

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Будівництва, архітектури та дизайну
(повне найменування факультету)

Кафедра Будівельного виробництва та управління проектами
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему ПРОЄКТ БУДІВНИЦТВА ТОРГІВЕЛЬНО-РОЗВАЖАЛЬНОГО
КОМПЛЕКСУ В М. ЗАПОРІЖЖЯ
CONSTRUCTION PROJECT OF A SHOPPING AND ENTERTAINMENT COMPLEX IN
ZAPORIZHZHIA

Виконав: студент ІІ курсу, групи БАД-114м

Спеціальності 192 Будівництво та цивільна
інженерія

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Промислове та цивільне будівництво

КАЛАНТАЄВ А.Д.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ЯКІМЦОВ Ю.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент КАМЕНЄВ О.С.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Будівництва, архітектури та дизайну
Кафедра Будівельного виробництва та управління проектами
Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Промислове та цивільне будівництво
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри БВУП

к.т.н., доцент Олексій НАЗАРЕНКО

« _____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

КАЛАНТАЄВ Антон Денисович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Проект будівництва торгівельно-розважального комплексу в м. Запоріжжя. Construction project of a shopping and entertainment complex in Zaporizhzhia

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент ЯКІМЦОВ Юрій Вячеславович,
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « _____ » жовтня 2025 року № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 11 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) рекомендована література, технічне завдання, інженерно-геологічні умови

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Архітектурно-будівельний розділ. 2. Розрахунково-конструктивний розділ. 3. Організаційно-технологічний розділ. 4. Охорона праці та цивільна безпека. 5. Науково-дослідний розділ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) Слайди презентації, графічний матеріал 9 аркушів А1 роздруковані на А3 з титульним аркушем та зброшуровані

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Архітектурно-будівельний розділ	ЯКІМЦОВ Ю.В., доцент		
Розрахунково-конструктивний розділ	ЯКІМЦОВ Ю.В., доцент		
Організаційно-технологічний розділ	ЯКІМЦОВ Ю.В., доцент		
Охорона праці та цивільна безпека	ЯКІМЦОВ Ю.В., доцент		
Науково-дослідний розділ	ЯКІМЦОВ Ю.В., доцент		
Нормоконтролер	БОБРАКОВ А.А., доцент		

7. Дата видачі завдання «01» жовтня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Постановка завдань по роботі	1 тиждень	Завдання
2	Розробка архітектурно-будівельних рішень.	2-3 тижні	Розділ 1
3	Розробка розрахунково-конструктивної частини.	3-5 тижні	Розділ 2
4	Прийняття організаційно-технологічних рішень	5-6 тижні	Розділ 3
5	Розробка технологічної частини роботи	7 тиждень	Розділ 4
6	Розробка заходів з охорони праці та цивільної безпеки.	8 тиждень	Розділ 5
7	Виконання науково-дослідної частини	9-10 тиждень	Розділ 6
8	Оформлення пояснювальної записки та документів до неї	11 тиждень	
9	Оформлення графічної частини	12-13 тиждень	Розділи 1-5
10	Нормоконтроль та рецензування	13-14 тиждень	
11	Перевірка на плагіат	15 тиждень	
12	Захист роботи.	16 тиждень	

Студент

(підпис)

Антон КАЛАНТАЄВ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Юрій ЯКІМЦОВ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної кваліфікаційної роботи магістра: 93 с., 10 табл., 15 рис., 1 дод., 39 джерел.

ГРОМАДСЬКІ БУДІВЛІ, ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВНИЦТВА, НАДІЙНІСТЬ БУДІВЕЛЬ, НЕСУЧІ КОНТРУКЦІЇ, ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ

Структура та обсяг роботи. Робота є комплексним дослідженням, присвяченим будівництву торгівельно-розважального центру в м. Запоріжжя. Структура роботи включає шість основних розділів: архітектурно-будівельний, розрахунково-конструкторський, організаційно-технологічний, економічний, охорони праці та науково-дослідницький. Науково-дослідницька частина шостого розділу присвячена теоретичним основам надійності інженерних конструкцій на схилах, ризикам будівництва на покатах схилах та методам підвищення надійності конструкцій.

Методи дослідження – на використанні нормативно-розрахункового підходу, аналізу чинних будівельних норм і стандартів, інженерних розрахунків несучих конструкцій, теплотехнічного аналізу огорожувальних конструкцій, а також методів календарного та ресурсного планування будівництва.

Об'єкт дослідження – проєкт будівництва 17-поверхової житлової будівлі у Київському регіоні.

Предмет дослідження – теоретичні засади надійності будівельних конструкцій на покатах схилах та підвищення надійності конструкцій.

Актуальність теми зумовлена потребою у створенні громадських будівель у післявоєнних умовах відновлення України, з урахуванням підвищених вимог до надійності, безпеки, доступності та раціонального використання міських територій. У контексті розвитку торгівельно-розважальної інфраструктури важливо забезпечити оптимальні архітектурно-планувальні рішення, ефективні конструктивні системи, належний тепловий захист огорожувальних конструкцій.

ABSTRACT

Explanatory note to the master's thesis: 93 pages, 10 tables, 15 figures, 1 appendix, 39 sources.

CIVIL BUILDINGS, CONSTRUCTION ORGANIZATION, RELIABILITY OF BUILDINGS, LOAD-BEARING STRUCTURES, ENSURING STABILITY

Structure and scope of the work. The thesis is a comprehensive study devoted to the construction of a shopping and entertainment center in the city of Zaporizhzhia. The structure of the work includes six main sections: architectural and construction solutions, structural calculations, organizational and technological aspects, economic justification, occupational safety, and the research section. The scientific part of the sixth section focuses on the theoretical foundations of the reliability of engineering structures on slopes, risks associated with construction on inclined terrains, and methods of improving the reliability of structural systems.

Research methods are based on the use of normative–calculation approaches, analysis of current building codes and standards, engineering calculations of load-bearing structures, thermal analysis of building envelopes, as well as methods of calendar and resource planning in construction.

Object of the study – the construction project of a 17-storey residential building in the Kyiv region.

Subject of the study – theoretical foundations of the reliability of building structures on inclined slopes and methods for improving the reliability of structural systems.

Relevance of the topic is determined by the need to develop public buildings in the post-war reconstruction of Ukraine, taking into account increased requirements for reliability, safety, accessibility, and the rational use of urban areas. In the context of the development of shopping and entertainment infrastructure, it is important to ensure optimal architectural and planning solutions, effective structural systems, and adequate thermal protection of building envelopes.

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ.....	9
1.1 Генеральний план ділянки	9
1.2 Огляд об'ємно-планувальних рішень.....	10
1.3 Прийняті конструктивні рішення	11
1.4 Оздоблення торгівельного центру.....	13
1.5 Інженерні мережі будівлі	14
1.6 Теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій.....	17
1.7 Розрахунок класу наслідків (відповідальності) житлової будівлі	20
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ.....	24
2.1 Проектування багатопустотної плити перекриття	24
2.1.1 Збір навантажень	24
2.1.2 Розрахунок міцності по нормальним перерізам	26
2.1.3 Розрахунок плити по похилим перерізам	30
2.1.4 Додаткова перевірка за похилими перерізами.....	31
РОЗДІЛ 3. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	35
3.1 Технологічна карта на монтаж вітражів фасаду	35
3.2 Вибір монтажного крану.....	38
3.3 Визначення обсягів робіт.....	41
3.4 Календарне планування будівництва	43
3.5 Проектування будівельного генплану.....	44
3.5.1 Визначення небезпечних зон роботи крана	45
3.5.2 Розрахунок площі титульних будівель та споруд.....	46
3.5.3 Визначення площ тимчасових складів	48
3.5.4 Визначення потреби у водопостачанні	51
3.5.5 Визначення потреби в електропостачанні	53
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ В БУДІВНИЦТВІ	56
4.1 Техніка безпеки на будівельному майданчику	56

	7
4.2 Система контролю та безпечне виконання робіт.....	58
4.3 Розрахунок освітлення будівельного майданчику	60
РОЗДІЛ 5. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.....	62
5.1 Теоретичні основи надійності інженерних конструкцій.....	63
5.2 Особливості покатих схилів та ризику при будівництві.....	69
5.3 Моделі та методи підвищення надійності конструкцій на схилах	75
5.3.1 Інженерне укріплення схилів.....	75
5.3.2 Особливості фундаментів і конструкцій на схилі	78
5.3.3 Застосування сучасних матеріалів і технологій	81
5.3.4 Експлуатаційні заходи для підтримання надійності	86
ВИСНОВКИ	89
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	90

ВСТУП

Сучасний етап відбудови України характеризується зростанням потреби у багатофункціональних громадських об'єктах, які поєднують торговельні, розважальні та сервісні функції і водночас відповідають підвищеним вимогам до безпеки, надійності та ефективності використання територій.

Торгівельно–розважальні центри відіграють важливу роль у формуванні міського середовища, забезпечуючи соціальну активність населення, створення робочих місць та розвиток інфраструктури.

Проектування і будівництво таких об'єктів ускладнюється необхідністю врахування комплексу архітектурних, конструктивних, інженерних та організаційно–технологічних факторів.

Особливої уваги потребить забезпечення надійності будівель і споруд, оскільки помилки на етапі проектування або будівництва можуть призвести до значних економічних втрат, зниження рівня безпеки та скорочення терміну експлуатації об'єкта.

У разі розміщення будівель на ділянках зі складним рельєфом або в умовах впливу несприятливих природних чинників ці питання набувають ще більшої ваги.

У цьому зв'язку актуальним є комплексний підхід до розроблення проєктних рішень, який поєднує архітектурно–планувальні рішення, інженерні розрахунки несучих і огорожувальних конструкцій, організацію будівельного виробництва, економічне обґрунтування та заходи з охорони праці.

Важливим складником такого підходу є наукове обґрунтування рішень, спрямованих на підвищення надійності та стійкості будівельних конструкцій протягом усього життєвого циклу об'єкта.

РОЗДІЛ 1. АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ

1.1 Генеральний план ділянки

Вертикальне планування території виконано з урахуванням фактичних відміток рельєфу та необхідністю забезпечити організований відвід дощових і талих вод у наявні елементи водовідведення. Геометрія проїздів, тротуарів і майданчиків сформована таким чином, щоб вода самопливом відводилася від будівлі та не накопичувалася біля фундаменту.

Навколо споруди передбачено облаштування тротуару з плиткового покриття, що запобігає ерозії ґрунту та забезпечує зручне пересування відвідувачів і працівників. Під'їзна дорога запроєктована з асфальтобетонним покриттям та нормативними поздовжніми й поперечними ухилами, достатніми для ефективного водовідведення.

На території розміщено дві автостоянки: для відвідувачів і для персоналу, із виділенням місць, доступних для маломобільних груп населення, позначених відповідними інформативними знаками та розміткою. Передбачено благоустрій із рекреаційною зоною, включаючи альтанки, лавки та пішохідні доріжки.

Для забезпечення пожежної безпеки організовано під'їзд пожежної техніки уздовж довгих фасадів будівлі. Ширина проїздів і воріт забезпечує безперешкодний рух пожежних автомобілів. На ділянці між будівлею та пожежним проїздом не розміщуються елементи, які можуть перешкоджати роботі автодрабин чи підйомників. Конструкція дорожнього покриття розрахована з урахуванням навантаження від пожежної техніки.

Для запобігання забрудненню території передбачено встановлення контейнерів для збирання відходів, що утворюються під час експлуатації об'єкта. Організовано озеленення з використанням дерев, кущів та газонів, що формують комфортне середовище та покращують екологічний стан території.

Пішохідні шляхи спроектовані з дотриманням вимог доступності для маломобільних груп населення: ухили не перевищують нормативні значення,

бордюри на переходах понижені, а маршрути руху забезпечують безпечно пересування по всій території комплексу.

Техніко-економічні показники генплану наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – ТЕП генплану

№	Найменування	од. вим.	Кількість
1	Площа території	м ²	9348.4
2	Площа забудови	м ²	809.0
3	Коефіцієнт забудови	-	0.1
4	Площа доріг, тротуарів, майданчиків	м ²	5201.0
5	Площа озеленення	м ²	2686.7
6	Коефіцієнт озеленення	-	0.3

1.2 Огляд об'ємно-планувальних рішень

Об'ємно-планувальне рішення будівлі сформоване з урахуванням раціонального розміщення на ділянці, забезпечення природного освітлення та зручності користування для персоналу й відвідувачів. Споруда має прямокутну форму в плані з габаритами 25,2×28,6 м у осях. Будівля двоповерхова: висота першого поверху становить 4,2 м, другого — 3,4 м; позначкою ±0,000 прийнято рівень чистої підлоги.

Функціональна організація передбачає поділ простору за призначенням і окремі входи для зручності експлуатації. Основний вхід розташований з боку головного фасаду й обладнаний скляними дверима. Планування поверхів формують легкі перегородки, що утворюють торгові павільйони. На першому поверсі розміщено вестибюль, офісні приміщення, склади, санвузли, буфет та ігрову рекреаційну зону. На другому — хол, санітарні вузли та додаткова рекреаційна зона.

Вертикальне сполучення забезпечується двомаршевими монолітними залізобетонними сходами, а на бічних фасадах розміщені зовнішні пожежні металеві сходи. Основні стіни виконано з керамзитоблока товщиною 400 мм із подальшим утепленням і влаштуванням вентиляованого фасаду. Передбачено також перегородки з цегли товщиною 120 мм, скляні перегородки 50 мм, гіпсокартонні 100 мм та сантехнічні перегородки з ламінованої плити.

Архітектурне вирішення фасадів виконане з використанням сучасних матеріалів: облицювання алюмокомпозитними панелями, керамогранітною плиткою по цоколю та сходах, тонованими вітражними системами. Дах двосхилий, із покрівлею з оцинкованого профнастилу з полімерним покриттям по металевих фермах. Водостік — зовнішній організований, із жолобами та водостічними трубами.

1.3 Прийняті конструктивні рішення

Будівля має прямокутну конфігурацію в плані з габаритами 25,2×28,6 м у осях.

Конструктивна схема — монолітний залізобетонний рамний каркас із заповненням стіною кладкою.

У поздовжньому напрямку крок колон становить 6,3 м, у поперечному — 7,15 м. Фундаменти запроектовані монолітні залізобетонні, під колони 400×400 мм. Глибина їх закладення визначена з урахуванням інженерно-геологічних характеристик, сезонного промерзання та експлуатаційних умов і становить –2,10 м. Позначка обрізу фундаменту прийнята –0,40 м.

Для армування каркасу застосовується сталь діаметром 36, 32, 28, 25, 20 та 8 мм, бетон передбачено класу С16/20. Зовнішні стіни виконуються з блоків товщиною 400 мм на розчині М100 зі спеціальними добавками, утеплюються мінераловатною теплоізоляцією та облицовуються фасадними касетами (рис. 1.1).

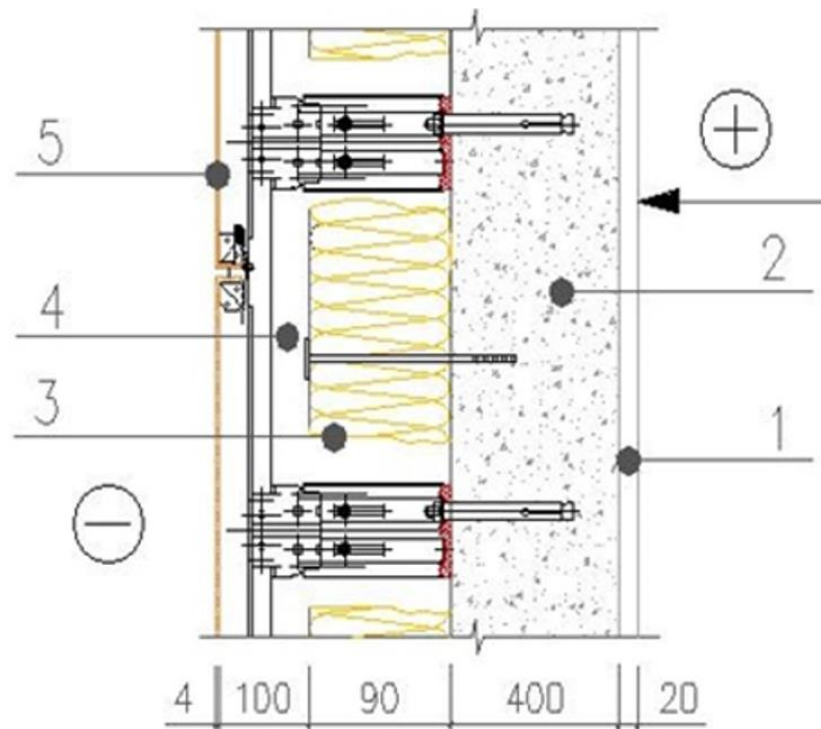


Рисунок 1.1 – Схема зовнішньої стіни

1 – алюмокомпозитні панелі 4 мм; 2 – повітряний прошарок 4 мм; 3 – утеплювач ISOVER 90–100 мм, 4 – Керамзитні блоки 400 мм, 5 – цементно-піщаний розчин 20 мм

Для передавання навантажень від зовнішніх стін і внутрішніх перегородок на фундамент у проєкті застосовано монолітні фундаментні балки прямокутного перерізу заввишки 500 мм. Їх встановлення здійснюється на припливи фундаментів через шар розчину марки М100 товщиною 20 мм. Каркас будівлі формують монолітні залізобетонні рами з колонами квадратного перерізу 400×400 мм. У залізобетонних балках на відмітці +8.000 передбачено встановлення закладних деталей для монтажу ферм покриття.

Перекриття виконано із використанням збірних круглопустотних плит довжиною 6,3 м та 4,5 м, шириною 1,2 м і 1,5 м, товщиною 220 мм. Покриття будівлі формує односхила система сталевих кроквяних ферм і балок із настилом із профнастилу. Зовнішні стіни вентильованої конструкції облицьовуються алюмокомпозитними панелями.

Сполучення між поверхами забезпечують двомаршеві монолітні залізобетонні сходи, а на бокових фасадах розташовані зовнішні пожежні металеві сходи. Отвори у стінах перекриваються монолітними залізобетонними перемичками типу бруса, заведення яких у кладку забезпечує надійну передачу навантаження.

Віконні прорізи заповнюються ПВХ-конструкціями індивідуальних розмірів, а на головному фасаді застосовані панорамні світлопрозорі системи на металевій підсистемі. Використання тонованого скління запобігає надмірній інсоляції в літній період. Усі вікна — двокамерні, що відповідає вимогам енергоефективності, та мають можливість повного відкриття для провітрювання.

У будівлі передбачено декілька типів перегородок залежно від функціонального призначення приміщень. Основні перегородки виконані з цегли КР 75/120/15 товщиною 120 мм. Додатково застосовуються скляні перегородки товщиною 50 мм, гіпсокартонні перегородки товщиною 100 мм та сантехнічні конструкції з ламінованої плити ДСП товщиною 20 мм.

Покрівля запроєктована багатошаровою. Конструкція включає профнастил висотою 60 мм, обрешітку, прогони, гідроізоляційний шар, утеплювач «Isover» товщиною 150 мм, пароізоляцію та несучі металеві ферми. Знизу металевих ферм улаштовується підшивна стеля, рівень низу якої становить +7.900.

Типи підлог прийняті відповідно до призначення приміщень, що забезпечує необхідні експлуатаційні характеристики та комфортні умови користування.

1.4 Оздоблення торговельного центру

Оздоблення фасадів торговельного центру виконано алюмокомпозитними панелями, загальна площа облицювання становить 8552 м².

Застосування алюмокомпозиту забезпечує довговічність, стійкість до атмосферних впливів та сучасний архітектурний вигляд будівлі. Внутрішнє опорядження приміщень виконано відповідно до їх функціонального призначення. У торговельних залах застосовані підвісні стелі по алюмінієвих напрямних, декоративна штукатурка зі синтетичними емалями та наливні поліуретанові покриття підлоги.

В офісних приміщеннях передбачено штукатурення та фарбування стін водоемульсійними фарбами, а покриття підлоги виконане з ламінату. Санітарні приміщення опоряджено керамічною плиткою на стінах та підлозі, зі стелями на основі силікатного забарвлення. У коридорах, сходових клітках та холах застосовано підвісні стелі, декоративне стінове оздоблення та великоформатну керамічну плитку для підлоги.

