

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 проекту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на ТЕМУ БУДІВНИЦТВО 3-ПОВЕРХОВОЇ ТОРГІВЕЛЬНОЇ  
МОНОЛІТНОЇ БУДІВЛІ "АПОЛЛОН" В М. ЗАПОРІЖЖЯ  
CONSTRUCTION OF A 3-STOREY MONOLITHIC COMMERCIAL  
BUILDING "APOLLON" IN THE CITY OF ZAPORIZHZHIA

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи БАД-114м  
Спеціальності 192 Будівництво та цивільна  
інженерія

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Промислове та цивільне будівництво

Федина Л.Т.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кулік М.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище 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**  
 Завідувач кафедри БВУП, к.т.н, доц.  
О.М. Назаренко  
 “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

ФЕДИНА Лілія Тарасівна

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Будівництво 3-поверхової торгівельної монолітної будівлі "аполлон" в м. Запоріжжя. Construction of a 3-storey monolithic commercial building "Apollon" in the city of Zaporizhzhia

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент КУЛІК Михайло Валерійович,  
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 року №\_\_

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 12 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) рекомендована література, технічне завдання, природно-кліматичні 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)

Слайди презентації, графічний матеріал 9 аркушів А1 роздруковані на А3 зброшуровані

## 6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Архітектурно-будівельний розділ	Кулік М.В., доцент		
Розрахунково-конструктивний розділ	Кулік М.В., доцент		
Організаційно-технологічний розділ	Кулік М.В., доцент		
Охорона праці та цивільна безпека	Кулік М.В., доцент		
Науково-дослідний розділ	Кулік М.В., доцент		
Нормоконтролер	Бобраков А.А., доцент		

7. Дата видачі завдання “ 14 ” 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	Виконання науково-дослідної частини	2-3 тиждень	Розділ 5
3	Розробка архітектурно-будівельних рішень.	4 тиждень	Розділ 1
4	Розробка розрахунково-конструктивної частини.	5 тиждень	Розділ 2
5	Прийняття організаційно-технологічних рішень	6-7 тиждень	Розділ 3
6	Розробка заходів з охорони праці та цивільної безпеки.	8 тиждень	Розділ 4
7	Оформлення пояснювальної записки та документів до неї	9 тиждень	
8	Оформлення графічної частини	10 тиждень	
9	Нормоконтроль та рецензування	11 тиждень	
10	Захист роботи.	12 тиждень	

Студент(ка)

\_\_\_\_\_ Лілія ФЕДИНА  
( підпис ) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

\_\_\_\_\_ Михайло КУЛІК  
( підпис ) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

**Структура та обсяг роботи.** Робота являє собою наукове дослідження, а також включає в себе вирішення інженерних задач на прикладі будівництва триповерхової монолітної торгівельної будівлі в м. Запоріжжі. Робота складається із вступу, п'яти розділів (П'ятий розділ – наукові дослідження, інші – вирішення інженерних задач), висновків, списку використаних джерел та додатків.

**Методи дослідження** - у роботі проведено теоретичне дослідження із використанням комп'ютерних технологій та програмного забезпечення, методів операційних досліджень, когнітивної структуризації знань, системного аналізу, теорії прийняття рішень.

**Об'єкт дослідження** – оптимізація організаційно-технологічних процесів монолітного будівництва.

**Предмет дослідження** – теоретизація розробки та впровадження сучасних опалубочних систем із засобами прискорення тужавіння бетону.

**Актуальність теми** зумовлена важливою складовою розвитку сучасних технологій монолітного будівництва, сучасні вимоги до темпів зведення споруд, енергоефективності та економічності будівництва потребують пошуку нових інженерних рішень, які забезпечують скорочення технологічних перерв і підвищення міцності бетонних конструкцій на ранніх етапах твердіння. Теоретичне обґрунтування таких систем дозволяє оптимізувати конструктивні параметри опалубки, поєднати їх із системами термостатування чи електропрогріву, що сприяє рівномірному прогріванню бетону, зменшенню енергозатрат та підвищенню надійності готових конструкцій

