ДСТУ 3760:2019. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
11. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
12. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для обладнання та трубопроводів. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2023.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк.
						91
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. ДСТУ 8768:2018. Двотаври сталеві гарячекатані. Сортамент. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.
14. ДСТУ 8539:2015. Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
15. ДСТУ 7941:2015. Якість ґрунту. Рекультивація земель. Загальні вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
16. Семко О., Філоненко О., Зигун А. Основи проектування захисних споруд цивільного захисту. Полтава : ПП «Астрыя», 2024. 121 с.
17. Програмний комплекс ЛПА-САПР. Посібник користувача. Київ: ТОВ «ЛПА-САПР», 2022.
18. Фільтр-поглинач ФПУ-200: технічні характеристики. *Tehno-Parts*. URL: <https://teho-parts.com.ua/ua/fpu-200-filtri-poglinachi> (дата звернення: 14.01.2026).
19. Бульдозер ДЗ-42: технічні характеристики та фото. *ПК-БУД*. URL: <https://pkbud.com.ua/content/DZ42> (дата звернення: 14.01.2026).
20. Finland's colossal bomb shelters, a model for jittery Europe. *France 24*. 04.04.2025. URL: <https://www.france24.com/en/live-news/20250404-finland-s-colossal-bomb-shelters-a-model-for-jittery-europe> (дата звернення: 14.01.2026).
21. Residential Protected Rooms (MAMAD) – Technical Specifications. *Palraz Engineering LTD*. URL: <https://palraz.co.il/en/safe-room-products/> (дата звернення: 14.01.2026).
22. ДБН В.1.2-4:2019. Система надійності та безпеки в будівництві. Інженерно-технічні заходи цивільного захисту. Київ : Мінрегіон України, 2019.
23. ДБН В.2.5-23:2025. Проектування електроустановок житлових будинків та громадських будівель і споруд. Київ : Мінвідновлення України, 2025.

					601-БП.12135611.ПЗ	Арк. 92
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		