Складські та підсобні приміщення мають просте опорядження зі затіркою та фарбуванням, а підлога виконана з бетонної стяжки з поліуретановим покриттям.

Приміщення для персоналу та тамбури оснащено підвісними стелями, пофарбованими стінами й керамічним покриттям підлоги.

1.5 Інженерні мережі будівлі

Система водопостачання будівлі передбачає господарсько-питний, протипожежний та гарячий водопровід, а також господарсько-побутову каналізацію. Джерелом холодної води є діюча мережа діаметром 100 мм, у точці підключення встановлюється вузол обліку.

Зовнішні трубопроводи водопостачання виконуються з напірних поліетиленових труб, прокладених на глибині до 1,5 м. Внутрішні мережі холодної води монтуються з поліпропіленових труб, які у місцях перетину конструкцій прокладаються в сталевих гільзах із протипожежним ущільненням зазорів.

Усі металеві мийки закріплюються жорстко до будівельних конструкцій, щоб не передавати зусилля на полімерні трубопроводи. На мережах передбачено встановлення запірної арматури на стояках, розгалуженнях та підводках до обладнання.

Водопровідні стояки розміщуються у нішах санвузлів, з урахуванням розташування каналізаційних стояків. Гаряча вода готується у закритій системі теплового пункту, трубопроводи виконані з армованого поліпропілену.

Будівля обладнана господарсько-побутовою каналізацією. Відведення стічних вод здійснюється самопливом по системі внутрішніх трубопроводів, що включає відвідні лінії, стояки, випуски та пристрої для очищення. Каналізаційна система забезпечує повне відведення стічних вод від санітарних приладів і технологічного обладнання.

Внутрішня система каналізації будівлі організована як самоплинна. Відвідні труби від санітарних приладів прокладаються по стінах, підлозі або підвішуються під перекриттям нижнього поверху, транспортують стічні води до каналізаційних стояків.

Стояки приймають стоки з усіх поверхів і забезпечують вентиляцію мережі; їх розміщують біля санітарних приладів, головно біля унітазів, відкрито або в борознах. Випуски прокладаються через фундамент у спеціально передбачені отвори з подальшим ущільненням, а оглядовий колодязь розміщується на відстані не менше 2 м від будівлі. Глибина закладення випусків відповідає рівню зовнішньої каналізаційної мережі.

Будівля обладнана місцевою системою водяного опалення. Схема двотрубна з нижнім розташуванням магістралей і природною циркуляцією теплоносія.

Магістральні трубопроводи, стояки та підводки виконані з армованого поліпропілену, приховано розміщені у нішах.

Як нагрівальні прилади використано сталеві радіатори, із встановленням запірної арматури та автоматичних повітровідвідників. Подаючі магістралі проходять по підлозі першого поверху.

Вентиляція запроєктована як припливно-витяжна з механічним спонуканням і рекуперацією тепла. Система реалізована на основі припливно-витяжних установок RIVS торгової марки «VENTREX», що включають фільтри, пластинчастий теплообмінник, байпас, водяний нагрівач та окремі вентилятори припливного й витяжного повітря. Роботу та захист нагрівачів від замерзання забезпечує автоматизована система керування.

Повітроводи виготовлені з оцинкованої сталі, на припливних і витяжних лініях встановлено шумоглушники для зниження аеродинамічного шуму.

Проектовану будівлю розміщено на території з дотриманням протипожежних вимог та забезпеченням під'їзду пожежної техніки по проїзду з твердим покриттям. Джерелом зовнішнього пожежогасіння є існуючий пожежний гідрант, розташований на відстані близько 150 м.

Дерев'яні елементи конструкцій передбачено обробити вогнезахисними матеріалами, а у місцях проходження пластмасових труб через стіни та перегородки встановлюються протипожежні муфти для запобігання поширенню полум'я.

Планувальні рішення забезпечують організацію евакуації через центральні виходи. З другого поверху вихід здійснюється сходовими клітинами, які мають природне освітлення й відповідають вимогам щодо ширини маршів, розмірів проступів і майданчиків, що гарантує безпечний рух людей.

Двері на шляхах евакуації відчиняються у напрямку виходу з будівлі. Інженерні мережі, що проходять через стіни, прокладаються у негорючих гільзах; повітропроводи передбачені з негорючих матеріалів.

У будівлі впроваджено комплекс систем протипожежного захисту: автоматичну пожежну сигналізацію, систему оповіщення та евакуаційне

освітлення. Використовуються димові оптико-електронні сповіщувачі для раннього виявлення задимлення, а також ручні пожежні сповіщувачі у коридорах і на сходових клітинах.

Сигналізаційна мережа прокладається приховано, переважно в зоні підвісних стель. Централізоване керування системою здійснюється приймально-контрольним пристроєм з автономним акумуляторним живленням, що забезпечує тривалу роботу у разі знеструмлення.

Слаботочні системи будівлі включають телефонну та комп'ютерну мережі, інтернет, систему охоронної та пожежної сигналізації, відеоспостереження й аварійне освітлення.

Телефонізація виконується через комутаційне обладнання, а система пожежної сигналізації працює за адресно-аналоговим принципом, забезпечуючи точне визначення місця спрацювання. Усі системи інтегровані таким чином, щоб забезпечити безперервний моніторинг та підвищений рівень безпеки об'єкта.

1.6 Теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій

Теплотехнічний розрахунок зовнішніх стін виконано відповідно до кліматичних умов міста Запоріжжя, де розташований проєктований об'єкт. До розрахунку прийнято такі параметри зовнішнього середовища: барометричний тиск 101 кПа, розрахункова швидкість вітру 5,1 м/с, температура зовнішнього повітря для проєктування мінус 21 °С. Середня температура протягом опалювального періоду становить мінус 0,6 °С, тривалість опалювального періоду — 166 діб.

Умови експлуатації огорожувальних конструкцій визначено з урахуванням тепловологісного режиму приміщень, характерного для будівель у місті Запоріжжя. Для об'єкта встановлено нормальний режим експлуатації огорожувальних конструкцій та важкий тип конструкцій у період опалення.

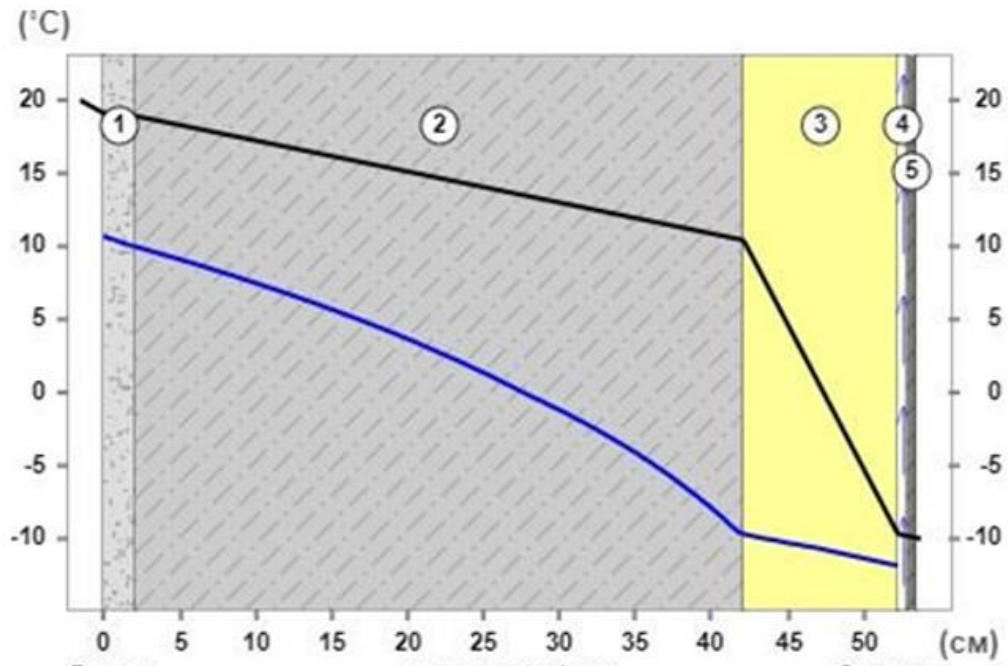


Рисунок 1.2 – Загальний принцип розрахунку термічного опору багат шарової конструкції

Використовуючи графічний метод будуюмо згідно рис. 1.2 конструкцію стіни, а саме:

1. Цементно-піщаний розчин $\delta = 20$ мм; $\lambda = 0,76 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{С}}$;
2. Кладка з керамзитобетонних блоків 1000 кг/м^3 $\delta = 400$ мм; $\lambda = 0,36 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{С}}$;
3. Мінеральна (кам'яна) вата $75\text{--}120 \text{ кг/м}^3$ $\delta = X$ мм; $\lambda = 0,042 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{С}}$;
4. Вентильований повітряний прошарок $\delta = 4$ мм
5. Алюмінієві панелі $\delta = 4$ мм;

Отримані кліматичні дані є вихідними для подальших етапів теплотехнічного аналізу. Оскільки м. Запоріжжя відноситься до II кліматичного району, то мінімальний опір теплопередачі складає (1.1):

$$R_{qmin} = 3,50 \frac{\text{м}^2 \times \text{С}}{\text{Вт}} \quad (1.1)$$

Щоб огорожувальна конструкція забезпечувала нормативний рівень теплового захисту, повинна виконуватися відповідна умова щодо допустимого опору теплопередачі (1.2):

$$R_{q,min} < R_{q,пр} \frac{\text{м}^2 \times \text{С}}{\text{Вт}} \quad (1.2)$$

Тобто фактичний, або приведений, опір теплопередачі повинен бути не меншим за нормативне значення $R_{q,min}$. Для обчислення фактичного опору теплопередачі $R_{q,пр}$ враховують тип огорожувальної конструкції та кліматичну зону розташування об'єкта.

Оскільки потрібна товщина теплоізоляції наперед невідома, її визначають за допомогою оберненої формули (1.3):

$$\delta_{ут} = \left[R_0^{тп} - \left(\frac{1}{h_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{h_{ext}} \right) \right] \cdot \lambda_{ут}, \text{ м} \quad (1.3)$$

де h_{int} – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$;

h_{ext} – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$;

δ_i – товщина i -го шару конструкції, м;

λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалу i -го шару, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С})$.

Підставляємо значення та розраховуємо:

$$R_{q\ min} = \frac{1}{23,0} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,4}{0,36} + \frac{X}{0,042} + \frac{0,004}{0,022} + \frac{1}{8,7}$$

Таким чином, визначаємо невідомі товщину утеплювача X , підставивши значення в формулу (1.3):

$$X = \left(3,5 - \frac{1}{23,0} - \frac{0,02}{0,76} - \frac{0,4}{0,36} - \frac{0,004}{0,022} - \frac{1}{8,7} \right) \cdot 0,042 = 0,088 \text{ м}$$

За підсумками розрахунку товщину теплоізоляційного шару приймають за найближчим стандартним значенням відповідно до наявної номенклатури матеріалів.

Як утеплювач обрано мінераловатну плиту ISOVER товщиною 90 мм.

Визначаємо фактичний опір теплопередачі (1.5):

$$R_{q, \text{пр}} = \frac{1}{h_{\text{int}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{h_{\text{ext}}}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} \quad (1.5)$$

$$R_{q, \text{пр}} = \frac{1}{23,0} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,4}{0,36} + \frac{0,09}{0,042} + \frac{0,004}{0,022} + \frac{1}{8,7} = 3,62$$

Таким чином, умова (1.2) виконується.

$$R_{q, \text{min}} = 3,5 \frac{\text{м}^2 \times \text{C}}{\text{Вт}} < R_{q, \text{пр}} = 3,62 \frac{\text{м}^2 \times \text{C}}{\text{Вт}}$$

Остаточно приймаємо товщину утеплювача 90 мм.

1.7 Розрахунок класу наслідків (відповідальності) житлової будівлі

Розрахунок № КН - 31

класу наслідків (відповідальності) для об'єкта будівництва:

«Торгівельно-розважальний центр в м. Запоріжжя»

При визначенні класу наслідків (відповідальності) об'єкта використовувались наступні документи:

1. Закон України від 17.02.2011 №3038-VI «Про регулювання містобудівної діяльності» (з урахуванням змін та доповнень).

2. ДСТУ 8855:2019 «Визначення класу наслідків (відповідальності)».

3 ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд».

4 «Методика оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру», що затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 р. №175.

Відповідно до п.4.4 ДСТУ 8855:2019 клас наслідків (відповідальності) визначається за кожною характеристикою таблиці 1, додатково враховується стаття 32 Закону України від 17.02.2011 №3038-VI «Про регулювання містобудівної діяльності» (з урахуванням змін та доповнень), а також розділ 5 ДБН В.1.2-14:2018 та додаткові умови за п.4.15 ДСТУ 8855:2019.

Визначення класу наслідків (відповідальності) об'єкта

4 Можлива небезпека для здоров'я та життя людей, які постійно знаходяться на об'єкті (кількість людей) - 290.

За цією характеристикою об'єкт відноситься до класу наслідків – СС2.

5 Можлива небезпека для здоров'я та життя людей, які періодично знаходяться на об'єкті (кількість людей) - 145.

За цією характеристикою об'єкт відноситься до класу наслідків - СС2.

6 Можлива небезпека для життєдіяльності людей, які перебувають зовні об'єкта (кількість людей) - 500.

За цією характеристикою об'єкт відноситься до класу наслідків - СС2.

7 Можливі матеріальні збитки оцінюються витратами, пов'язаними як з необхідністю відновлення об'єкта, що відмовив, так і з побічними збитками (збитки від зупинки виробництва, втрачена вигода).

Прогнозований обсяг збитку від можливого руйнування чи пошкодження об'єкту згідно з ДСТУ 8855:2019 п.4.12 розраховується за формулою:

$$\Phi = c \times P \left(1 - \frac{1}{2} T_{ef} \times K_{a,i}\right)$$

де:

Φ – прогнозовані збитки, грн.: ;

c – коефіцієнт, що враховує відносну долю вартості об'єкта, повністю втраченої під час аварії. Значення c можна оцінювати при аналізі сценарію розвитку аварії: (0,45);

P – вартість об'єкта, визначена на підставі КНУ «Настанова з визначення вартості будівництва» або за об'єктом-аналогом, грн.;

T_{ef} – середнє значення розрахункового строку експлуатації об'єкта, років: (100);

$K_{a,i}$ – коефіцієнт амортизаційних відрахувань: (0,01).

Прогнозований обсяг збитку від можливого руйнування об'єкта дорівнює:

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,45 * 28\,548\,000 * (1 - 1/2 * 100 * 0,01) \\ &= 6\,423\,300 \text{ грн.}\end{aligned}$$

Можливі матеріальні збитки та/чи соціальні втрати від відмови об'єкта оцінюють, керуючись «Методикою оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру» та розраховують за формулою (1) цієї Методики. Ці збитки складають:

$$\Phi = 0 \text{ грн}$$

Загальний обсяг збитків дорівнює:

$$\Phi = 6\,423\,300 + 0 = 6\,423\,300 \text{ грн.}$$

обсяг можливого економічного збитку у м.р.з.п. складає:

$$6\,423\,300 / 8000 = 802,91 \text{ м.р.з.п.}$$

За цією характеристикою об'єкт відноситься до класу наслідків – СС1.

8 Спорудження об'єкта не загрожує призупиненням функціонування лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, об'єктів комунікації, зв'язку, енергетики та інженерних мереж .

За цією характеристикою об'єкт відноситься до класу наслідків - СС1.

9 Додаткові умови згідно з пунктом 4.15 ДСТУ 8855:2019:

- Житлові будинки понад чотири поверхи - СС2.

Висновок. Відповідно до п.6 статті 32 Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» (з урахуванням змін та доповнень), а також п.4.4 ДСТУ 8855:2019 клас наслідків (відповідальності) для даного об'єкту встановлюється за найвищою характеристикою можливих наслідків, отриманих за результатами розрахунків, тобто «Торгівельно-розважальний центр в м. Запоріжжя» відноситься до класу наслідків (відповідальності) - СС2.

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

2.1 Проектування багатопустотної плити перекриття

2.1.1 Збір навантажень

Залізобетонні багатопустотні плити перекриття розглядаються в розрахунку як балки, що спираються на шарнірно-рухливі опори (рис. 2.1).

Розрахунковий проліт плити визначають з урахуванням фактичних вузлів її опирання на цегляну стіну і для заданої схеми становить

$$l_p = 6300 - 120 = 6180 \text{ мм}$$

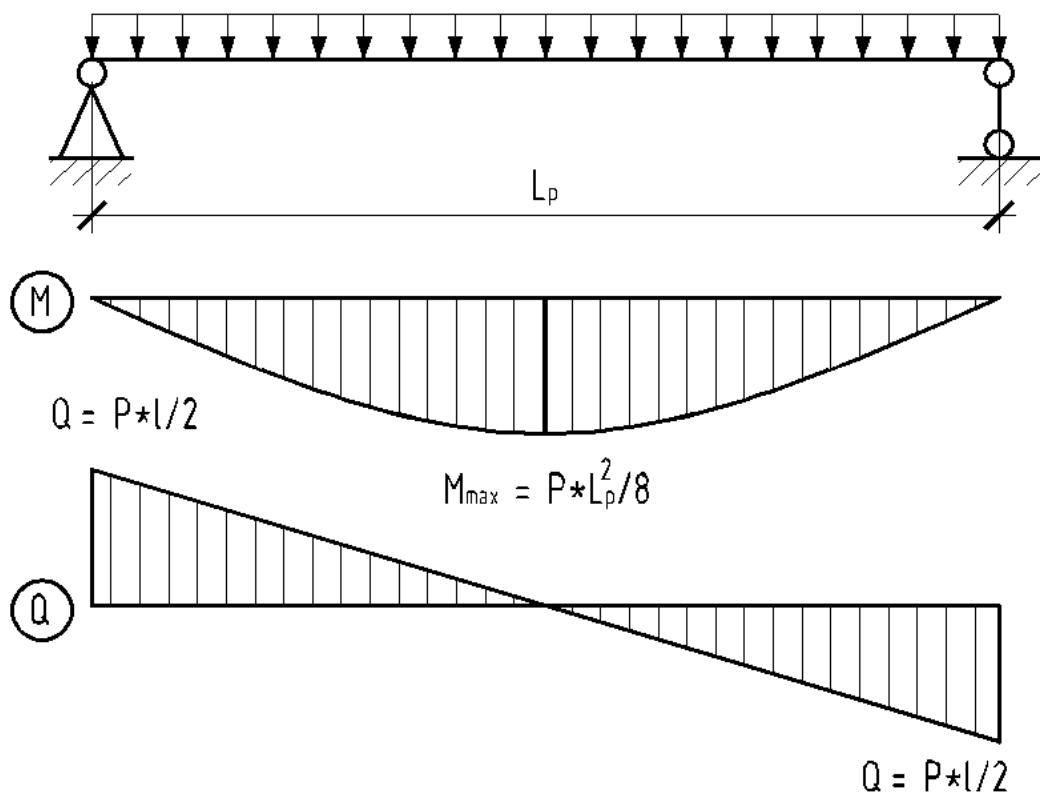


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема

Збір навантаження виконано в табличному вигляді та наведено в табл.

2.1.

Таблиця 2.1 – Збір навантажень на плиту перекриття

Вид навантаження	Норматив. навантаження, Н/м ²	Коефіцієнт надійності за		Розрахункове навантаження, Н/м ²
		навантаженням	за призначенням	
1	2	3	4	5
Постійна від ваги:				
- лінолеум на прошарці з швидкотвердіючої мастики (t=0,006м,=1700 кг/м ²);	102	1,2	1	122,4
- стяжки з легкого бетону класу С8/10 (t=0,05м, =1200 кг/м ³);	600	1,2	1	720
- гідроізоляції (1 шар руберойду) (g = 50 Н/м ²);	50	1,2	1	60
- звукоізоляційний шар (t = 0,024м, = 250 кг/м ³);	60	1,2	1	72
- плита перекриття (t=0,11м, 2500 кг/м ³)	2750	1,1	1	3025
РАЗОМ:	g _n = 3562	-	-	g = 3999,4
Тимчасова	1500	1,2	1	1800
ВСЬОГО:	g _n = 5062	-	-	g = 5799,4

Визначаємо розрахункове погонне навантаження за формулою (2.1):

$$P = q_p * a, \frac{\text{кН}}{\text{м}} \quad (2.1)$$

$$P = 7,25 * 1,5 = 10,88 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

Характеристичне погонне навантаження визначається за формулою (2.2):

$$P_n = q_n * a, \frac{\text{кН}}{\text{м}} \quad (2.2)$$

$$P_n = 6,04 * 1,5 = 9,06 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

2.1.2 Розрахунок міцності по нормальним перерізам

Клас напружуваної стрижневої арматури для плити приймаємо А600.