**Ключові слова:** опалубочні системи, тужавіння бетону, прискорення твердіння, монолітне будівництво, енергоефективність, термостатування, електропрогрів, теоретичне обґрунтування, оптимізація технологічних процесів.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ .....	9
1.1 Загальна характеристика ділянки.....	9
1.1.1 Загальна характеристика будинку .....	10
1.2 Об'ємно-планувальне рішення .....	11
1.3 Конструктивні рішення .....	12
1.3.1 Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва 3-и поверхової монолітної торгівельної будівлі. ....	13
1.4 Теплотехнічний розрахунок огорожуючих конструкцій. ....	15
1.4.1 Розрахунки зовнішньої стіни будівлі. ....	15
1.4.2 Теплотехнічний розрахунки покриття будівлі. ....	18
1.5 Зовнішня та внутрішня обробка. ....	19
1.6 Санітарно-технічне та інженерне встаткування. ....	21
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНИЙ.....	24
2.1 Розрахунок та конструювання .....	24
2.2 Навантаження та впливи.....	25
2.3 Вітрове навантаження.....	28
2.4 Снігове навантаження.....	31
2.5 Статичний розрахунок .....	32
2.6 Аналіз статичних розрахунків .....	36
2.7 Розрахунки монолітної плити перекриття на рівні +4.400 .....	42
2.8 Розрахунки монолітних стін на рівні +4.400.....	46
2.9 Розрахунок основ та фундаментів .....	49
2.9.1 Початкові розрахункові дані для розрахунку монолітної фундаментної плити.....	50
2.9.2 Розрахунки фундаментної плити.....	52
2.9.3 Створення розрахункової схеми фундаментної плити.....	54
2.9.4 Аналіз результатів розрахунків фундаментної плити по деформаціям .....	55
2.9.5 Результати розрахунків колон та монолітних стін .....	56
РОЗДІЛ 3. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ.....	96
3.1 Розробка технологічної картки на влаштування монолітної плити перекриття типового поверху .....	96
3.1.1 Вибір монтажних пристроїв.....	96
3.1.3 Розрахунок потреби в будівельних матеріалах.....	105
3.1.4 Розрахунок потреби у воді для потреб будівництва та ви-значення діаметра труб тимчасового водопроводу.....	106
3.1.5 Розрахунок споживання електричної енергії, підбір трансформаторного обладнання та визначення перерізу проводів для тимчасових електричних мереж будівельного майданчика. ....	109
3.1.6 Визначення потреби в тепловій енергії та підбір джерел для тимчасового теплопостачання будівельного майданчика .....	111
3.2 Улаштування системи утеплення типу «мокрый фасад» .....	112
3.3 Будівельний генеральний план .....	114

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ В БУДІВНИЦТВІ .....	121
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів на будівельному майданчику.....	121
4.2 Техніка безпеки при проведенні опалубних робіт.....	123
4.3 Техніка безпеки при виробництві арматурних робіт.....	125
4.4 Узагальнений розрахунок несучої здатності монолітної колони під дією температури 200 °С.....	128
5.1 Аналіз засобів підвищення міцності та швидкості тужавіння бетону.....	131
5.2 Аналіз систем опалубок на міцнісні характеристики бетону та прискорення тужовіння бетону.....	137
5.3 Прискорення тужавіння та раннього тверднення бетону: хімічні основи, моделювання та вдосконалена опалубка .....	138
5.3.1 Інтегровані постійні форми з керованим режимом тверднення.....	145
5.3.2 Математичне моделювання тверднення бетону .....	147
5.4 Конструкція експериментальної опалубки для прискореного тужавіння.....	150
ВИСНОВКИ.....	155
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	158

## ВСТУП

В Україні актуальною є проблема підвищення ефективності теоретичних і прикладних досліджень у сфері розробки та впровадження сучасних опалубочних систем, спрямованих на прискорення тужавіння бетону. Зростання темпів будівництва та потреба у скороченні технологічних циклів зумовлюють необхідність вдосконалення методів проектування, розрахунку та оптимізації процесів бетонування в монолітних конструкціях. Підвищення вимог до енергоефективності, надійності та довговічності споруд потребує впровадження інноваційних рішень, що поєднують сучасні конструктивні системи опалубки із засобами теплового або електричного впливу на бетон для інтенсифікації процесу твердіння. Використання сучасних комп'ютерних технологій моделювання дозволяє теоретично обґрунтувати ефективність таких систем, оцінити їхню роботу в реальних умовах і визначити оптимальні параметри впливу. Дослідження здійснено в межах наукової роботи кафедри будівельного виробництва та управління проектами.

Мета роботи — теоретичне обґрунтування принципів розробки та впровадження сучасних опалубочних систем із засобами прискорення тужавіння бетону, спрямоване на підвищення ефективності процесів монолітного бетонування, скорочення тривалості будівельного циклу та забезпечення належної якості й надійності бетонних конструкцій.

Об'єкт дослідження – оптимізація організаційно-технологічних процесів монолітного будівництва.

Предмет дослідження – теоретизація розробки та впровадження сучасних опалубочних систем із засобами прискорення тужавіння бетону.