Бетон плити прийнято мінімально допустимого класу для цього типу напруженої арматури – С16/20.

Для спрощення подальших розрахунків багатопустотну плиту замінюємо еквівалентним двотавровим перерізом: круглі порожнини замінюються квадратами зі стороною, що дорівнює діаметру порожнини $d = 0,159$ м (рис. 2.2).

Розрахункова ширина верхньої та нижньої полиць плити визначається як різниця між повною шириною плити та відступом по $0,03$ м з кожного боку (2.3):

$$b'_f = b_f, \text{ м}$$

$$b_{\text{п}} - 0,03 = 1,49 - 0,03 = 1,46 \text{ м} \quad (2.3)$$

Розрахункова товщина полиць h'_f встановлюється як половина різниці між загальною висотою плити та діаметром порожнини (2.4):

$$h'_f = h_f = \frac{h - d}{2}, \text{ м}$$

$$h'_f = \frac{0,22 - 0,159}{2} = 0,0305 \text{ м} \quad (2.4)$$

Ширина ребра b обчислюється з урахуванням кількості порожнин n та їх діаметра (2.5):

$$b = b'_f - n * d, \text{ м}$$

$$b = 1,46 - 7 * 0,159 = 0,347 \text{ м} \quad (2.5)$$

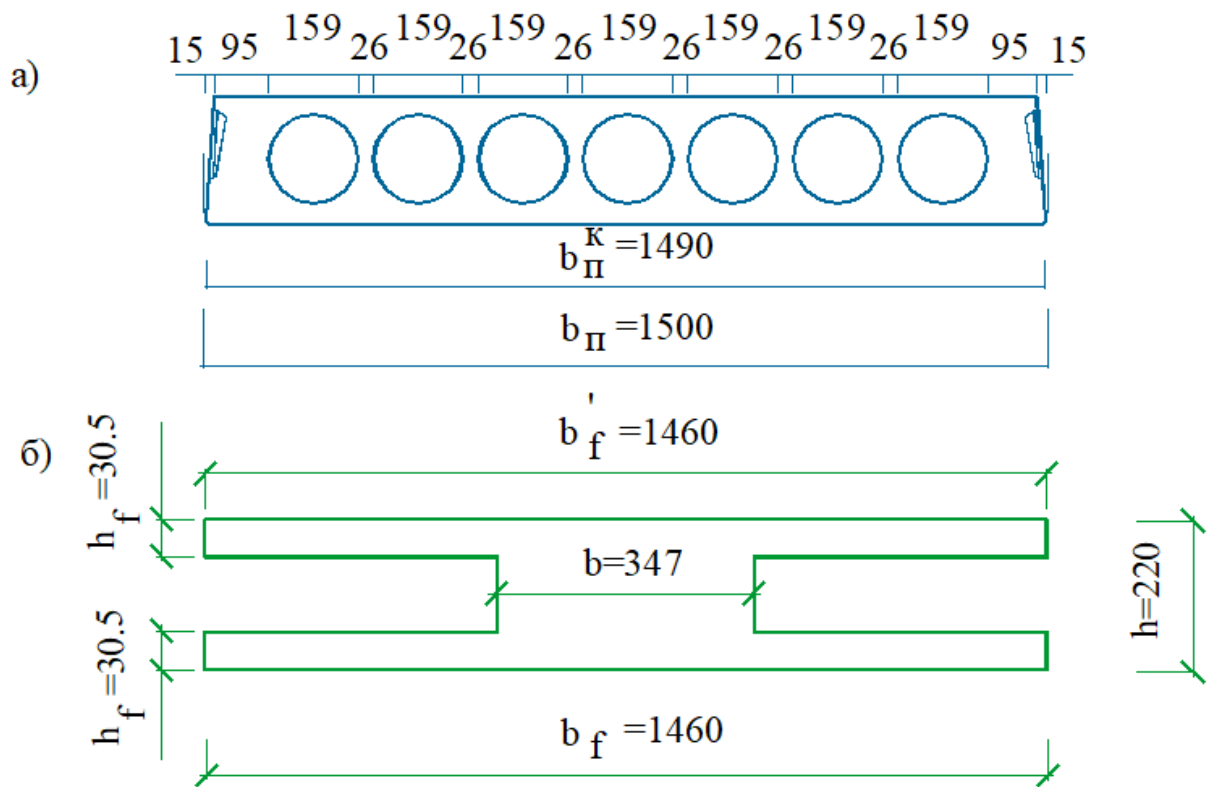


Рисунок 2.2 – Поперечний переріз багатопустотної плити перекриття
а – фактичний переріз, б – приведений двотавровий переріз

Для визначення необхідності встановлення стиснутої арматури у верхній полиці використовуємо формулу (2.6):

$$A_{SC} = \frac{M - \alpha_R f_{cd} \times b (h_0)^2 - f_{cd} \times (b_f - b) \times h_f' (h_0 - \frac{h_f'}{2})}{f_{ywd} (h_0 - a_s)} \quad (2.6)$$

де ξ_R – гранична відносна висота стиснутої зони, 0,502;

α_R – коефіцієнт приведення для бетону = 0,376;

h_f' – товщина полиці, м;

h_0 – робоча висота перерізу, м;

f_{cd} – розрахунковий опір бетону, МПа;

f_{ywd} – міцність арматури на стиск, МПа;

M – розрахунковий момент, кН×м, визначається за формулою (2.7):

$$M = \frac{P \times L_p^2}{8}, \text{кН} \times \text{м}$$

$$M = \frac{10,88 \times 6,18^2}{8} = 51,94 \text{кН} \times \text{м} \quad (2.7)$$

Робочу висоту січення прийнято $h_0 = 0,20$ м (із урахуванням захисного шару).

Таким чином:

$$A_{sc} = -0,0025 \text{ м}^2$$

Після підстановки значень у розрахунковий вираз для площі стиснутої арматури A_s отримано від'ємне значення $A_s \approx -0,0025 \text{ м}^2$, що свідчить про відсутність потреби у розміщенні стиснутої арматури за розрахунком.

Тому з конструктивних міркувань у стиснутій зоні приймається мінімальне армування – стрижні $\varnothing 4$ В500 з кроком 200 мм у вигляді конструктивної сітки: $C1 \frac{4B500-200}{4B500-250(50)} 6250 \times 1430 \frac{15}{25}$

У подальшому розглядається поперечний переріз плити: відстань від центра напруженої арматури до нижнього краю січення прийнято $a_{sp} = 0,05$ м.

Відповідно робоча висота січення уточнюються як $h_0 = h - a_{sp} = 0,17$ м.

Додатково перевіряється, що межа стиснутої зони розташована в межах полиці. Для цього визначається опір стисненої зони (2.7):

$$f_{cd} * b'_f * h'_f * (h_0 - 0,5 * h'_f)$$

$$11500 * 1,46 * 0,0305 * (0,17 - 0,5 * 0,0305) = 79,25 \text{кН} \times \text{м} \quad (2.8)$$

$$79 \text{кН} \times \text{м} > M_{\max} = 52 \text{кН} \times \text{м}$$

У результаті отримано опір $79,25 \text{кН} \cdot \text{м}$, що перевищує $M_{\max} = 51,94 \text{кН} \cdot \text{м}$, тому стиснута зона дійсно знаходиться в полиці, і плиту можна

розраховувати як елемент із прямокутним приведеним перерізом шириною b
 $= bf = 1,46$ м.

Далі обчислюється безрозмірний параметр α_m , що характеризує навантаженість перерізу відносно його несучої здатності (2.9):

$$\alpha_m = \frac{M_{max}}{f_{cd} * b * h_{02}} = \frac{51,94}{11500 * 1,46 * 0,17 * 0,17} = 0,11 \quad (2.9)$$

За результатами розрахунку $\alpha_m = 0,11$.

Для добору напруженої арматури, при невідомому точному значенні σ_{sp} , прийнято рекомендоване відношення $\sigma_{sp} / f_{yw} \approx 0,6$.

Для арматури класу А600 це відповідає граничній відносній висоті стиснутої зони $\xi_R = 0,43$, а відповідний коефіцієнт $\alpha_R = 0,338$.

Оскільки $\alpha_R > \alpha_m$, це додатково підтверджує, що стиснута арматура не потрібна.

Фактична відносна висота стиснутої зони ξ визначається за розрахунковим виразом (2.10):

$$\alpha_R = \alpha_R \times \left(1 - \frac{\alpha_R}{2}\right) \quad (2.10)$$

$$\alpha_R = 0,43 * \left(1 - \frac{0,43}{2}\right) = 0,338 > \alpha_m = 0,11$$

У результаті одержано $\xi \approx 0,117$. Коефіцієнт умов роботи напруженої арматури γ_{s3} уточнюється з урахуванням співвідношення ξ/ξ_R і за формулою приймає значення $\gamma_{s3} \approx 1,18$, яке за умовами розрахунку обмежується до $\gamma_{s3} = 1,1$:

$$\xi = 1 - (1 - 2 * \alpha_m) * 0,5 \quad (2.11)$$

$$\xi = 1 - (1 - 2 * 0,11) * 0,5 = 0,117$$

$$\gamma_{s3} = 1,25 - 0,25 * \frac{\xi}{\xi_R}$$

$$\gamma_{s3} = 1,25 - 0,25 * \frac{0,117}{0,43} = 1,18 > 1,1$$

Після цього визначається потрібна площа напруженої арматури A_{sp} за формулою (2.12):

$$A_{sp} = \frac{\xi \times f_{cd} \times b \times h_0}{\gamma_{s3} * \gamma_{ywd}}, \text{ м}^2$$

$$A_{sp} = \frac{0,117 * 11,5 * 1,46 * 0,17}{1 * 520} =$$

$$= 0,000640 \text{ м}^2 = 6,42 \text{ см}^2 \quad (2.12)$$

Кінцеве значення визначається як $6,42 \text{ см}^2$. З урахуванням стандартного сортаменту і вимог до монтажу прийнято подовжню напружену арматуру у вигляді чотирьох стрижнів $4\text{Ø}16 \text{ A}600$ із сумарною площею $A_{sp} = 8,04 \text{ см}^2$, що забезпечує необхідний запас міцності та надійність роботи багатопустотної плити перекриття.

2.1.3 Розрахунок плити по похилим перерізам

Для багатопустотної попередньо напруженої плити виконується перевірка міцності за дією поперечної сили у приопорній зоні. Визначення поперечної сили проводиться для ситуації найбільшого навантаження, що відповідає несприятливому поєднанню постійних та тимчасових складових.

Максимальна поперечна сила визначається за формулою (2.13):

$$Q_{\max} = 10,88 \times \frac{6,18}{2} = 33,62 \text{ кН} \quad (2.13)$$

де Q_{max} – найбільше значення поперечної сили в опорному перерізі;
 Перевірка можливості роботи без поперечної арматури
 Міцність плити без хомутив визначається за формулою (2.14):

$$Q_{max} < 2,5 \times f_{cdt} \times b \times h_0, \text{ кН} \quad (2.14)$$

$$33,62 \text{ кН} < 2,5 * 0,9 * 1000 * 0,347 * 0,17 = 132,72 \text{ кН}$$

де f_{cdt} – розрахунковий опір бетону розтягання, МПа;

b – найменша робоча ширина перерізу, м;

h_0 – робоча висота перерізу, м.

Після підстановки отримано:

$$33,62 \text{ кН} < 132,72 \text{ кН} \text{ – умова виконується.}$$

Таким чином, це свідчить про те, що поперечні хомути не є обов'язковими з точки зору міцності. Вони встановлюються виходячи лише з конструктивних міркувань.

2.1.4 Додаткова перевірка за похилими перерізами

Загальна умова має вигляд (2.15):

$$Q \leq Q_b, \text{ кН} \quad (2.15)$$

де Q – фактична поперечна сила, кН;

Q_b – несуча здатність похилого перерізу, кН;

$$Q_b = \frac{M_b}{c}, \text{ кН}$$

де M_b – момент тріщиностійкості, кН × м;

c – проєкція похилої тріщини на горизонталь.

Розрахунок впливу попереднього натягу

Поздовжня сила від натягу арматури (2.15):

$$N_p = 0,7 * P, \frac{\text{кН}}{\text{м}} \quad (2.16)$$

$$N_p = 0,7 * 353,76 = 247,63 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

де N_p – поздовжня сила, що діє в плиті;

P – сумарне зусилля натягу арматури.

Гранична поздовжня сила бетону (2.17):

$$N_b = 1,3 * f_{cd} * A_1, \frac{\text{кН}}{\text{м}} \quad (2.17)$$

$$N_b = 1,3 * 11,5 * 0,076 * 1000 = 1136 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

$$N_b = 1136 \text{ кН/м} > N_p = 247,63 \text{ кН/м}$$

де N_b – граничне зусилля, яке може сприйняти бетон на стиск;

f_{cd} – розрахунковий опір бетону стисненню;

A_1 – площа бетонної частини перерізу, м^2 .

$$A_1 = 34,7 \times 22 = 763,4 \text{ см}^2$$

Оскільки $N_b > N_p$, попередній натяг не перевантажує переріз плити.

Відношення поздовжніх сил (2.18):

$$\frac{N_p}{N_b} = \frac{247,63}{1136} = 0,22 \quad (2.18)$$

Значення використовують для уточнення коефіцієнта φ_n , який враховує вплив поздовжнього зусилля на тріщиностійкість (2.19):

$$\frac{N_p}{N_b} = \frac{247,63}{1136} = 0,22 \quad (2.19)$$

Коефіцієнт φ_n визначається за виразом (2.20):

$$\varphi_n = 1 + 3 * \frac{N_p}{N_b} - 4 * \left(\frac{N_p}{N_b}\right)^2 \quad (2.20)$$

$$\varphi_n = 1 + 3 * 0,22 - 4 * 0,22^2 = 1,466$$

де φ_n – параметр, що враховує зміну напружено-деформованого стану в похилих перерізах при наявності надлишкового поздовжнього стиску.

Момент тріщиностійкості похилого перерізу M_b (2.21):

$$M_b = 1.5 * \varphi_n * f_{cdt} * b * h_{02}, \text{кН} \times \text{м} \quad (2.21)$$

$$M_b = 1,5 * 1,466 * 0,347 * 0,17 * 0,17 = 19,85 \text{кН} \times \text{м}$$

Це значення характеризує граничний стан похилої тріщини до моменту її розвитку в небезпечну.

Поперечна тріщиностійкість

$$Q_{crc} = b * \frac{I_{red}}{S_{red}} * f_{cdt} * \left(1 + \frac{P}{f_{cdt} * A_{red}}\right) * 0,5, \text{кН} \quad (2.22)$$

$$Q_{crc} = 34,7 * \frac{167385,61}{16056,66} * 0,9 * \left(\frac{1 + \frac{353,76}{10000}}{0,9 * 1506,01}\right) * 0,5 = 32,6 \text{кН}$$

де Q_{crc} – поперечна сила, що викликає утворення тріщини, кН;

I_{red} – приведений момент інерції перерізу, $см^4$;

S_{red} – статичний момент приведенного перерізу

A_{red} – приведена площа.

Довжина проєкції похилої тріщини (2.23):

$$c = \frac{M_b}{Q_{crc}} = 0,61 \text{ м}$$

Перевірка граничної умови:

$$c = 0,61 \text{ м} > 3 \times h_0 = 0,51 \text{ м} - \text{вимога виконується.}$$

Несуча здатність похилого перерізу (2.23):

$$Q = Q_{max} - q * c, \text{ кН} \quad (2.23)$$

$$Q = 33,62 - 10,9 * 0,61 = 26,98 < Q_b = 38,9 \text{ кН}$$

Визначена максимальна поперечна сила, яку може сприйняти похилий переріз.

Оскільки $26,98 \text{ кН} < 38,9 \text{ кН}$, плита має достатній запас міцності при дії поперечної сили.

Для армування прийнято виходячи з конструктивних міркувань 3 каркаси КР1 в кожній частині плити, при цьому їх довжина має бути не менше, ніж $\frac{1}{4}$ прьоту.

Використовуємо сітку $C2 \frac{5B500-250}{4B500-75} 1790 \times 490 \frac{20}{20}$ для сприйняття зусиль обтиску при відпусканні напруженої арматури.

РОЗДІЛ 3. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Технологічна карта на монтаж вітражів фасаду

Технологічна карта на монтаж вітражів фасадів за стійково–ригельною системою розроблена відповідно до вимог чинних нормативних документів України, що регламентують виконання робіт зі зведення світлопрозорих огорожувальних конструкцій. Карта призначена для забезпечення будівельного процесу раціональними технологічними рішеннями, оптимізацією організації праці та вибором ефективних засобів механізації.

Дана технологічна карта поширюється на навісні світлопрозорі фасадні конструкції, які виконують функцію теплового зовнішнього огороження будівлі. Вітражні системи на основі стійково–ригельної схеми забезпечують необхідний рівень теплозахисту, звукоізоляції та герметичності, що створює комфортний мікроклімат у внутрішніх приміщеннях.

Монтаж таких систем передбачає точне дотримання технологічних операцій, оскільки від правильності встановлення стійок, ригелів та склопакетів залежить загальна жорсткість, міцність і довговічність фасадної конструкції.

У технологічній карті визначено порядок виконання робіт, вимоги до матеріально-технічного забезпечення, контроль якості на всіх етапах монтажу та правила охорони праці. Документ встановлює послідовність операцій монтажу, вимоги до підготовки опорних поверхонь, способи закріплення конструктивних елементів, а також правила герметизації і завершального опорядження фасаду.

Структура технологічної карти включає:

- сферу застосування;
- нормативні посилання;
- характеристики основних матеріалів і комплектуючих;
- організацію та технологію виконання робіт;
- потребу у матеріально-технічних ресурсах;

- вимоги щодо якості та допуски;
- заходи з техніки безпеки та охорони праці;
- трудові калькуляції та режим праці.

Режим виконання робіт планується з урахуванням оптимального темпу монтажу, раціональної організації робочого місця, чіткого розподілу обов'язків між членами монтажної бригади та застосування сучасного інструменту й інвентарю.

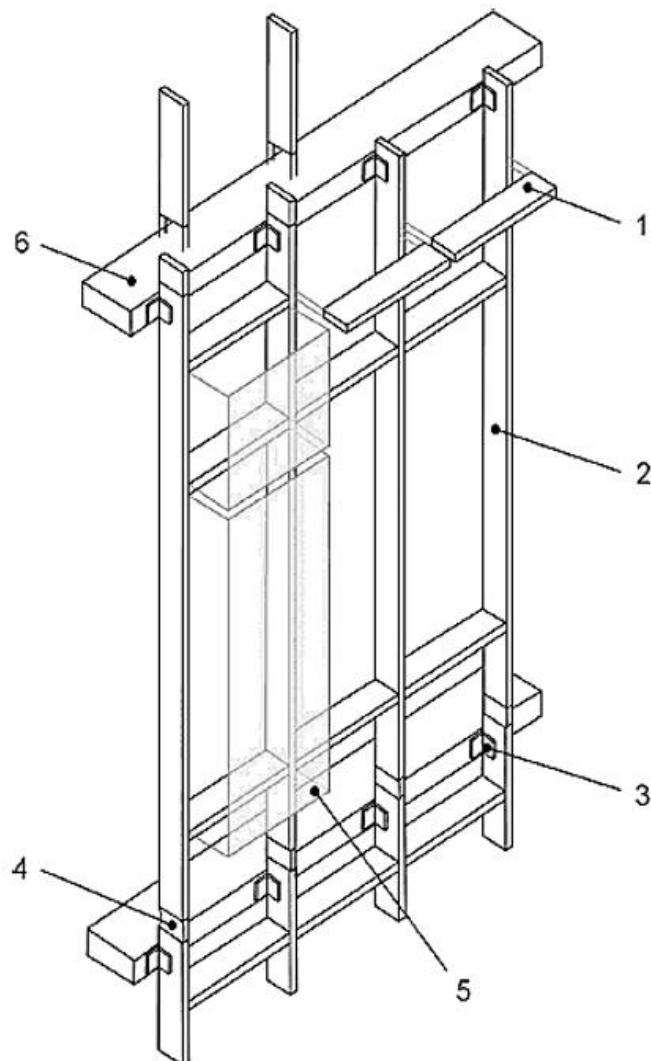


Рисунок 3.1 – Стійково-ригельна конструкція фасадна навісна
 1 – ригель, 2 – стійка, 3 – кріплення, 4 – з'єднувальний елемент, 5 – світлопрозоре заповнення, 6 – буд. основа

У межах технологічної карти не розглядаються питання монтажу «холодних» фасадів, облицювання глухих ділянок стін, встановлення внутрішніх вітражних перегородок, огорож балконів і лоджій, оскільки ці роботи належать до окремих технологічних процесів.

Технологічна карта розроблена для виконання робіт з монтажу вітражів загальною площею $S = 405,6 \text{ м}^2$, що охоплює встановлення стійково–ригельного каркаса, монтаж склопакетів, герметизацію стиків, улаштування водовідводів та завершальних декоративних елементів.

Матеріали, що застосовуються для влаштування монтажних швів у стійково–ригельних фасадних системах, повинні зберігатися у сухих, опалюваних та вентильованих приміщеннях. Умови їхнього складування мають відповідати вимогам нормативно–технічних документів, що гарантує збереження експлуатаційних властивостей герметиків, ущільнювачів, теплоізоляційних матеріалів та допоміжних комплектуючих.

Під час виконання монтажних робіт використовуються конструктивні елементи фасадної системи та матеріали, кожен з яких виконує свою функцію у формуванні світлопрозорих огорожувальних конструкцій. Анкерні елементи забезпечують надійне з'єднання стійок і ригелів з будівельною основою, передаючи навантаження на несучі елементи споруди. Герметики, що застосовуються при монтажі склопакетів та формуванні монтажних швів, повинні забезпечувати достатню адгезію та когезію для створення герметичного та водонепроникного контуру.

Дистанційні рамки у складі склопакетів формують необхідний повітряний проміжок між листами скла, забезпечують задані теплоізоляційні властивості та стабільність конструкції. Світлопрозорі огорожувальні елементи складаються з багат шарових склопакетів або інших прозорих матеріалів, тоді як глухі ділянки фасаду формуються за рахунок непрозорого заповнення, яке може включати оздоблювальні плити, утеплювач та внутрішні облицювальні шари.

Монтаж стійково–ригельної системи передбачає встановлення стійок та ригелів на будівельну основу, якою можуть бути колони, плити перекриттів або стіни. Всі конструктивні елементи повинні закріплюватися відповідно до робочих креслень та проєкту виконання робіт, який визначає технологію монтажу, використовувані ресурси, послідовність операцій і вимоги до якості.

У складі фасадної системи застосовуються різні типи монтажних кронштейнів, у тому числі точкові тримачі (спайдери), що забезпечують закріплення світлопрозорих елементів при проєктуванні фасадів зі структурним або напівструктурним типом скління. Для формування теплового бар'єра у профільних елементах застосовують термовкладиші, що підвищують енергоефективність конструкції.

Склопакети в системі виконують функцію світлопропускних елементів та складаються з двох або трьох листів скла, з'єднаних дистанційними рамками та герметизованих по контуру. Камери склопакетів заповнюються осушеним повітрям або інертним газом, що забезпечує теплотехнічні характеристики фасаду та його довговічність.

3.2 Вибір монтажного крану

Для виконання монтажу конструкцій стійково–ригельної системи та плит покриття здійснюється добір вантажопідіймального крана відповідно до його технічних характеристик: вантажопідйомності, висоти підйому гака та необхідного вильоту стріли. Основою для вибору крана є визначення монтажної маси елементів та геометричних параметрів монтажної зони.

Монтажна маса конструкції G_m визначається за формулою (3.1):

$$G_M = 1,1G_{ел} + 1,2\sum g, \text{ т} \quad (3.1)$$

де G_m – монтажна маса елемента, т;

$G_{ел}$ – власна маса монтажного елемента, т;

Σg – маса такелажних засобів, які підіймаються разом з елементом.

Для монтажного блоку:

$$G_m = 1,1 \cdot 1,35 + 1,2 \cdot 1,33 = 3,085 \text{ т}$$

Для плити покриття:

$$G_m = 1,1 \cdot 4,95 + 1,2 \cdot 0,09 = 5,56 \text{ т.}$$

Отже, вантажопідйомність крана повинна бути не меншою від монтажно́ї маси підніманого елемента з урахуванням реального вильоту стріли та висоти підйому гака.

Визначення необхідної висоти підйому гака (3.2):

$$G_M = 1,1G_{\text{ел}} + 1,2\Sigma g, \text{ т} \quad (3.2)$$

Висота підйому гака $H_{\text{рк}}$ визначається як сума окремих складових:

$$H_{\text{ПК}} = H_0 + H_3 + H_{\text{ел}} + H_{\text{СТРОП}} \quad (3.3)$$

де H_0 – перевищення позначки встановлення елемента над рівнем стоянки крана;

$H_{\text{запас}}$ – запас по осіданню елемента з посадковою швидкістю (0,5 м – для елементів до 6 м у плані; 1,0 м – для елементів від 6 до 18 м);

$H_{\text{ел}}$ – висота монтажного елемента;

$H_{\text{строп}}$ – висота стропувального пристрою над елементом.

Для плити:

$$H_{\text{ПК}} = 10,45 + 0,5 + 0,22 + 1 = 12,17 \text{ м}$$

Визначення необхідного вильоту стріли

Виліт стріли крана L_k визначається як (3.4):

$$\begin{aligned} L_k &= L_1 + L_2, \text{ м} \\ L_k &= 6 + 15 = 21 \text{ м} \end{aligned} \quad (3.4)$$

де L_1 – відстань від осі стоянки крана до будівлі, м;

L_2 – відстань від фасаду до точки монтажу елемента, м.

Для умов монтажу:

$$L_1 = 6 \text{ м};$$

$$L_2 = 15 \text{ м};$$

$$L_k = 6 + 15 = 21 \text{ м}$$

На основі отриманих розрахункових параметрів:

- мінімальна вантажопідйомність – не менше ніж 5,56 т;
- необхідний виліт стріли – близько 21 м;
- висота підйому гака – понад 12 м.

Вантажопідйомальні характеристики повинні забезпечувати піднімання конструкції без перевищення паспортних навантажень на стрілу і гідросистему, а також відповідати обмеженням монтажною зони.

Порівняння технічних характеристик мобільних кранів показує, що оптимальним для зазначених умов є автомобільний кран КС-45734, який повністю задовольняє вимоги щодо вантажопідйомності, висоти підйому та вильоту стріли.

Характеристики крану КС-45734 наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики обраного автомобільного крану

Модель крана	КС-45734
Вантажопідйомність із звичайними (небезпечними) вантажами, т	16
Вантажний момент, тм	74
Кількість секцій стріли, шт	3
Довжина стріли, м	23,5
Розмір опорного контуру, м	5,05x6,1
Зона роботи, місто	230-240° / 360°
Виліт стріли, м	22,3
Мах. висота підйому гака, м	24,8
Мах. висота підйому гака з гусяком	31,3 / 34,3

3.3 Визначення обсягів робіт

Відомість обсягів будівельно-монтажних робіт сформована на підставі прийнятих у проєкті архітектурно-конструктивних рішень та технологічної послідовності зведення будівлі. Перелік робіт включає всі основні процеси, пов'язані з підготовкою території, улаштуванням фундаментів, зведенням несучого каркаса, монтажем огорожувальних конструкцій, виконанням покрівельних та оздоблювальних робіт.

Обсяги робіт визначені за робочими кресленнями і підраховані згідно з вимогами чинних нормативних документів. При визначенні обсягів враховано конструктивні параметри будівлі, геометричні характеристики елементів та прийняту технологію виконання робіт на всіх етапах будівництва.

Структура відомості охоплює земляні роботи, улаштування основи та фундаментів, монтажні операції з елементами збірної та монолітного каркаса, роботи зі зведення стін і перегородок, улаштування покрівлі, виконання гідро- та теплоізоляційних шарів, встановлення віконних та дверних блоків, монтаж вітражів, а також комплекс внутрішніх оздоблювальних робіт.

Визначення обсягів робіт здійснено в табличному вигляді та наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Відомість БМР

№ п/п	Найменування робіт	Од. вим.	Кількість
Земляні роботи			
1	Планування площ бульдозером	м ²	879,79
2	Розробка ґрунту	м ³	612,35
3	Влаштування бетонної підготовки підготовки під фундаменти	м ³	15,45
4	Влаштування монолітних фундаментів скляного типу	м ³	552,42
5	Монтаж колон заввишки 3,6 м, із закладенням у фундаменти.	шт	32
6	Монтаж балок ростверку	т	118
7	Зворотне засипання пазух котловану з пошаровим ущільненням пневмотрамбуванням	м ²	59,93
Зведення будівлі			
8	Монтаж ригелів	шт	236
9	Монтаж плит перекриття збірних багатопустотних	шт	154
10	Влаштування монолітних ділянок плит перекриття	м ³	13,376
11	Монтаж сходових плінт	шт	4
12	Монтаж сходових маршів	шт	4
13	Влаштування металевих огорож сходів	м.п.	18
14	Влаштування підсипки з ПГС під підлогу 1-го поверху	м ³	71,984
15	Влаштування бетонної підлоги 1-го поверху по ґрунту	м ²	719,84
16	Заповнення зовнішніх стін з керамзитоблоку	м ³	348,5
17	Кладка перегородок з керамічної цегли	м ²	667
18	Монтаж перемичок	шт	57
19	Монтаж металевих ферм	т	6,67
20	Монтаж прогонів	т	4,066
21	Антикорозійна обробка ферм	м ²	230,47
22	Пристрій пароізоляції	м ²	748,3
23	Улаштування теплоізоляції	м ²	748,3
24	Пристрій гідроізоляції	м ²	748,3
25	Влаштування цементно-піщаної стяжки	м ²	748,3
26	Влаштування покрівлі односхилий з профнастилу	м ²	748,3
27	Влаштування огорож покрівлі	м	127
28	Заповнення віконних отворів	м ²	40,8
29	Влаштування підвіконних дощок	м	20,4
30	Влаштування вітражів	м ²	316
31	Заповнення зовнішніх дверних отворів	м ²	10,34
32	Влаштування воріт	м ²	19,9

Внутрішнє оздоблення приміщень			
33	Штукатурка внутрішньої поверхні стін	м ²	2222,7
34	Затирання стель	м ²	218
35	Цементно-піщана стяжка підлоги	м ²	1392,5
36	Декоративна штукатурка стін	м ²	925,3
37	Забарвлення по декоративній штукатурці стін ВДА	м ²	925,3
38	Забарвлення стель ВДА	м ²	218
39	Забарвлення стін ВДА	м ²	1049,4
40	Влаштування підвісної стелі типу Армстронг	м ²	1174,5
41	Облицювання стін керамічною плиткою	м ²	248
42	Облицювання підлог керамічною плиткою	м ²	194,2
43	Влаштування бетонних підлог	м ²	176
44	Влаштування покриттів підлог з ламінатної дошки	м ²	248,9
45	Влаштування наливної підлоги	м ²	357,2
46	Заповнення внутрішніх дверних отворів	м ²	79,55
Зовнішнє оздоблення фасаду			
47	Утеплення фасаду будівлі	м ²	855,2
48	Влаштування вентфасаду	м ²	855,2
49	Пристрій вимощення	м ²	192
50	Влаштування монолітного ганку	м ³	20,526

3.4 Календарне планування будівництва

Календарний графік будівництва розроблений на основі прийнятої технологічної послідовності виконання робіт, обсягів будівельно-монтажних процесів та наявних трудових і матеріально-технічних ресурсів. Графік визначає тривалість кожного етапу будівництва, ув'язує взаємозалежні процеси та забезпечує узгодженість виконання робіт у межах загального виробничого циклу.

У процесі складання календарного графіка враховано нормативні положення щодо організації будівельного виробництва, режим роботи будівельного майданчика, пропускну спроможність тимчасової інфраструктури та можливості механізмів. Структура графіка охоплює підготовчі роботи, влаштування фундаментів, монтаж несучих конструкцій,

зведення стінових елементів, виконання покрівельних та фасадних робіт, а також комплекс внутрішніх оздоблювальних процесів.

Фактична тривалість будівництва становить 216 днів, що менше за нормативний термін у 336 днів, що свідчить про раціональність технологічних рішень та ефективну організацію робіт. Сумарна трудомісткість будівництва складає 2838,20 люд.-днів, що визначено на основі укрупнених норм часу та обсягів робіт, передбачених проєктом. Максимальна кількість працівників, залучених одночасно, становить 19 осіб, середня чисельність робітників на будівельному майданчику – 13 осіб.

Розрахований коефіцієнт нерівномірності руху робітників дорівнює 1,45, що відображає коливання трудових ресурсів на різних етапах будівництва та відповідає допустимим значенням для об'єктів аналогічної складності. На підставі календарного графіка побудовано діаграму руху робітників, визначено критичний шлях виконання робіт і встановлено резерви часу, що дозволяють оперативно реагувати на можливі відхилення у виробничому процесі.

Календарний план-графік наведено в графічній частині дипломного проєкту.

3.5 Проєктування будівельного генплану

Будівельний генеральний план розроблено для організації робіт на будівельному майданчику з урахуванням технологічної послідовності виконання будівельно-монтажних процесів, потреби в тимчасових спорудах, під'їздах, складських площах та розміщенні вантажопідіймальних механізмів. План забезпечує раціональне розташування всіх об'єктів будівельної інфраструктури, оптимальні умови для виконання робіт, а також дотримання вимог охорони праці та безпеки.

3.5.1 Визначення небезпечних зон роботи крана

При формуванні будженплану враховано зони дії постійних та потенційно небезпечних виробничих факторів. До зон постійної небезпеки належать ділянки, над якими виконуються переміщення вантажів вантажопідіймальними кранами під час монтажу конструкцій. Вони є небезпечними протягом усього періоду роботи крана, оскільки підвішений вантаж становить ризик падіння або неконтрольованого коливання під дією вітрових чи інерційних навантажень.

До зон потенційно діючих небезпечних факторів відносять територію навколо споруди, що зводиться, а також поверхи будівлі в межах однієї захватки, над якими здійснюється монтаж або демонтаж конструкцій. У цих зонах можливе падіння інструменту, дрібних елементів, монтажних пристроїв, що вимагає встановлення обмежень на пересування персоналу та застосування відповідних захисних заходів.

Монтажна зона визначається як простір, у межах якого теоретично можливе падіння вантажу під час його встановлення на проєктне місце. Для об'єктів, що зводяться методом покрокового монтажу, монтажна зона дорівнює контуру будівлі з додаванням 7 м по периметру, що забезпечує необхідний запас безпеки при роботі з підвішеними конструкціями.

Робочою зоною крана вважається простір, який описується рухом гака крана під час роботи. Для застосованого вантажопідіймального механізму ця зона поширюється на радіус 28 м, що визначає межі безпечного розташування складів, тимчасових будівель та зон пересування персоналу.

Зоною переміщення вантажу є частина майданчика, у межах якої можливе горизонтальне переміщення підвішеної конструкції. Зона охоплює весь сектор повороту стріли крана й повинна залишатися вільною від сторонніх осіб, не пов'язаних з монтажем.

Небезпечна зона роботи крана визначається з урахуванням максимального робочого вильоту стріли та додаткової відстані, необхідної для безпечного переміщення вантажу. Її радіус визначають за формулою (3.5):

$$R_{\text{неб}} = R_{\text{max}} + l_{\text{без}}, \text{ м}$$

$$R_{\text{неб}} = 23,5 + 7 = 30,5 \text{ м} \quad (3.5)$$

де R_{max} – максимальний робочий виліт гака крана;

$l_{\text{без}}$ – безпечний запас відстані, що становить 7 м для висоти можливого падіння вантажу до 20 м.

Крім того, для будівель висотою до 20 м встановлюється зона падіння вантажу шириною 5 м від контуру споруди, що враховується при визначенні шляхів переміщення персоналу та тимчасового огороження будівельного майданчика.

Усі наведені зони небезпеки позначені на будівельному генеральному плані й враховані при розміщенні кранів, складів матеріалів, побутових приміщень, технічних комунікацій, а також під'їзних шляхів.

3.5.2 Розрахунок площі титульних будівель та споруд

Тимчасові будівлі та споруди зводяться виключно на період будівництва і формують інфраструктуру, необхідну для забезпечення безперервної роботи будівельного майданчика. Вартість їх улаштування є однією з найбільших складових тимчасового будівельного господарства, тому мінімізація кількості та площ цих споруд є важливим завданням під час розроблення будівельного генерального плану. Рішення щодо їх розміщення приймаються з урахуванням технологічної послідовності будівельного процесу, вимог безпеки та забезпечення оптимальних умов праці.

За функціональним призначенням тимчасові будівлі поділяються на виробничі, складські, адміністративні, санітарно-побутові, житлові та

громадські. За конструктивним виконанням вони можуть бути інвентарними, які допускають багаторазове перевезення та повторне використання на інших об'єктах, або неінвентарними, що зводяться для одноразового застосування. Використання неінвентарних споруд вважається економічно недоцільним і допускається лише у виняткових випадках.

Визначення потреби в тимчасових будівлях здійснюється відповідно до чисельності найбільшої зміни працівників. За календарним графіком максимальна кількість робітників становить 19 осіб, додатково враховується штат інженерно-технічних працівників, кількість яких приймається на рівні 15 %. Таким чином:

$$\text{ІТП} = 19 \cdot 0,15 = 3 \text{ особи}$$

Загальна чисельність найбільшої зміни складає:

$$19 + 3 = 22 \text{ особи}$$

При цьому для розрахунку площ побутових приміщень враховують статевий склад персоналу. Виходячи з частки жінок 30 % і чоловіків 70 %, кількість становить:

$$\text{жінки: } 22 \cdot 0,30 = 6 \text{ осіб}$$

$$\text{чоловіки: } 22 \cdot 0,70 = 16 \text{ осіб}$$

Отримані дані використовуються для визначення площі санітарно-побутових приміщень, розміщення гардеробів, душових, кімнат відпочинку та інших інвентарних споруд. Розраховані параметри закладаються в будівельний генеральний план і забезпечують комфортні та безпечні умови праці для всіх категорій працівників.

Розрахунок проведено в табличному вигляді та наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок площ тимчасових будівель та споруд

№ п	Назва	Чол.	% використання	Розрахункова площа	Нормативна площа	Тип будівлі	Прийнята площа	Габаритні розміри
1	Контора	3	50	5,25	3,50	Збірно-розбірне	6	3x2
2	Пункт охорони	2	100	6,00	-	Збірно-розбірне	6	2x3
3	Вбиральня чоловік	16	100	14,40	0,90	Збірно-розбірне	15	3x5
4	Душова чоловік	16	100	6,88	0,43	Збірно-розбірне	7	3x2,5
5	Гардеробна дружин	6	100	5,40	0,90	Збірно-розбірне	6	2x3
6	Душова дружин	6	100	2,58	0,43	Збірно-розбірне	3	1,5x2
7	Приміщення для обігріву та прийняття їжі	22	100	22,00	1,00	Збірно-розбірне	22	4x5,5
8	Приміщення для сушіння робочого одягу	22	100	4,40	0,20	Збірно-розбірне	8	4x2
9	Вбиральні чоловік	16	100	2,25	2 очко	Біотуалет	2,25	1,5x1,5
10	Вбиральні дружин	6	100	2,25	1 очка	Біотуалет	2,25	1,5x1,5
11	Особиста кімната гігієни жінок	6	100	3,00		Збірно-розбірне	3	1,5x2

3.5.3 Визначення площ тимчасових складів

Складські приміщення тимчасового будівельного господарства призначені для забезпечення ритмічного постачання матеріалів, конструкцій і виробів до місць виконання робіт.

Для визначення необхідних розмірів складських приміщень спочатку встановлюють обсяг виробничого запасу матеріалів, конструкцій та виробів, який має зберігатися на складі. Запас повинен гарантувати безперебійне забезпечення будівельних процесів: збільшення запасу підвищує надійність ритмічного ходу робіт, але водночас спричиняє зростання витрат на утримання

складського господарства. Тому виробничий запас визначають таким чином, щоб він був мінімальним, але достатнім для нормального виконання робіт.