Актуальність теми зумовлена важливою складовою розвитку сучасних технологій монолітного будівництва, сучасні вимоги до темпів зведення споруд, енергоефективності та економічності будівництва потребують пошуку нових інженерних рішень, які забезпечують скорочення технологічних перерв і підвищення міцності бетонних конструкцій на ранніх етапах твердіння. Теоретичне обґрунтування таких систем дозволяє оптимізувати конструктивні

параметри опалубки, поєднати їх із системами термостатування чи електропрогріву, що сприяє рівномірному прогріванню бетону, зменшенню енергозатрат та підвищенню надійності готових конструкцій.

Наукова новизна одержаних результатів. У роботі теоретично обґрунтовано принципи розробки сучасних опалубочних систем із засобами прискорення тужавіння бетону, визначено їх вплив на технологічні та фізико-механічні характеристики процесу формування монолітних конструкцій. Проведено аналіз взаємозв'язку між параметрами опалубки, режимами теплового впливу та швидкістю тужавіння бетону, що дозволило сформулювати науково обґрунтовані рекомендації щодо продовження наукових досліджень у цьому напрямку.

## РОЗДІЛ 1. АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ

### 1.1 Загальна характеристика ділянки

Місцем реалізації проєкту є ділянка в межах міста Запоріжжя, де передбачається зведення сучасної триповерхової монолітної торговельної будівлі “АПОЛЛОН”.

Згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2021 “Теплова ізоляція будівель”, територія м. Запоріжжя належить до II температурної зони, що враховується під час проєктування огорожувальних конструкцій, вибору матеріалів і визначення теплотехнічних характеристик будівлі.

Глибина промерзання ґрунтів є одним із ключових факторів, що впливає на надійність і довговічність фундаментів будівель. Для триповерхової монолітної торговельної будівлі “АПОЛЛОН” у місті Запоріжжя цей показник має особливе значення, оскільки від нього залежить стійкість споруди, рівномірність осідань і відсутність деформацій під час експлуатації. Під час промерзання ґрунт збільшується в об’ємі, а під час відтавання — зменшується, що призводить до морозного спучування. Якщо фундамент закладено вище рівня промерзання, це може викликати нерівномірні осідання, появу тріщин у стінах, перекося конструкцій та пошкодження інженерних мереж. Тому глибина закладання фундаментів має бути нижчою за розрахункову глибину промерзання або компенсована за рахунок теплоізоляції та дренажних систем.

Відповідно до положень ДБН В.2.1-10:2009 “Основи та фундаменти споруд”, для визначення глибини промерзання ґрунтів на ділянці будівництва слід користуватися довідковими даними щодо нормативної глибини сезонного промерзання ґрунту ( $d_{fn}$ , м).

За відсутності багаторічних спостережень допускається розрахунок зазначеного параметра на основі теплотехнічних розрахунків, а його нормативне значення може бути визначене за формулою:

$$d_{fn}=d_0\sqrt{M_t}=0,62 \text{ м} \quad (1.1)$$

де  $d_0$  – величина, що характеризує теплотехнічні властивості ґрунту, м.  
Для суглинків і глин приймається  $d_0 = 0,23$  м;

$M_t$  – безрозмірний температурний коефіцієнт, який дорівнює сумі абсолютних значень середньомісячних від’ємних температур повітря за зимовий період. Для м. Запоріжжя, відповідно до ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, приймається  $M_t = 7,2$ ;

Для будівництва торговельної будівлі “АПОЛЛОН” у Запоріжжі прийнято такі розрахункові кліматичні параметри:

- розрахункова температура найхолоднішої доби —  $-27$  °С;
- розрахункова температура найхолоднішої п’ятиденки —  $-23$  °С;
- снігове навантаження для III снігового району —  $1110$  Па;
- територія належить до III вітрового району, з розрахунковим тиском вітру  $460$  Па.

### **1.1.1 Загальна характеристика будинку**

Будинок – житлова будівля;

Клас будинку по ступеню довговічності – I;

Клас будинку по ступеню вогнестійкості – II;

Конфігурація будинку в плані – прямокутна;

Довжина будинку в осях 1-6 –  $48$  м;

Ширина будинку в осях А-Г –  $16$  м;

Висота будинку –  $17,6$  м від проектної відмітки 0;

Кількість поверхів – 3;

Висота поверху –  $4,4$  м.

Проектом передбачено зведення сучасної триповерхової торговельної будівлі з використанням монолітного залізобетонного каркасу, який забезпечує високу надійність, довговічність та просторову стійкість споруди. Такий тип конструктивної системи обрано з урахуванням ефективності сприйняття

вертикальних і горизонтальних навантажень, а також гнучкості при плануванні торговельних площ і внутрішніх приміщень.