Виробничий запас матеріалів визначають за формулою (3.6):

$$P_{\text{скл}} = P_{\text{доб}} \times T_{\text{н}}, \text{ м}^2 \quad (3.6)$$

де $P_{\text{доб}}$ – найбільша добова витрата матеріалу;

$T_{\text{н}}$ – нормативний строк зберігання матеріалу на складі, днів;

Найбільшу добову витрату встановлюють з урахуванням технологічної інтенсивності робіт та нерівномірності постачання. Вона визначається за формулою (3.7):

$$P_{\text{доб}} = \frac{P_{\text{заг}} \cdot K_1 \cdot K_2}{T} \quad (3.7)$$

де $P_{\text{заг}}$ – загальна потреба матеріалу на об'єкт;

K_1 – коефіцієнт нерівномірності надходження матеріалів;

T – тривалість періоду споживання матеріалів, днів.

Після визначення добової витрати й виробничого запасу обчислюють корисну площу складу. Для цього застосовують формулу (3.8):

$$S_{\text{кор}} = \frac{P_{\text{кор}}}{q}, \text{ м}^2 \quad (3.8)$$

де $S_{\text{кор}}$ – корисна площа складу, м^2 ;

q – кількість матеріалу, що може бути розміщена на 1 м^2 складської площі.

Загальна площа складу визначається з урахуванням коефіцієнта використання площі (3.9):

3.5.4 Визначення потреби у водопостачанні

Тимчасові мережі водопостачання призначені для забезпечення виробничих, господарсько-побутових та протипожежних потреб під час зведення будівлі. Для підвищення надійності система тимчасового водогону приймається кільцевою, що дає змогу зберігати працездатність мережі навіть при частковому відключенні її ділянок.

Проектування водопроводу включає визначення потреби у воді, вибір джерела живлення, розташування трубопроводів на будівельному майданчику та визначення необхідного діаметра труб.

Період максимального водоспоживання встановлюється за календарним графіком виконання робіт, виходячи з найбільш напружених за обсягами виробничих процесів змін. Загальна витрата води визначається за формулою (3.10):

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{вир}} + Q_{\text{госп}} + Q_{\text{пож}} \cdot \frac{\text{л}}{\text{с}} \quad (3.10)$$

де $Q_{\text{вир}}$ – витрата води на виробничі потреби, л/с;

$Q_{\text{госп}}$ – витрата води на господарсько-побутові потреби, л/с;

$Q_{\text{пож}}$ – витрата на протипожежні потреби, л/с.

Витрата води на виробничі потреби визначається з урахуванням добового обсягу робіт, питомих витрат та нерівномірності їх виконання і описується виразом (3.11):

$$Q_{\text{вир}} = 1.2 \sum \frac{V_{\text{зм}} q_{\text{ср}} k_1}{8 \cdot 3600} \quad (3.11)$$

де $V_{\text{зм}}$ – змінний обсяг роботи в натуральних одиницях;

k_1 – коефіцієнт на невраховані витрати;

$q_{\text{ср}}$ – середньозмінна витрата води на одиницю обсягу, л/с;

8 – тривалість зміни, год.

На основі даних таблиці отримано сумарну витрату на виробничі потреби 2,35 л/с.

Господарсько-побутова витрата визначається за формулою (3.12):

$$Q_{\text{хоз}} = \frac{N_{\text{max}}}{3600} \times \left[\frac{q_1 \times k_2}{8} + q_2 k_3 \right], \text{ л/с} \quad (3.12)$$

де N_{max} – найбільша кількість працюючих у зміну, чел;

n_1 – норма витрати води на одного працівника;

n_2 – норма витрати води на один душ;

k_1, k_2 – коефіцієнти нерівномірності споживання.

Витрата води розрахована на виробничі потреби та наведена в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Визначення води на виробничі потреби

Найменування споживачів	Од. вим.	Кількість за зміну	Удільні витрат.	К-т нерівн.	Витрата води, л/с
Автомашина	шт	10	300	1,5	0,56
Догляд за бетоном	м ³	28	300	1,5	1,58
Штукатурні роботи	м ²	122,8	8	1,5	0,18
Малярні роботи	м ²	175,42	1	1,5	0,03
			Разом:		2,35

$$Q_{\text{хоз}} = \frac{19}{3600} \cdot \left(15 \cdot \frac{1.25}{8} + 30 \cdot 0.4 \right) = 0.08 \text{ л/с}$$

Для будмайданчика при $N_{\text{max}} = 19$ осіб отримано $Q_{\text{госп}} = 0,08$ л/с згідно розрахунку.

Витрата води на протипожежні потреби приймається за умовою одночасної роботи двох пожежних стволів по 5 л/с кожен.

Таким чином, $Q_{\text{пож}} = 10$ л/с.

Загальна витрата води визначена:

$$Q_{\text{заг}} = 2,35 + 0,08 + 10 = 12,43 \frac{\text{л}}{\text{с}}$$

Після округлення прийнято 12 л/с.

Для визначення діаметра трубопроводу тимчасового водопостачання застосовується гідравлічна формула (3.13):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\text{заг}} \cdot 1000}{\pi \cdot V}}, \text{ мм} \quad (3.13)$$

де D – діаметр трубопроводу, мм;

$Q_{\text{заг}}$ – витрата, м³/с;

v – швидкість руху води в трубі, м/с.

Підстановка дає:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 12,43 \cdot 1000}{3,142 \cdot 1,5}} = 102,71 \text{ мм}$$

Однак з умов стандартизації та пожежогасіння діаметр труб тимчасового водопроводу приймається 125 мм, що забезпечує необхідний запас пропускної здатності та надійність роботи мережі в аварійних ситуаціях.

3.5.5 Визначення потреби в електропостачанні

Розрахунок системи тимчасового електропостачання будівельного майданчика виконується з метою визначення загальної необхідної потужності, вибору джерела живлення та забезпечення безперебійної роботи силових механізмів, технологічного обладнання та освітлювальних мереж.

Процес розрахунку передбачає встановлення всіх категорій споживачів електроенергії, оцінку їх встановленої потужності, визначення коефіцієнтів попиту та втрат у мережі, після чого формується сумарне навантаження.

Загальна необхідна потужність визначається за формулою (3.14):

$$P_p = a \cdot \left[\sum \left(\frac{k_{1c} P_c}{\cos \phi} \right) + \sum \left(\frac{k_{2c} P_T}{\cos \phi} \right) + \sum k_{3c} P_{\text{вн}} + \sum P_{\text{зов}} \right], \text{кВт} \quad (3.14)$$

де P_p – розрахункова потужність системи тимчасового електропостачання;

k_p – коефіцієнт, що враховує втрати в мережі;

$k_{d1} \dots k_{d4}$ – коефіцієнти попиту для різних груп споживачів;

P_c – силове навантаження, кВт;

P_T – потужність, необхідна для технологічних процесів, кВт;

$P_{\text{вн}}$ – потужність внутрішнього освітлення, кВт;

$P_{\text{зов}}$ – потужність зовнішнього освітлення, кВт.

Силове навантаження складається з роботи механізмів, машин і агрегатів, що застосовуються в будівельному процесі. На основі табличних даних встановлено, що сумарна встановлена потужність силових споживачів становить 65,833 кВт. До цієї групи входять механізми, що працюють нерівномірно протягом зміни, що враховується відповідними коефіцієнтами попиту та завантаження.

Потужність внутрішнього освітлення включає потреби адміністративних та побутових приміщень, душових, санітарних вузлів, складських приміщень та відкритих складських майданчиків. Розрахунок виконано згідно з питомими нормами та коефіцієнтами попиту, у результаті чого сумарна величина становить 79,101 кВт.

Потужність зовнішнього освітлення визначена відповідно до довжини освітлюваної території та питомої потужності на одиницю довжини, що дає значення 5,898 кВт. Зовнішнє освітлення повинно забезпечувати безпечно пересування працівників і техніки в темний час доби, а також відповідати вимогам охорони праці.

Розрахунок проведено в табличному вигляді та наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Розрахунок потреби в електроенергії

Найменування	Од. вим.	К-сть	Питома потужн.	Коеф. попиту	Коеф. потужн ий.	Прийн. потужн.
Силова електроенергія:						
Бульдозер	шт	1	79	0,5	0,6	65,833
Разом						65,833
Внутрішнє освітлення:						
Адм. і побут. Приміщення	100 м ²	0,55	1,5	0,8	1	0,660
Душові та туалети	100 м ²	0,255	1,3	0,8	1	0,265
Склади та складські майданчики	м.п.	279,2	0,8	0,35	1	78,176
Разом						79,101
Зовнішнє освітлення:						
Територія будівництва	м.п.	393,2	0,015	1	1	5,898
Разом						5,898
Усього						150,833

Підсумоване навантаження для всіх груп споживачів становить

$$P_{\text{заг}} = 65,833 + 79,101 + 5,898 = 150,833 \text{ кВт}$$

Отримана потужність визначає необхідність вибору джерела електропостачання, здатного забезпечити резерв потужності для покриття пікових навантажень та компенсувати можливі відхилення у роботі обладнання. Враховуючи отримане сумарне електричне навантаження, для будівельного майданчика приймається комплектна трансформаторна підстанція типу 1КТП – 160/10 – 0,4, номінальною потужністю 160 кВт, що повністю покриває потреби об'єкта з необхідним експлуатаційним резервом.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ В БУДІВНИЦТВІ

4.1 Техніка безпеки на будівельному майданчику

Організація та проведення будівельного виробництва на об'єктах капітального будівництва здійснюються відповідно до організаційно-технологічної документації, яка визначає склад заходів щодо безпечного виконання робіт, вибору технологічних рішень, технічних засобів та методів виконання будівельних процесів. Така документація охоплює вимоги нормативно-правових актів України з охорони праці та містить комплекс рішень, спрямованих на мінімізацію виробничих ризиків під час виконання робіт.

Під час планування організації будівельного виробництва роботодавець зобов'язаний урахувати всі небезпечні зони на території об'єкта, де можливий вплив небезпечних виробничих факторів, пов'язаних як із технологією виконання робіт, так і з розміщенням машин, механізмів або конструкцій. До зон постійного ризику належать місця, розташовані в безпосередній близькості від струмопровідних частин електроустановок, а також ділянки, наближені до незахищених перепадів висот, де існує загроза падіння працівників або матеріалів.

До зон можливого впливу небезпечних виробничих факторів відносяться території, прилеглі до споруди, що зводиться, поверхи будівлі в межах активної захватки, над якими здійснюється монтаж або демонтаж конструкцій, а також простір, у межах якого переміщуються машини, механізми чи вантажі, підвішені на гаку крана. Усі такі зони мають бути позначені на будівельному генеральному плані з нанесенням захисних або сигнальних огорож і знаків безпеки.

Організаційно-технологічна документація передбачає першочергове улаштування постійних огорожувальних конструкцій — стін, парапетів, огорож отворів, що дає можливість мінімізувати обсяг робіт на висоті та створити безпечні умови для переміщення працівників. У документації також

зазначаються засоби підмашування, що застосовуються для виконання робіт на висоті, шляхи підйому працівників на робочі рівні, а для будівель вище п'яти поверхів — необхідність використання пасажирських підіймачів або ліфтів.



Рисунок 4.1 – Загальна база щодо охорони праці в будівництві

Для забезпечення безпеки під час монтажу конструкцій необхідно визначити типи вантажозахоплювальних пристроїв, що використовуються під час підйому довгомірних і великогабаритних елементів, а також способи стропування, які забезпечують правильну подачу конструкцій до місця монтажу. У документації встановлюються вимоги щодо тимчасового та остаточного закріплення конструкцій, щоб запобігти їх перекиданню або зміщенню під час монтажу.

З метою унеможливлення падіння конструкцій, матеріалів або тари, підвішених на гаку крана, передбачаються засоби контейнеризації, огорожувальні пристрої для складування панелей та залізобетонних елементів (піраміди, касети), а також порядок складування матеріалів залежно від їхніх габаритів та властивостей. У разі потреби застосовують захисні сітки, навіси, тимчасові перекриття або інші засоби колективного захисту.

Перед початком будівельних робіт на діючій території підприємства, установи або організації оформлюється акт-допуск на виконання будівельно-

монтажних робіт. Він визначає умови безпечного виконання робіт, порядок взаємодії між підрядником і експлуатуючою організацією та передбачає перелік заходів для усунення або мінімізації небезпечних факторів. Якщо одночасно виконуються декілька видів робіт, кожен з яких потребує оформлення наряду-допуску, допускається складання єдиного документа за умови включення до нього всіх необхідних заходів та інструкцій з охорони праці.

Запровадження зазначених вимог у складі організаційно-технологічної документації забезпечує безпечну технологічну послідовність виконання робіт, мінімізує виробничі ризики та гарантує відповідність будівельного процесу законодавству України.

4.2 Система контролю та безпечне виконання робіт

Контроль за станом умов і охорони праці під час будівельного виробництва організовується роботодавцем відповідно до специфіки виконуваних робіт і вимог нормативно-правових актів України. Такий контроль має багаторівневу структуру і здійснюється з визначеною періодичністю, що забезпечує своєчасне виявлення небезпечних факторів та запобігання виробничому травматизму.

Перший рівень контролю виконують працівники безпосередньо на робочому місці перед початком зміни та в процесі роботи. Вони зобов'язані перевірити справність обладнання, інструментів, засобів індивідуального та колективного захисту, стан огорожень і захисного заземлення. У разі виявлення порушень працівник повинен усунути їх у межах своєї компетенції, а якщо це неможливо — негайно припинити роботу та повідомити керівника.

Другий рівень контролю забезпечується керівниками робіт (майстрами, виконробами) спільно з уповноваженими представниками працівників. Вони здійснюють систематичні перевірки умов праці, безпечності технологічних

процесів і дотримання встановлених процедур, що регламентуються планом організації будівельних робіт та проектом виконання робіт.

Третій рівень контролю полягає у комплексному нагляді за станом охорони праці в межах структурних підрозділів будівельної організації. Його здійснює роботодавець або уповноважені ним особи, включаючи фахівців служби охорони праці та представників профспілкової організації. Такий контроль проводиться згідно з затвердженими графіками і включає аналіз дотримання вимог безпеки, оцінку ризиків і стану виробничого середовища. Аналіз небезпек наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Аналіз небезпечних факторів на будмайданчику

№	Потенційна небезпека	Опис ризику	Ймовірні наслідки	Заходи попередження
1	Падіння з висоти	Роботи на риштуваннях, перекриттях, сходових клітинах	Травми, переломи, летальні випадки	Використання засобів підмащування, огороження отворів, страхувальні системи
2	Падіння предметів згори	Монтаж конструкцій, робота крана, переміщення вантажів	Ушкодження, травми голови та кінцівок	Заборона перебування в небезпечній зоні, захисні каски, сигнальні огорожі
3	Ураження електричним струмом	Робота поблизу електромереж, інструмент з електроприводом	Електротравми, опіки	Перевірка ізоляції, заземлення, використання ПЗВ та діелектричних засобів
4	Травмування технікою	Рух автотранспорту, маневрування крана, робота екскаватора	Здавлювання, переїзд, удари	Чіткі маршрути руху, сигнальні знаки, обмеження перебування людей
5	Шкідливі фактори середовища	Пил, шум, вібрація, погодні фактори	Захворювання дихальних шляхів, погіршення самопочуття	ЗІЗ: респіратори, навушники, контроль мікроклімату
6	Обвалення або руйнування конструкцій	Монтажні роботи, незакріплені елементи	Травми, руйнування обладнання	Тимчасове кріплення, перевірка проектного положення, контроль відповідальних осіб
7	Роботи в замкнених просторах	Колодязі, технічні приміщення, підвальні зони	Задуха, отруєння газами	Вентиляція, газоаналіз, наряд-допуск
8	Пожежна небезпека	Зварювання, використання ЛЗР, коротке замикання	Пожежа, опіки, задимлення	Вогнегасники, інструктаж, контроль електромереж і відстаней
9	Порушення ергономіки й надмірні фізичні навантаження	Піднімання ваги вручну, тривале знаходження в статичній позі	Травми опорно-рухового апарату	Використання механізмів, раціональний режим праці
10	Небезпека при роботі з ручним інструментом	Відскоки, пробивання матеріалу, поломка інструменту	Порізи, забої, травми кистей	Інструмент із захисними елементами, рукавички, огляд перед роботою

У разі виникнення загрози життю або здоров'ю працівників керівники робіт зобов'язані негайно призупинити роботи, вжити заходів щодо усунення небезпеки та за потреби організувати евакуацію людей у безпечне місце. На відокремлених ділянках відповідальність за організацію безпечних умов праці повністю покладається на особу, що виконує будівельні роботи.

Роботи підвищеної небезпеки виконуються виключно за нарядом-допуском, який визначає місце, зміст, тривалість робіт, перелік небезпечних факторів, засоби захисту, склад бригади та відповідальних осіб. До робіт підвищеної небезпеки відносять, зокрема, операції із застосуванням вантажопідіймальних механізмів в охоронних зонах комунікацій, роботи в колодязях і замкнених просторах, земляні роботи поблизу підземних мереж, виконання монтажних процесів на висоті, роботи в зоні руху транспорту, газонебезпечні роботи та операції, пов'язані з експлуатацією діючого інженерного обладнання.

Наряд-допуск оформлюється уповноваженою особою роботодавця і видається безпосередньому керівнику робіт. Перед початком виконання завдання керівник проводить цільовий інструктаж з охорони праці, підписує документ і вносить інформацію щодо складу бригади, необхідних заходів безпеки та умов допуску до робіт. Якщо роботи виконуються в охоронній зоні комунікацій, наряд-допуск додатково узгоджується із власником відповідної мережі чи споруди.

4.3 Розрахунок освітлення будівельного майданчику

На території будівельного майданчика передбачається улаштування трьох видів освітлення: робочого, аварійного та охоронного.

Робоче освітлення забезпечує нормовану видимість у темний час доби для виконання будівельних процесів; аварійне призначене для безпечної евакуації людей у разі знеструмлення або виникнення надзвичайної ситуації;

охоронне забезпечує контроль за периметром об'єкта та попередження несанкціонованого доступу.

Схема електропостачання освітлювальних мереж прийнята кільцевою, що гарантує надійність та безперервність роботи світлотехнічного обладнання. Силові ж механізми живляться за тупиковою схемою, яка є типовою для тимчасових мереж і дозволяє раціонально розташовувати електрообладнання з урахуванням змінної конфігурації будмайданчика.

Кількість прожекторів визначається за формулою (4.1):

$$n = \frac{p \times E \times S}{P_{\text{л}}}, \text{ шт} \quad (4.1)$$

де p – питома потужність освітлення, кВт;

E – необхідна освітленість території, лк;

S – площа, що підлягає освітленню, м²;

$P_{\text{л}}$ – потужність лампи прожектора, Вт.

Для охоронного освітлення за вихідних даних отримано:

$$n = 0,4 \cdot 0,5 \cdot 9574,53 / 500 = 4 \text{ прожектори}$$

Для аварійного освітлення:

$$n = 0,4 \cdot 0,2 \cdot 9574,53 / 500 = 2 \text{ прожектори}$$

Таким чином, для забезпечення необхідного рівня освітленості будівельного майданчика передбачається встановлення чотирьох прожекторів охоронного освітлення та двох прожекторів аварійного призначення.

Кількість і розташування освітлювальних приладів визначаються з урахуванням планувальних рішень, периметру об'єкта, зон руху техніки та вимог безпеки праці.

РОЗДІЛ 5. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

У сучасному будівництві все частіше доводиться зводити споруди на територіях зі складним рельєфом, зокрема на покатих схилах. Такий вибір ділянок продиктований як дефіцитом рівнинних площ, так і бажанням отримати унікальні архітектурні рішення та переваги ландшафту. Будинок на схилі може мати неповторний вигляд, панорамні види та природний дренаж води.

Водночас будівництво на нерівній місцевості супроводжується підвищеними інженерними ризиками: можливі зсуви ґрунту, осідання, ерозія, складні умови фундаментування тощо. Забезпечення надійності інженерних конструкцій на таких ділянках є критично важливим завданням, адже відмови чи руйнування будівель на схилі можуть призвести до катастрофічних наслідків – людських жертв, великих матеріальних збитків і навіть екологічних проблем.

Тому виникає потреба у ґрунтовному теоретичному моделюванні надійності: застосуванні сучасних критеріїв оцінки надійності, ймовірнісних методів аналізу, врахуванні специфічних геотехнічних умов схилів та впровадженні інноваційних підходів до безпеки і довговічності конструкцій. Дане дослідження присвячене розгляду цих питань на теоретичному рівні.

Робота структурована у три основні розділи: спочатку викладені теоретичні основи надійності інженерних конструкцій, далі охарактеризовано особливості покатих схилів та пов'язані з ними ризики для будівництва, і нарешті проаналізовано моделі та методи підвищення надійності конструкцій на схилах. Завершує дослідження узагальнений висновок з основними положеннями.

Всі розділи логічно взаємопов'язані та містять обґрунтовані висновки щодо забезпечення надійності будівель і споруд на схилових ділянках.

5.1 Теоретичні основи надійності інженерних конструкцій

Поняття та значення надійності. Надійність будівельних конструкцій визначається як здатність конструкції зберігати працездатність і виконувати задані функції протягом встановленого терміну експлуатації в заданих умовах, не зазнаючи недопустимих пошкоджень або відмов.

Простіше кажучи, надійність – це якість, розгорнута у часі: конструкція має працювати без аварій упродовж усього життєвого циклу. Високий рівень надійності є обов'язковою вимогою, адже вихід з ладу несучих елементів будівель може призвести до аварій, що створюють загрозу життю людей, завдають значних економічних збитків і шкоди довкіллю.

Таким чином, надійність виступає ключовим техніко-економічним показником, який визначає безпечність, довговічність і конкурентоспроможність будівельного об'єкта. У нормативних документах будівельної галузі надійність трактується через здатність споруди відповідати своєму призначенню та зберігати необхідні експлуатаційні показники протягом розрахункового терміну (наприклад, 40 років для капітальних будівель).

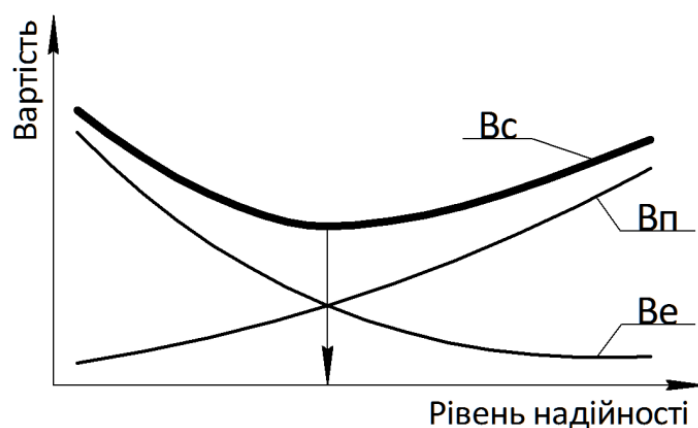


Рисунок 5.1 – Співвідношення витрат залежно від типу надійності будівлі чи споруди

V_c – оптимальний рівень надійності об'єкта, V_e – витрати на тех. обслуговування, V_p – сума початкової вартості об'єкта

Ці показники включають, зокрема: гарантію безпеки для життя і здоров'я людей та навколишнього середовища, цілісність конструктивних елементів і здатність протистояти експлуатаційним навантаженням, необхідну жорсткість і стійкість, комфорт та функціональність споруди, а також здатність адаптуватися до змін (наприклад, можливість реконструкції чи розширення без втрати несучої здатності). Отже, надійну будівлю відрізняє те, що вона залишається безпечною і придатною для використання впродовж усього заданого строку служби.

Надійність є комплексною властивістю, яка включає кілька складових. З класичної точки зору виділяють такі компоненти надійності конструкцій: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збережуваність. Під безвідмовністю розуміють здатність конструкції безперервно виконувати свої функції без виникнення відмов (пошкоджень або втрати несучої здатності) протягом визначеного часу. Довговічність – це властивість конструкції зберігати працездатний стан аж до настання граничного стану при належному технічному обслуговуванні, тобто фактично здатність служити повний розрахунковий термін експлуатації без передчасного зносу.



Рисунок 5.2 – Пошкодження цегляного мурування при руйнуванні

Ремонтопридатність характеризує пристосованість конструкції до відновлення працездатності засобами ремонту і обслуговування (наприклад, можливість заміни або підсилення елементів при виявленні дефектів). Збережуваність стосується здатності об'єкта зберігати потрібні властивості під час складського зберігання, транспортування та монтажу (для будівельних конструкцій ця складова актуальна переважно на етапі постачання елементів до будмайданчика). У контексті експлуатації будівель основну увагу зазвичай зосереджують на безвідмовності та довговічності, адже саме ці компоненти безпосередньо пов'язані з безпекою та строком служби споруди.

Критеріями оцінки надійності виступають кількісні показники, що відображають ймовірність безаварійної роботи конструкції. Найбільш універсальним числовим критерієм є ймовірність безвідмовної роботи за заданий період або взаємопов'язана з нею ймовірність відмови (руйнування). У сучасній інженерній практиці для оцінки надійності часто використовують поняття індексу надійності β (він же індекс безпеки), що впроваджений у європейських та міжнародних стандартах. Індекс β пов'язаний з ймовірністю відмови: чим більший β , тим менша ймовірність руйнування конструкції. Наприклад, для житлових і громадських будівель середнього рівня відповідальності (так званий клас наслідків СС2) прийнятний рівень надійності відповідає β приблизно 3,8, що еквівалентно дуже низькій ймовірності відмови (близько $10^{(-4)}$ – $10^{(-5)}$ за рік). Більш високі значення β забезпечують ще менший ризик, але їх досягнення вимагає значних додаткових витрат, тому оптимальний рівень визначається компромісом між безпекою та економічною доцільністю. Відповідно до міжнародного стандарту з надійності (наприклад, ISO 2394) мінімально допустима надійність конструкції повинна враховувати ризик для життя людей і потенційний економічний збиток. У національних нормах це реалізовано через класи наслідків (відповідальності): спорудам з вищим класом (значні суспільні чи екологічні наслідки аварії) ставляться підвищені вимоги до надійності (тобто вищі значення β або нижчі граничні ймовірності відмови). Таким

чином, критерієм прийнятної надійності є виконання умови, що обчислена ймовірність відмови не перевищує гранично допустиму для даного типу конструкції і умов експлуатації. Якщо ця умова виконується, конструкція вважається надійною за заданими критеріями безпеки.

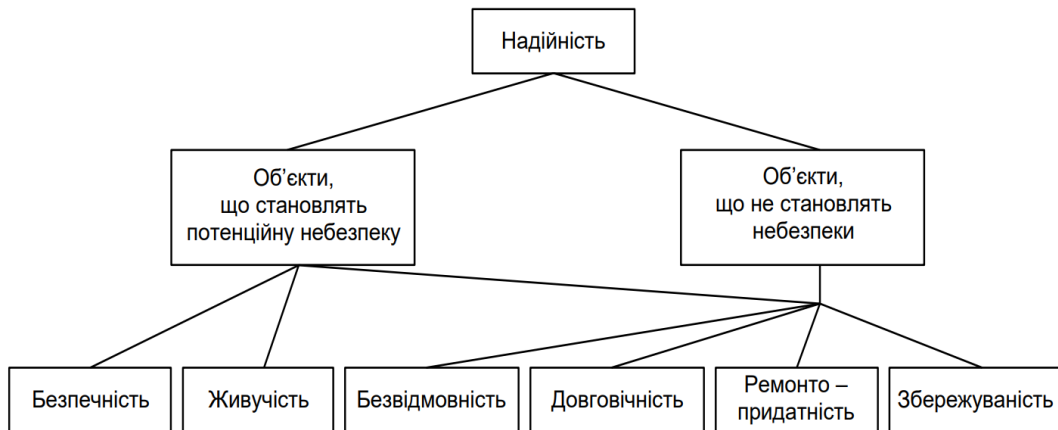


Рисунок 5.3 – Загальна структура елементів забезпечення безвідмовності будівель

Ймовірнісний підхід та методи аналізу. На відміну від традиційного розрахунку конструкцій з детерміністичними запасами міцності, сучасний підхід до оцінки надійності є ймовірнісним. Це означає, що враховується випадковий характер дії навантажень та варіація міцності матеріалів. Основні параметри (навантаження від власної ваги, вітру, снігу, сейсміки; міцність бетону, ґрунту, сталі тощо) розглядаються як випадкові величини з певними статистичними розподілами.

Надійність конструкції фактично визначається як ймовірність того, що опір R перевищує навантаження S протягом терміну експлуатації ($P(R > S)$). Для оцінки цієї ймовірності використовуються різні методи.

Один із підходів – аналітичний розрахунок на основі теорії ймовірностей та математичної статистики: якщо відомі розподіли і статистичні характеристики R і S , можна інтегруванням знайти ймовірність відмови $P_f = P(R \leq S)$ та потім визначити індекс надійності β (він пов'язаний з P_f через квантіль нормального розподілу). Інший поширений підхід –

імітаційне моделювання Монте-Карло, коли за допомогою багатократного випадкового генерування вхідних параметрів моделюють багато реалізацій роботи конструкції і підраховують частку випадків, у яких виникає відмова.

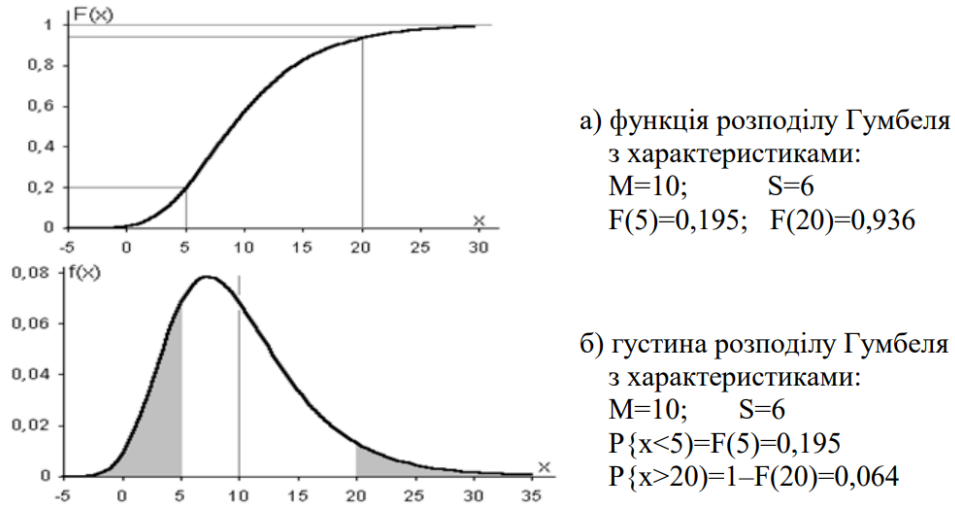


Рисунок 5.4 – Принципи визначення надійності по випадковим величинам [39]

Також застосовуються наближені методи першого та другого порядку (FORM, SORM), які дозволяють оцінити β з меншою обчислювальною затратністю. Імовірнісний підхід дає змогу глибше проаналізувати надійність, оскільки показує не лише запас міцності, а й ступінь невизначеності та чутливість результату до розкиду параметрів. У практичному проектуванні цей підхід реалізовано у системі нормування за граничними станами з використанням коефіцієнтів надійності (або коефіцієнтів запасу) до навантажень і матеріалів: такі коефіцієнти встановлені таким чином, щоб середня ймовірність відмови відповідала необхідному рівню надійності. Інакше кажучи, хоча проєктант у щоденній роботі оперує розрахунковими навантаженнями й опорами з коефіцієнтами, за цим стоїть імовірнісна модель забезпечення безпеки.

Надійність та довговічність конструкцій. Важливо відзначити, що надійність конструкції пов'язана не тільки з міцністю в даний момент, а й з її збереженням у часі – тобто з довговічністю. Матеріали будівельних

конструкцій у процесі експлуатації можуть деградувати: бетон старіє і втрачає міцність, арматура піддається корозії, ґрунтові основи можуть просідати або розмиватися, тощо.

Тому оцінка надійності обов'язково повинна враховувати зміни характеристик з часом. Конструкція, яка на початку експлуатації має значний запас міцності, але спроектована без урахування довготривалих процесів (корозії, втоми, повзучості), може виявитись ненадійною задовго до закінчення розрахункового строку служби.

Сучасні підходи до проектування включають розрахунок на довговічність: зокрема, вибір матеріалів з урахуванням агресивності середовища, захист конструкцій від вологи, хімічних впливів і морозу, врахування втомного зношування під дією циклічних навантажень, планування інтервалів огляду та ремонту.

Таким чином досягається потрібна надійність не тільки в момент здачі об'єкта, але й протягом усього життєвого циклу. Критерієм довговічності є відсутність граничних станів першої або другої групи (недопустимих тріщин, надмірних деформацій, втрати несучої спроможності) до кінця нормативного строку експлуатації.

Розрахунково це забезпечується запасами на стиск, прогин, розкриття тріщин, які відповідають не лише миттєвим навантаженням, а і сукупній дії навантажень та середовища в часі. Отже, надійність інженерної конструкції – багатогранне поняття, що оцінюється імовірно та охоплює як міцність і стійкість, так і довговічність та пристосованість до експлуатаційних умов.

Розуміння цих теоретичних засад є основою для аналізу більш специфічної проблематики – надійності споруд, що зводяться на схилах, де вплив факторів зовнішнього середовища і навантажень особливо складний і мінливий.

Висновок до розділу 1: Теоретичні основи надійності закладають понятійний базис для подальшого дослідження. Ми з'ясували, що надійність будівельних об'єктів – це їх здатність безпечно і безвідмовно функціонувати

протягом заданого строку, і її забезпечення вимагає кількісного аналізу з урахуванням випадкових факторів.

В якості критеріїв використовуються ймовірнісні показники (ймовірність відмови, індекс надійності), а досягнення необхідного рівня безпеки регламентується будівельними нормами через системи граничних станів і коефіцієнтів надійності. Крім того, надійність обов'язково включає аспект довговічності – стійкості до впливу часу та середовища.

5.2 Особливості покатих схилів та ризики при будівництві

Будівництво на покатих схилах має свої характерні особливості, які суттєво впливають на надійність інженерних конструкцій. Покатий схил можна визначити як ділянку місцевості з помітним нахилом поверхні (на відміну від горизонтального рельєфу).



Рисунок 5.5 – Будівництво об'єкту на покатих схилах

Схили розрізняють за крутизною (кутом нахилу), формою профілю (увігнуті, опуклі, прямолінійні), геологічною будовою ґрунтів, наявністю рослинності тощо. Кожен із цих факторів позначається на поведінці основи будівлі та ризиках, які потрібно врахувати проектувальникам. Основні ризики при забудові схилів пов'язані з гравітаційними процесами і нестабільністю ґрунтової маси. Розглянемо найважливіші з них:

- Зсуви ґрунту. Зсув – це зміщення масиву ґрунту вниз по укосі під дією сили тяжіння. Схили з певним геологічним складом та зволоженням можуть бути схильні до зсувів, особливо під впливом додаткових навантажень від будівництва або під час сильних опадів. Зсув здатен спричинити катастрофічне руйнування фундаментів і конструкцій будівлі, які опиняються в рухомій зоні. Небезпека зсувів зростає на крутих схилах з кутом понад $\sim 15\text{--}20^\circ$, на ділянках з глинистими водонасиченими ґрунтами, а також після тривалих дощів чи сейсмічних поштовхів. Будівля, зведена на схилі без належного укріплення, може фактично «поїхати» разом із ґрунтом униз, що призводить до повної втрати несучої здатності. Тому аналіз стійкості схилу – першочергове завдання інженера перед початком проектування. Необхідно визначити, чи є схил потенційно зсувонебезпечним, і якщо так – вжити заходів для запобігання зсувному процесу (про такі заходи йтиметься у наступному розділі).

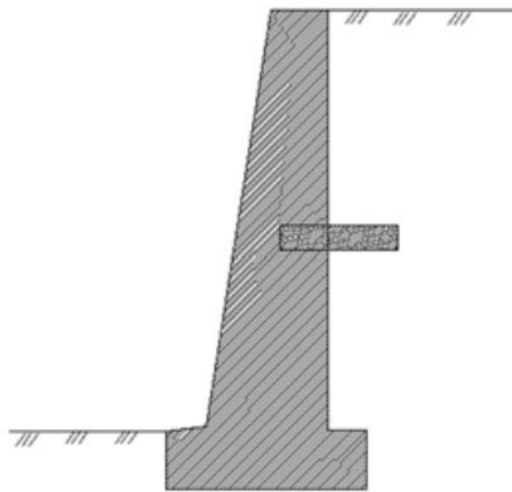


Рисунок 5.6 – Схема підпірної стіни, що має розвантажувальну площадку

- Обвали та осипи. Окрім пластичного зсуву ґрунтів, на схилах можливі обвальні процеси – відрив та падіння фрагментів породи або ґрунту. Це характерно для скельних або крутих схилів, наприклад, у гірських районах. Обвал може мати миттєвий характер (падіння великого каменя, брил) або поступовий (осипання дрібного ґрунту). Для будівель і споруд обвали

небезпечні як прямим ударним впливом, так і тим, що підмивають або підрізають основу схилу, запускаючи більший зсув. Інженер повинен врахувати наявність тріщин, нестійких брил у верхній частині схилу, можливість ерозійного підмиву, які можуть ініціювати обвал. За потреби проєкт включає захист від обвалів (сітчасті уловлюючі системи, берми безпеки, підпірні стінки тощо).

- Особливі ґрунтові умови. На схилах нерідко трапляються інженерно-геологічні особливості, які підвищують ризики. Серед них: просідаючі ґрунти (лесові породи, здатні різко ущільнюватися при замочуванні), набухаючі ґрунти (глини, що значно збільшують об'єм при намоканні і можуть піднімати фундамент), намивні чи насипні ґрунти (штучно створені або відкладені, часто неоднорідні й нестабільні). Якщо схил сформовано штучно (наприклад, колишня відсипка відходів чи будівельного сміття), такий ґрунт є особливо ненадійним – при навантаженні він може нерівномірно просісти або взагалі зсунутися. Будівництво на антропогенних схилах (дамби, відвали, насипи) потребує детального обстеження і часто зміцнення основи. Крім того, у схилових місцевостях можуть бути підроблені території – порожнини від гірничих виробок або карстові печери під землею, що створює ризик просідання чи провалля. Усі такі фактори повинні бути виявлені на стадії інженерно-геологічних вишукувань.

- Вода та ерозія. Вода відіграє вирішальну роль в стійкості схилів. Інтенсивне зволоження ґрунту (від опадів, талих вод, підземних джерел) призводить до зменшення його міцності, збільшення ваги схилу і виникнення гідростатичного тиску – усе це сприяє зсувам. Тому підтоплення і затоплення схилів різко підвищує ризик. Окрім того, поверхневий стік води викликає ерозію – вимивання ґрунту та утворення ярів, які послаблюють схил. На берегових схилах річок та морському узбережжі діють також абразія (розмив хвилями) і течії, що можуть підрізати берег. Якщо поблизу будівельного майданчика є яр або русло, існує небезпека прогресування ерозії, тому такі ділянки або уникають, або застосовують протиерозійні заходи (дренаж,

укріплення рослинністю, берегоукріплення). У холодному кліматі додатковим чинником є утворення льодових кірок, намерзання, які можуть змінювати дренажні властивості схилу. Інженер повинен забезпечити організований водовідвід на схилі, аби запобігти неконтрольованому розмиву ґрунту і накопиченню води під фундаментами.

- Сейсмічні впливи. Якщо район будівництва характеризується сейсмічною активністю, то для схилу це подвійний ризик. По-перше, сама конструкція має витримувати землетрус, а по-друге – сейсмічні коливання можуть спровокувати втрату стійкості схилу. Під час землетрусу ґрунт на схилі зазнає інерційних сил, які спрямовані вниз по укосу, що фактично є “імпульсом” до зсуву. Відомі випадки, коли саме на схилах землетруси викликали масові зсуви і руйнування споруд (наприклад, в горах або на крутих берегах річок). Тому в сейсмічних районах розрахунок споруд на схилі обов’язково включає врахування динамічного активного тиску ґрунту на підпірні стінки та фундаменти.

Потрібно перевіряти схил на стійкість при врахуванні сейсмічних прискорень, а для утримуючих конструкцій (стіни, палі) – закладати додаткові коефіцієнти безпеки. На жаль, для деяких типів підпірних стін (наприклад, легких тонких стінок з консолями або контрфорсами) у нормативній літературі бракує прямих рекомендацій щодо розрахунку динамічних навантажень від ґрунту, тому інженерам доводиться застосовувати спеціальне моделювання або брати збільшені запаси. Сейсмічний вплив може також викликати вторинні ефекти – розрідження водонасичених ґрунтів (ефект текучого піску), тріщини в масиві тощо, що додатково знижує несучу спроможність схилу.

- Екологічні та техногенні фактори. У сучасних умовах схили можуть бути піддані ще й техногенному впливу, що впливає на безпеку будівництва. Наприклад, забруднення ґрунтів хімічними речовинами (від промислових відходів або аварій) може змінювати їх фізико-механічні властивості – знизити міцність, сприяти розмиванню структурних зв’язків. Витоки агресивних рідин (лужні або кислотні розчини) здатні роз’їдати ґрунт

та фундаментні матеріали. Якщо на ділянці в минулому проводилась господарська діяльність, могли утворитися шари ґрунту з різними властивостями, перемішані, ослаблені тощо. Це все треба виявити та врахувати. Ще один аспект – вплив самого будівництва на довкілля: неграмотне втручання у схил (вирубка дерев, зміна дренажу) може спровокувати геодинамічні процеси на сусідніх територіях, що ставить під загрозу і екологічну безпеку (скажімо, зсув ґрунту може перекрити русло потоку, змінити ландшафт, зруйнувати екосистему).

Зазначені ризики диктують необхідність ретельних інженерних вишукувань перед початком будівництва на схилі. Обов'язковим є комплексне інженерно-геологічне та гідрогеологічне дослідження ділянки: буріння свердловин, відбір зразків ґрунту для лабораторного аналізу, визначення рівня ґрунтових вод, оцінка стабільності укосу розрахунковими методами. Необхідно перевірити історію ділянки: чи не було тут зсувів у минулому, чи не є цей схил стінкою колишнього яру або насипу.

Як було зазначено, штучно створені схили (наприклад, засипані яри або терикони) несуть додаткові ризики, і їх слід або уникати, або укріплювати особливим чином. Інженерні вишукування також повинні враховувати соціальні фактори ризику: у густо забудованих міських районах будь-яка аварія на схилі може зачепити сусідні будови, тому відповідальність проєктування ще вища.

Ще один важливий момент – моделювання поведінки конструкції на схилі. Сучасні програмні комплекси дозволяють моделювати взаємодію фундаменту з ухилом, розподіл напружень у ґрунті, перевіряти стійкість схилу з урахуванням заданого навантаження від будівлі. Таке моделювання на етапі проєктування є надзвичайно корисним: воно дає змогу передбачити, чи не спричинить споруда зсуву ґрунту, де виникають зони концентрації напружень, які можуть загрожувати тріщинами в будівлі або розломами основи. Зокрема, аналізуючи різні конфігурації рельєфу (скажімо, покатий прямий схил чи ввігнутий схил у формі улоговини), інженер може виявити, що у ввігнутому

(ложкоподібному) схилі напруження від фундаменту перерозподіляються інакше, ніж на прямому укосі, що потребує корекції проектних рішень. Моделювання дозволяє оптимізувати розташування будівлі, глибину закладення фундаменту, параметри підірних систем ще до початку будівництва, тим самим запобігши потенційним аваріям.

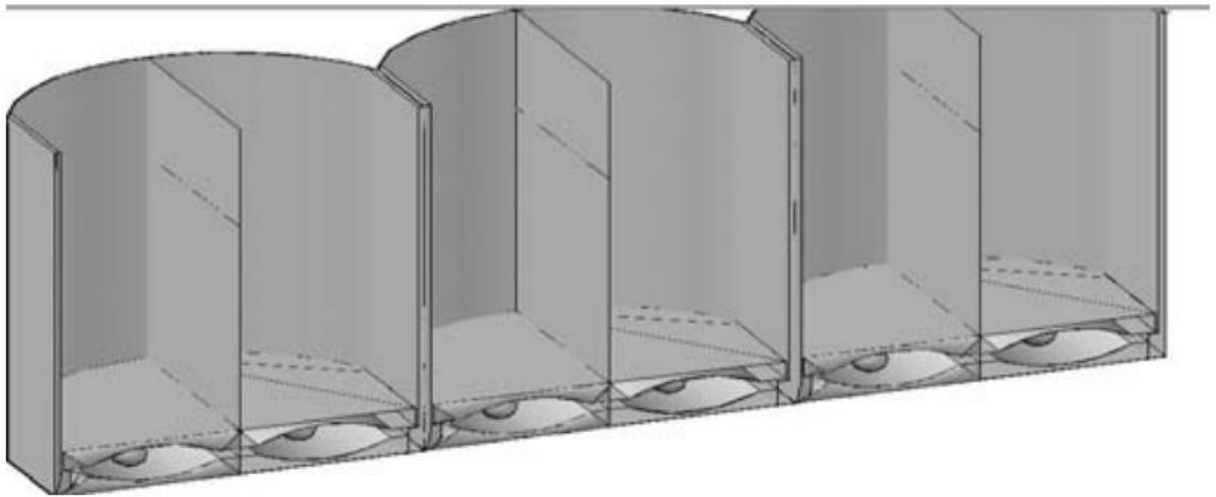


Рисунок 5.7 – Загальне моделювання підірної стіни

Варто згадати і про переваги, які правильно спроектована будівля на схилі може використати, що для зручності були зібрані в табл. 6.1.

Таблиця 5.1 – Аналіз переваг при будівництві на схилах

Перевага	Суть переваги	Умови, за яких перевага реалізується
Природний дренаж	Вода природно відводиться вниз по рельєфу, що знижує ризик підтоплення фундаменту порівняно з рівнинними ділянками.	Наявність правильно спроектованих дренажних систем, відведення води за межі забудови.
Архітектурна виразність	Можливість створення терас, різнорівневих об'ємів, експлуатованих покрівель, панорамних майданчиків.	Перевірена несуча здатність та стійкість схилу, коректно вибрана схема фундаментів.

Продовження таблиці 5.1.

Функціональні рішення	Використання перепаду висот для розміщення технічних приміщень, гаражів, зон відпочинку тощо.	Надійні підпірні стінки, захист від ерозії, стабілізація укосів.
Ландшафтний потенціал	Природний рельєф стає частиною дизайн-рішення: формування терас, озеленення на різних рівнях, видові точки.	Детальне опрацювання ландшафтного проекту, узгодження захисних інженерних конструкцій із рельєфом.
Підвищена інвестиційна привабливість	Унікальна архітектура робить об'єкт більш цінним для замовника; зростає готовність інвестувати в інженерний захист.	Наявність технічно обґрунтованих та економічно оптимальних рішень із підсилення схилу.

5.3 Моделі та методи підвищення надійності конструкцій на схилах

Для забезпечення надійності будівель на покатих схилах застосовується комплекс інженерних рішень і спеціальних розрахункових підходів. Метою є компенсувати згадані вище ризики (зсуви, нестабільні ґрунти, сейсмічні впливи) і створити стабільну систему «основа + конструкція», яка залишатиметься безпечною протягом всього строку експлуатації. Розглянемо основні моделі та методи, що дозволяють підвищити надійність конструкцій на схилах:

5.3.1 Інженерне укріплення схилів

Одним з найважливіших напрямів є стабілізація самого схилу, щоб запобігти його руйнуванню. До заходів інженерного захисту схилів належать:

- Підпірні стінки. Це, мабуть, найпоширеніший елемент – спеціальні стінки, зведені вздовж схилу, які утримують ґрунтовий масив від

сповзання. Підпірні стінки можуть бути монолітні або збірні залізобетонні, габіонні (скриньки з камінням), шпунтові, цегляні тощо. Їх розраховують на активний тиск ґрунту, що діє на стінку.



Рисунок 5.8 – Загальний вигляд підпірної стіни

Для підвищення надійності підпірної конструкції застосовують різні прийоми: збільшення товщини і жорсткості стіни, заглиблення її основи у стійкий шар ґрунту, влаштування спеціального «зуба» в підшві (що заанкерює стінку у ґрунт), нахил стінки всередину схилу (щоб компонент ваги стінки протидівав випиранню ґрунту), використання контрфорсів чи стовпів для опори, а також пальового фундаменту під стінкою.

Палі, заглиблені нижче ковзної поверхні зсуву, можуть ефективно перехоплювати зсувний потік ґрунту і утримувати його. При проектуванні підпірних стін на сейсмічні навантаження, як зазначалося, треба врахувати додатковий динамічний тиск – це робиться або введенням сейсмічного коефіцієнта у формули активного тиску (як у методі Монобе-Окубе), або повноцінним динамічним моделюванням взаємодії стінки і ґрунту. Відомо, що при недостатньому урахуванні сейсміки чи перепаду тисків підпірні стінки самі можуть зруйнуватися, як це траплялося в деяких проектах. Тому в критичних випадках підпірну стінку проектують з додатковим запасом і ставлять деформаційні шви для погашення коливань.

- Грунтові анкери і кріплення. Для високих схилів чи укосів виїмок одним лише підпірним муром може бути недостатньо. Застосовують систему анкерівки – це коли в масив ґрунту горизонтально або похило вводяться довгі стрижні або троси (анкерні тяги), закріплені на внутрішньому кінці у міцному шарі (або на розпірних пластинах), а на зовнішньому – зв’язані з підпірною стінкою або плитою на відкосі. Анкери утримують схил подібно до «скоб», значно збільшуючи стійкість. Їх розрахунок проводять виходячи з міцності ґрунту на зсув і міцності самого анкерного матеріалу, з великим коефіцієнтом запасу, оскільки відмова хоча б одного анкера може призвести до прогресуючого зсуву. Ще метод – спучування ґрунту цементациєю (jet-grouting): в свердловини під схилом нагнітають цементний розчин, створюючи тверді «колони», що скріплюють нестійкі шари ґрунту і перешкоджають ковзанню. Така технологія дозволяє укріпити схил з мінімальним втручанням у рельєф.

- Терасування і перепланування рельєфу. Надійність можна підвищити, якщо змінити геометрію схилу на більш стабільну. Наприклад, крутий схил розбивають на серію терас – горизонтальних площадок, підпираючи кожен перепад висоти невеликою стінкою. Це зменшує довжину потенційної ковзної поверхні і розвантажує нижні частини схилу. При цьому дуже важливо забезпечити, щоб при зрізанні схилу не порушити його природну рівновагу – земляні роботи проводяться поступово, із тимчасовим кріпленням виїмок. Перепланування може включати зняття нестабільних ґрунтів у верхній частині схилу, заміну їх легшим матеріалом або ущільнення. В умовах міської забудови навіть невелике зменшення кута схилу (наприклад, з 30° до 20°) різко підвищує стійкість, але потребує місця; якщо дозволяє територія, роблять берми – пологі укоси замість одного стрімкого. Всі такі планувальні рішення моделюються інженером, щоб переконатися у їх ефективності.

- Дренаж та водовідведення. Як вже підкреслювалось, вода – головний ворог стійкості. Тому невід’ємною частиною проекту зміцнення

схилу є дренажні системи. Уздовж схилу можуть бути влаштовані відкриті водостічні канави і лотки, щоб перехоплювати дощовий стік і відводити його у безпечне місце (стічну трубу, яр, водоприймач). В товщі ґрунту, за підпірними стінами, облаштовують дренажні шари з щебеню або спеціальні дренажні труби з отворами (перфоровані колектори), які збирають підземну воду і виводять її назовні нижче споруди. Знижуючи рівень ґрунтових вод, дренаж збільшує міцність ґрунту і зменшує тиск на стінки. У деяких випадках можуть бути пробурені дренажні свердловини (дренажи) в глибину схилу, особливо якщо є водоносний горизонт, що створює напір. Комплексний підхід до водовідведення включає також гідроізоляцію підземних частин будівлі, щоб вона сама не ставала шляхом проникнення води в схил.

- **Захист поверхні схилу.** Щоб схил не руйнувався від поверхневих факторів, застосовують біоінженерні методи: укріплення дерном, висадка трав і чагарників із розвиненою кореневою системою, які скріплюють верхній шар ґрунту і зменшують ерозію. Також використовують геотекстильні матеріали і георешітки, які розстеляють по схилу і засипають ґрунтом – вони діють як армування верхнього шару. У ділянках, схильних до осипання, кріплять схили сітками із сталевого дроту: такі сітки затримують дрібні фрагменти від падіння. У підніжжя схилу іноді роблять уловлювальні канави чи бони для перехоплення зійшого ґрунту. Всі ці заходи не підвищують несучу здатність схилу кардинально, але вони підтримують його поточний стан, запобігають деградації і тим самим непрямо сприяють довготривалій надійності споруди.

5.3.2 Особливості фундаментів і конструкцій на схилі

Окрім робіт з укріплення ґрунту, існують принципові рішення щодо самих конструкцій будівлі, які підвищують її надійність на схилі ділянці:

- **Спеціальні типи фундаментів.** На схилі звичайний мілкий стрічковий фундамент може бути непридатним через нерівномірний тиск і

різну глибину закладення з різних боків будинку. Популярним рішенням є палевий фундамент: будинок спирається на систему паль (буронабивних, забивних або гвинтових), які заглиблюються до щільних шарів ґрунту глибоко під схилом. Палі проходять через пухкі поверхневі шари і передають навантаження на стабільний ґрунт; одночасно вони виконують роль анкерів, що «прив'язують» будівлю до землі і протидіють зсуву. При правильному розрахунку палі здатні працювати навіть якщо частина схилу зверху з'їде – будівля залишиться стояти на палі. Інший варіант – ступінчасті фундаменти: під частинами будинку на різних рівнях роблять окремі фундаменти на різних відмітках, пов'язані між собою (фактично терасова схема будинку). Це дозволяє вписати конструкцію у рельєф без надмірних перепадів на одному фундаменті. Якщо ґрунти слабкі, може застосовуватись суцільна залізобетонна плита (плитний фундамент) з армуванням, яка рівномірно розподіляє навантаження; на схилі її роблять з перемінною товщиною або з бортами, щоб адаптувати до ухилу. В будь-якому випадку глибина закладення фундаменту з боку схилу зазвичай більша, ніж з верхнього боку – це робиться, щоб уникнути виступання фундаменту із землі та втрати опору. Розрахунок фундаментів на схилі проводять із урахуванням ексцентриситету навантаження (дом, стоячи на схилі, прагне перекинутися вниз) – тому їх роблять ширшими або/та закладають армування проти зсуву.

- Сейсмостійкі конструктивні рішення. Якщо місцевість сейсмічно активна, в самій конструкції будівлі закладаються особливі елементи, які підвищують стійкість до коливань. Це, наприклад, додаткові діафрагми жорсткості (стінки або рами), які запобігають деформаціям каркасу; арматурні випуски і хомути у фундаментних балки для спільної роботи з підпірними стінками; спеціальні сейсмічні шви, які дозволяють будівлі коливатися незалежно від укріплень схилу. Застосовуються також концепції контрольованого руйнування: передбачається, що у разі надпотужного землетрусу деякі другорядні елементи зруйнуються або відключаться, поглинувши енергію, зате основний каркас і опори збережуться (це збільшує

шанси будівлі вистояти). Наприклад, можуть встановлюватись зв'язки (ригелі) між підпірними конструкціями, які розраховані на те, щоб при певному рівні навантаження зруйнуватися і тим самим запобігти передачі надлишкової сили на головні опори – фактично «запобіжники». Такі рішення потребують складного розрахунку і моделювання сценаріїв, але вони є проявом сучасного підходу, орієнтованого на граничну безпеку.

- Використання маси ґрунту як конструктивного елемента. Цікавий інноваційний підхід до підвищення надійності на схилі полягає в тому, щоб саме ґрунту надати конструктивну роль. Наприклад, нещодавно були запропоновані конструкції вигнутих (радіальних) підпірних стін, котрі утворюють разом зі схилом єдину систему. Суть ідеї: замість прямої підпірної стіни виконують стінку по дузі (увігнуту до ґрунту), розбиваючи її на секції. При такій конфігурації частина горизонтального тиску ґрунту перетворюється в обтиск по дузі – виникає ефект склепіння ґрунту, і навантаження на стінку розподіляється рівномірніше.

Ґрунт між вигнутими секціями стінки «замкнений» і працює як велика арка, що підтримує сам себе. Таким чином, ґрунтовий масив частково бере на себе навантаження, зменшуючи вимоги до міцності залізобетону. Моделювання показало, що напруження в землі при цьому перерозподіляються: тиск складається з основної компоненти від ваги ґрунту і додаткової – від склепінчастого ефекту, причому загальний максимум менший, ніж при плоскій стінці.

Крім того, вигнута стіна через свою форму краще протидіє зсуву блоків ґрунту, адже кожен блок впирається в криволінійну поверхню. Така інженерна модель дозволила суттєво підвищити стійкість схилу при сейсмічних впливах. Дослідники зазначили, що застосування напіврадіальної підпірної стінки із вигнутими плитами лицевої поверхні може підвищити загальну сейсмостійкість настільки, що фактична сейсмічна небезпека для майданчика зменшується на одну ступінь (за шкалою інтенсивності) у порівнянні з незакріпленим схилом.

Іншими словами, якщо район відноситься до 8-бальної сейсмічної зони, то будова на укріпленому таким чином схилі відчуває навантаження приблизно як у 7-бальній зоні, що є значним покращенням. Це яскравий приклад, як нетрадиційне проектне рішення (модернізована конструкція підпірної стіни) призводить до підвищення надійності системи "схил–споруда".

- Полегшені і композитні матеріали. Ще одна стратегія підвищення надійності на схилі – зменшення навантаження на схил шляхом використання легших конструкцій. Якщо замінити масивні важкі матеріали (скажімо, бетонні перекриття) на легкі (металеві чи дерев'яні), то загальна вага будівлі, що тисне на ґрунт, буде меншою, а отже, і ризик зсуву знижується. Звичайно, це має межі, і несучі елементи мусять забезпечувати міцність, але застосування композитних конструкцій (сталь+бетон, дерев'яно-клеєні тощо) іноді дозволяє відчутно полегшити споруду без втрати її несучої здатності. Наприклад, для терасної підпірної стінки можуть використовуватися пустотілі блоки, що заповнюються легким дренажним матеріалом, замість суцільного бетону – така стінка чинить менший тиск на основу схилу. В каркасних будинках на схилі перевагу надають легким каркасно-панельним конструкціям і менше використовують цеглу чи моноліт. Це не означає, що міцність нижча – просто іншими засобами досягається потрібна твердість і стійкість, зате фундамент працює в більш сприятливих умовах.

5.3.3 Застосування сучасних матеріалів і технологій

Надійність і довговічність конструкцій тісно пов'язані з тим, з чого вони зроблені і як захищені. Інновації у матеріалознавстві дають інженерам нові можливості для підвищення надійності споруд на схилах:

- Високоміцні та стійкі бетони. Використання бетонів підвищеної міцності та морозостійкості дозволяє створювати конструкції з більшим запасом міцності та довговічності. Сьогодні доступні композиційні в'язучі на

основі доменних шлаків, пуцоланових добавок, золи, лужних активаторів – так звані алкалі-активовані цементи або шлаколужні цементи. Такі матеріали мають ряд переваг: по-перше, вони можуть досягати високої початкової міцності і щільності, що важливо для підпірних стін (зменшує проникність води, корозію арматури); по-друге, вони екологічніші та дешевші, оскільки утилізують промислові відходи і вимагають менше енергії на виробництво; по-третє, їх повзучість і тепловиділення нижчі, що зменшує ризик тріщиноутворення у масивних елементах. В контексті схилів, де може бути агресивне середовище (наприклад, ґрунтові води з сульфатами), сульфатостійкі цементи та добавки (типу пуцоланів) захищають бетон від руйнування. Таким чином, сучасні бетони забезпечують і міцність, і довговічність підпірних конструкцій, що безпосередньо підвищує їх надійність у часі.

- Армування та нові види арматури. Сталеву арматуру в елементах, що контактують з ґрунтом, зараз часто замінюють або доповнюють композиційною (склопластиковою) арматурою, яка не піддається корозії. Це актуально для фундаментів і підпірних стінок на схилі: звичайна сталь з часом може проржавіти через вологу, і міцність елемента знизиться, тоді як полімерні стрижні не іржавіють і забезпечують стабільність несучої здатності. Крім того, у критичних зонах конструкцій (наприклад, у місцях сполучення фундаменту з підпірною стінкою) застосовують волокнисті фібри в бетоні – це дрібні волокна (сталеві, базальтові, поліпропіленові), що розподілені в тілі бетону. Фібробетон має кращу тріщиностійкість і ударну в'язкість, він більш «дуктильний», тобто може деформуватися, не руйнуючись раптово. Для схилових споруд це важливо, бо вони можуть зазнавати нетипових деформативних впливів (наприклад, часткового просідання ґрунту під частиною фундаменту) – і в таких випадках фіброармований бетон здатний витримати розтягувальні деформації без втрати цілісності.

- Моніторинг та сенсори. Сучасні підходи до надійності включають не лише пасивні заходи (міцні конструкції), а й активний

моніторинг стану споруди та схилу. У важливих випадках у схил закладають датчики руху (інклінометри), що відстежують найменші зсуви ґрунту, а в конструкції – тензодатчики, акселерометри для фіксації деформацій і вібрацій. Дані з цих сенсорів можуть у реальному часі сигналізувати про небезпечні тенденції (напр., початок повзучого зсуву або перевищення розрахункових напружень). Це дозволяє завчасно вжити заходів: евакуювати людей, розвантажити схил, виконати додаткове укріплення. Моніторинг особливо корисний протягом першого року-двох після будівництва, коли відбувається основне ущільнення ґрунтів і проявляються «дитячі хвороби» конструкції. В подальшому його можна здійснювати періодично, наприклад, перед і після сильних злив чи землетрусів – це частина системи експлуатації споруди, спрямованої на підтримання її надійності.

- Розрахункові моделі та програмні системи. В наш час інженери мають у розпорядженні потужні інструменти моделювання, які значно підвищують якість оцінки надійності. Наприклад, геотехнічні програмні комплекси (PLAXIS, GeoStudio тощо) здатні проводити чотиривимірне моделювання (3D + час) поведінки «схил–фундамент–споруда».

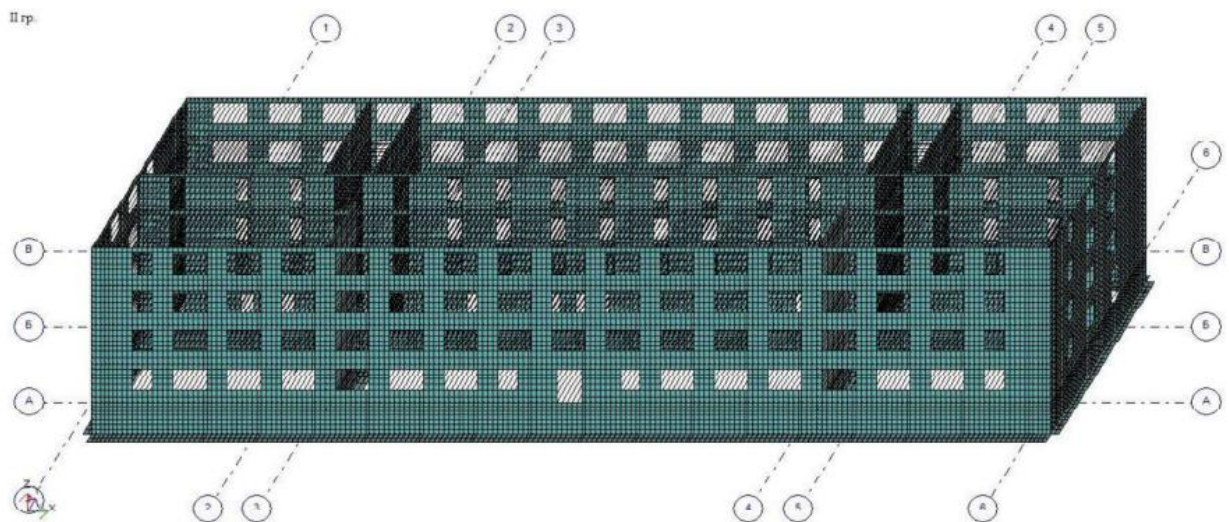


Рисунок 5.9 – Створення моделі будівлі в ПК ЛІРА [38]

Можна змоделювати покроково процес будівництва: виїмка ґрунту, зведення стін, навантаження від поверхів – і простежити, як кожен етап впливає на стійкість схилу. Такі моделі враховують нелінійну роботу ґрунту, пластичні деформації, фільтрацію води, що дає реалістичну картину напружено-деформованого стану. На основі цього моделювання інженер може підбирати оптимальні параметри конструкцій – скажімо, довжину анкера або крок паль – і відразу бачити, як змінюється коефіцієнт стійкості укосу чи переміщення.

Програмне забезпечення дозволяє виконувати і ймовірнісний аналіз: задавши розкид параметрів ґрунту чи навантажень, можна провести статистичне моделювання (напр. Монте-Карло) і визначити ймовірність порушення стійкості.

Основний тиск масиву ґрунту на поверхню підпірної стінки визначається як активний тиск на циліндричну огорожу з урахуванням додаткових сил, що виникають у результаті тертя між ґрунтом і конструкцією. Розрахункова залежність для визначення цього тиску має вигляд (5.1):

$$p_g = (1 + K_p)p_{a,r} \quad (5.1)$$

де K_p – коефіцієнт, що враховує додатковий тиск, зумовлений силами тертя вздовж огорожувальної поверхні;

$p_{a,r}$ – активний тиск ґрунту на гладку циліндричну стінку при відсутності зчеплення.

Напрямок і конфігурація поверхні ковзання встановлюються на основі умови максимуму активного тиску. Кут нахилу конічної поверхні ковзання θ (кут між поверхнею ковзання і горизонтом) визначається залежністю (5.2):

$$\frac{h}{R} = 3 \frac{\sin 2\theta - \sin 2(\theta - \varphi)}{\sin 2\theta - \sin 2(\theta - \varphi)} \operatorname{tg} \theta \quad (5.2)$$

де h – висота підпірної стінки;

R – радіус циліндричної поверхні;

φ – кут внутрішнього тертя ґрунту;

ψ – кут тертя ґрунту об стінку;

θ – шуканий кут поверхні ковзання.

Якщо висота стінки перевищує значення $h > R \cdot \operatorname{tg}\theta$, то внутрішня утворююча ковзного тіла перетинає центральну вісь циліндричної стінки. У цьому випадку тиск нижче глибини $z = R \cdot \operatorname{tg}\theta$ стає практично постійним і може бути визначений за виразом (5.3):

$$\frac{h}{R} = \frac{\sin 2\theta - \sin 2(\theta - \varphi)}{6 \cos^2 \theta} \quad (5.3)$$

Для ґрунтів із кутом внутрішнього тертя φ у межах $25\text{--}35^\circ$ кут θ наближається до значення $\approx 75^\circ$, що приводить до умови $h > 3,73R$, тобто висота конструкції повинна бути не меншою, ніж 3,73 радіуса кривизни стінки.

Для стінки з параметрами $h = 10$ м та $R = 8$ м отримуємо співвідношення (6.4):

$$\frac{h}{R} = \frac{10}{8} = 1,25 < 3,73 \quad (5.4)$$

, що означає відсутність умов для перетину ковзною поверхнею центральної осі, а отже тиск змінюється по глибині.

Дослідження напружено-деформованого стану підпірної стінки виконується з оцінюванням основних величин: нормальних напружень σ , деформацій ε , переміщень u (амплітуд), власних періодів коливань T , швидкостей \dot{v} та прискорень a . Ці параметри необхідні для визначення поведінки конструкції в умовах статичних і динамічних навантажень, включно із сейсмічним впливом.

Економічний ефект від застосування конструктивних заходів, що підвищують сейсмічну стійкість підпірної стінки, визначається як різниця між середньомівірними втратами для споруд зі звичайними характеристиками та споруд, обладнаних системами, що вимикаються при досягненні певного рівня сейсмічних навантажень. Формула має вигляд (5.5):

$$E_I = [\rho_{\text{ран}}^n - \rho_{\text{ран}}^{\text{СВС}}] \cdot C \quad (5.5)$$

де $\rho_{\text{ран}}^n$ – середньомівірні витрати для конструкцій з постійними динамічними параметрами;

$\rho_{\text{ран}}^{\text{СВС}}$ – витрати при використанні конструктивних елементів, що вимикаються під час землетрусу;

C – повна вартість споруди.

За даними інженерної практики, у регіонах із сейсмічністю 9 балів вартість загальноприйнятих антисейсмічних заходів зазвичай становить 10–12% від вартості об'єкта. У 7-бальних районах ці витрати становлять 3–4%.

Це пряме впровадження методів, описаних у розділі 6.1, для конкретного схилу. Таким чином, сучасне моделювання – невід'ємна складова забезпечення надійності, бо воно мінімізує невідомі фактори і дає можливість проектувати конструкцію з врахуванням найгірших сценаріїв.

5.3.4 Експлуатаційні заходи для підтримання надійності

Окрім проектно-будівельних методів, слід згадати і про етап експлуатації. Надійність – це динамічна характеристика, і щоб її підтримувати, потрібен постійний контроль та догляд за спорудою:

- Регулярні огляди та обстеження схилу й конструкцій: після сильних дощів перевіряти, чи не з'явилися тріщини на укосі або на стінах, чи не відбулося просідань.

- Ремонт дрібних пошкоджень: своєчасне закладення тріщин, виправлення просілих ділянок підпірних стін, очистка дренажів. За рахунок ремонтпридатності можна значно подовжити довговічність – наприклад, якщо виявлено, що індекс надійності споруди знизився (через накопичені пошкодження), проводять підсилення конструкцій, аби повернути його до потрібного рівня.

- Обмеження навантажень: у деяких випадках на експлуатованому схилі може вводитись заборона на додаткові навантаження – наприклад, обмеження руху важкої техніки або заборона добудов без окремого аналізу. Це робиться, щоб не перевищити розрахункових припустимих впливів на схил.

- Аварійні плани: навіть найнадійніша система не застрахована від надзвичайних обставин, тому бажано мати план дій на випадок виявлення ознак зсуву чи деформацій – аж до евакуації мешканців, якщо ризик стає високим. Наявність такого плану підвищує загальну безпеку експлуатації об'єкта.

Будівництво об'єктів на покатих схилах – складне, але здійсненне завдання за умови, що пріоритетом є надійність інженерних конструкцій.

Надійність будівельних конструкцій – це здатність безпечної та безвідмовної роботи протягом усього життєвого циклу. Для споруд на схилах цей принцип набуває особливої ваги, адже навантаження і умови тут більш непередбачувані. Забезпечення надійності є комплексним завданням, що включає гарантування міцності, стійкості та довговічності конструкцій, а також врахування ризиків для людей і середовища. Без досягнення потрібних показників надійності реалізація проекту на схилі є неприпустимою.

Схили висувають додаткові вимоги до проектування: необхідно оцінити стійкість ґрунтової основи, виявити потенційні зсувні поверхні, врахувати вплив води, геологічних особливостей і сейсмічних факторів. Порівняно з рівнинним будівництвом, на схилі значно зростає роль інженерно-геологічних вишукувань і постійного моніторингу умов. Надійність

конструкції вже неможливо розглядати ізольовано від надійності самого схилу – вони утворюють єдину систему. Тому проектувальник має передбачити не тільки міцність будівлі, але й стабільність рельєфу після втручання. Дотримання нормативних документів щодо будівництва у складних умовах і належне планування дозволяють уникнути більшості небезпек.

Сучасне моделювання є потужним інструментом, що дозволяє “прорахувати” поведінку конструкції на схилі ще до будівництва і тим самим усунути слабкі місця. Використання ймовірнісних методів аналізу дає можливість кількісно оцінити ризик відмови і вибрати оптимальні параметри конструкцій. Інноваційні інженерні рішення – такі як нові типи підпірних стін, удосконалені фундаменти, композитні матеріали – помітно підвищують безпеку і довговічність споруд. Застосування цих технологій повинно йти в ногу з накопиченням досвіду та наукових досліджень у галузі геотехніки і будівельної механіки, оскільки кожен схил є унікальною системою.

Для будівництва на схилі недостатньо якогось одного рішення – лише поєднання багаторівневих заходів гарантує успіх. Необхідно забезпечити: стабілізацію ґрунту (палі, кріплення, дренаж), міцність конструкцій (запас несучої здатності, сейсмостійкість), захист від довготривалих впливів (води, корозії), а також налагодити систему контролю і обслуговування споруди протягом експлуатації. Тільки такий системний підхід дозволить споруді вистояти на схилі в умовах можливих змін – від сильних злив і землетрусів до поступового природного старіння матеріалів. У разі реалізації усіх вищенаведених рекомендацій будинок на покатому схилі може бути таким же надійним, як і на рівнині.

ВИСНОВКИ

1. У межах дипломного проєкту розроблено комплексну структуру, що включає п'ять основних розділів: архітектурно-будівельний, розрахунково-конструкторський, організаційно-технологічний, охорони праці та науково-дослідницький. Проєкт охоплює повний цикл обґрунтування будівництва торгівельно-розважального центру в м. Запоріжжя, включаючи генеральний план, конструктивні рішення, інженерні системи, технологію виконання робіт та забезпечення безпеки. Науково-дослідницький розділ спрямовано на аналіз надійності конструкцій на покатих схилах і методів підвищення стійкості будівельних систем..

2. Розроблено методологічний підхід до будівництва на покатих схилах, що ґрунтується на визначенні факторів ризику, оцінюванні стійкості ґрунтової основи та виборі конструктивних рішень, які забезпечують надійність споруд у складних інженерно-геологічних умовах. Методика враховує взаємодію фундаментів зі схилом, можливі деформації та зсувні процеси, необхідність інженерного укріплення, застосування сучасних матеріалів і технологій, а також експлуатаційні заходи для довгострокового збереження стійкості будівлі..

3. Виконано аналіз особливостей роботи конструкцій на схилах та узагальнено технічні засоби підвищення їх надійності: укріплення схилів, застосування адаптованих фундаментів, конструкцій, стійких до деформацій, а також використання сучасних матеріалів. Розглянуто основні ризики – нерівномірні осідання, зсувні процеси та зміни напруженого стану будівлі..

4. Результати дослідження підтвердили ефективність комплексного підходу до забезпечення надійності споруд на схилах. Поєднання інженерного укріплення, правильного вибору конструктивної схеми та експлуатаційних заходів дозволяє зменшити ризики зсувів, підвищити стійкість будівлі та забезпечити довговічність конструкцій у складних геологічних умовах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ Б А.2.4-6:2009 Правила виконання робочої документації генеральних планів, – 30с.
2. ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», К.: Мінрегіон України, 2017, – 47с.
3. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія [Чинний від 01.11.2011], 80с. (Інформація та документація).
4. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 01.09.2022]. Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП «ДНДІБК»), 23с. (Інформація та документація).
5. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель [Чинний від 01.03.2023]. ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК), 60с. (Інформація та документація).
6. ДСТУ EN 14351-1:2020 Вікна та двері. Вимоги. Частина 1. Вікна та зовнішні двері (EN 14351-1:2006 + A2:2016, IDT)
7. ДСТУ 8855:2019 Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності) [Чинний від 01.12.2019]. Технічний комітет стандартизації «Експертиза містобудівної та проектної документації на будівництво» (ТК 319), 19с. (Інформація та документація).
8. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Залізобетонні та кам'яні конструкції» (для слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.06010101 – «Промислове та цивільне будівництво») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова; уклад.: Є. С. Сєдишев. – Х.: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2013. – 50 с.
9. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011, 71с.

10. Методичні вказівки до виконання з дисципліни «Залізобетонні та кам'яні конструкції». Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: Є. Г. Стоянов, Н. О. Псурцева. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 35 с.

11. Конспект лекцій з курсу «Проектування залізобетонних конструкцій» (для студентів 4 і 5 курсів всіх форм навчання напряму підготовки 6.060101 / Є. Г. Стоянов, Н. О. Псурцева; Харків. НУ міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 105с.

12. ДСТУ 3760:2019 Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови, 28с.

13. Організація будівництва/ С.А. Ушацький, Ю.П. Шейко, Г.М. Тригер та ін.; За редакцією С.А. Ушацького. 0-64 Підручник. – К.: Кондор, 2007. – 521 с.

14. Організація будівельного виробництва: навчальний посібник / А. М. Дорош. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 255 с.

15. Система проектної документації для будівництва. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів: ДСТУ Б В.1.2-3:2006. – [Чинний від 1 січня 2007]. – К. : Держстандарт України, 2007. – 14 с. – (Національні стандарти України).

16. ДБН А.3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва, 62с.

17. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», К.: Мінрегіон України, 2016. – 66с.

18. ДСТУ Б В.2.8-43:2011 Огородження інвентарних будівельних площ і ділянок виконання будівельно-монтажних робіт. Технічні умови (ГОСТ 23407-78, MOD), К.: Мінрегіон України, 2012. – 12с.

19. Кошторисні норми України. Настанова з визначення вартості будівництва, 57с.

20. Конспект лекцій дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі», змістовний модуль «Цивільний захист», для студентів усіх спеціальностей та всіх форм навчання / Укл.: М. О. Журавель – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка». Каф. ОП і НС, 2020 р. – 49 с.

21. Залізобетонні конструкції. Методичні рекомендації до практичних занять для студентів напряму підготовки 6.060101 Будівництво/ В.Є. Волкова. – Д.: ДВНЗ Національний гірничий університет, 2013. – 25 с
22. ДБН В.2.2-5:2023 Захисні споруди цивільного захисту, 131 с.
23. ДСТУ Б А.3.2-13:2011 Система стандартів безпеки праці. Будівництво. Електробезпечність. Загальні вимоги, К.: Держбуд України, 2012. – 14с.
24. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення», К.: Мінрегіон України, 2018. – 137с.
25. ДСТУ Б А.3.2-15:2011 «Норми освітлення будівельних майданчиків (ГОСТ 12.1.046-85, MOD)», К.: Мінрегіон України, 2012. – 31с.
26. ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека у будівництві», К.: Держбуд України, 2012. – 202с.
27. Конспект лекцій з курсу «Безпека праці в будівництві». Заіченко В. І. 2014 – 97с.
28. ДСТУ 2293:2014 «Охорона праці. Термини и визначення основних понять», Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та
29. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження та впливи: ДБН В.1.2-2:2006.
30. ДСТУ EN ISO 12100:2016 «Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання ризиків та зменшення ризиків», ДП «УкрНДНЦ», 2016, 110 с.
31. Малихін, М. (2024). Переналаштування змісту підготовки проєктів девелопменту на успішну реалізацію в умовах цифрового суспільства та цифрової економіки. Будівельне виробництво, (77), 74-84. <https://doi.org/10.36750/2524-2555.77.74-84>
32. Редкін О.В., Пальцун О.В. Організація та управління процесами завершення будівельних проєктів і переходом до періоду їх експлуатації // Збірник наукових праць Галузеве машинобудування будівництво. 2017. Вип. 1(46). С. 302–308.

33. Соколов, В., & Сухов, В. (2023). Вплив небезпечних геологічних та техногенних процесів при виконанні інженерно-геологічних вишукувань для будівництва на екологічну безпеку в сучасний період. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*, (58), 111-121. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-09>

34. С.В. Колесніченко та ін. (2025). Визначення залишкового ресурсу будівельних сталевих конструкцій за показниками індексу надійності. *Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини*, 25, 48-55. <https://doi.org/10.31650/2707-3068-2021-25-48-55>

35. Farenjuk, G. (2018). Роль науки у вирішенні питань щодо забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. *Наука та будівництво*, 18(4), 5-12. <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v18i4.51>

36. Лисницька К., Першаков В. (2018). Оцінка надійності будівлі на прикладі житлового будинку. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, 1(3), 58–67. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.3.2018.58-67>

37. Барашиков А. Я. Оцінювання технічного стану будівель та інженерних споруд/ А. Я. Барашиков, О. М. Малишев: Навч. пос. для студ. вищих навч. закл. – К.: Основа, 2008.– 320 с.

38. Випробування конструкцій, обстеження та моніторинг будівель і споруд : підручник/В.З.Кліменко, І.Д.Белов; Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт.-2-ге вид., доп. і перероб.-Київ:Кондор,2015 .-571 с.-(іл.) .

39. Основи теорії надійності будівель і споруд. Навчальний посібник для студентів будівельних спеціальностей усіх форм навчання / В.А Пашинський: – Кропивницький: ЦНТУ, 2016. – 155