Несуча система будівлі складається з монолітних залізобетонних колон, діафрагм жорсткості, балок, плит перекриття та покриття.

Колони передають основні вертикальні навантаження від перекриттів і покриття на фундаменти.

Плити перекриття виконують роль горизонтальних дисків, рівномірно розподіляючи навантаження між елементами каркасу.

Діафрагми жорсткості сприймають горизонтальні впливи, зокрема вітрові та сейсмічні навантаження, характерні для регіону м. Запоріжжя.

Просторова жорсткість і стійкість будівлі досягається за рахунок спільної роботи всіх елементів каркасу, що забезпечує рівномірний розподіл навантажень, мінімізацію деформацій і стабільність споруди при експлуатаційних та динамічних впливах.

З архітектурної точки зору, монолітний каркас дозволяє реалізувати вільне планування торговельних залів, створює можливість змінювати конфігурацію внутрішніх перегородок відповідно до функціональних потреб орендарів, а також формує сучасний зовнішній вигляд фасаду з використанням панорамного скління і енергоефективних фасадних систем.

## **1.2 Об'ємно-планувальне рішення**

У підвальному поверсі торговельної будівлі “АПОЛЛОН” передбачено розміщення складських приміщень, комор для зберігання товарів, а також зон підготовки продукції до реалізації. Таке планування забезпечує ефективну логістику товарних потоків і раціональне використання підземного простору.

Перший і другий поверхи призначені безпосередньо для торговельних залів, приміщень для обслуговування покупців та допоміжних зон. Планування цих поверхів орієнтоване на створення зручних торговельних просторів із

можливістю вільного компонування, що дозволяє адаптувати площі під різні формати роздрібної торгівлі.

На третьому поверсі розташовуються виробничі приміщення, де передбачено зони пошиття, складання та підготовки товарів, а також допоміжні комори для зберігання матеріалів і готової продукції.

Для забезпечення високого рівня безпеки та ефективної евакуації з будівлі передбачено зовнішні евакуаційні пожежні драбини марки CRYNOLINE, встановлені вздовж фасаду з виходом із покрівлі.

У внутрішньому плануванні застосовуються збірно-монолітні та гіпсокартонні перегородки, що забезпечують гнучкість у переплануванні та швидке пристосування приміщень до потреб орендарів чи зміни функціонального призначення.

Архітектурне рішення будівлі спрямоване на зручність відвідувачів і персоналу, забезпечує вільний доступ до всіх функціональних зон, комфортне пересування всередині споруди та відповідає сучасним вимогам до енергоефективності, безпеки й ергономіки.

### **1.3 Конструктивні рішення**

Будинок спроектовано з жорстким каркасом, несуча система якого виконана з монолітного залізобетону. Проект розроблено на основі розрахунків у програмі ЛІРА-САПР. Усі несучі конструкції виконуються з важкого бетону класу С30/35 та арматури класу А400С.

Фундамент передбачено у вигляді монолітної залізобетонної плити товщиною 600 мм з бетону С30/35 та арматури А400С. Для фундаментної плити запроектована бетонна підготовка та гідроізоляція.

Вертикальна гідроізоляція складається з кількох шарів, що забезпечують захист від вологи та теплоізоляцію:

- нетканий термічно скріплений геотекстиль;
- дренажна геомембрана;
- теплоізоляція з екструдованого пінополістиролу;

- захисний шар із нетканого голкопробивного геотекстилю;
- гідроізоляція з ПВХ-мембрани;
- захисний шар із нетканого голкопробивного геотекстилю.

Стіни діафрагм жорсткості виконані з монолітного залізобетону класу С30/35. Зовнішнє утеплення забезпечується теплоізоляційними плитами ROCKWOOL товщиною 200 мм, а зовнішній оздоблювальний шар складається з штукатурного шару.

Опір теплопередачі зовнішніх стін відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» та ДСТУ 9191:2022.

Внутрішні перегородки виконані з гіпсокартонних стін товщиною 100 мм.

Цоколь будівлі має монолітні стіни товщиною 300 мм, утеплені шаром 200 мм та захищені гідроізоляційними шарами, що представлені у графічній частині роботи. Сходові марші та майданчики виконані монолітними залізобетонними, товщиною 200 мм.

Віконні прорізи заповнюються металопластиковими блоками з трьохкамерними склопакетами Steko. Внутрішні двері — глухі металопластикові, зовнішні — з подвійним склінням.

Плити перекриття і покриття виконані монолітними залізобетонними завтовшки 200 мм з отворами для прокладання водопроводу, каналізації та інших інженерних комунікацій.

### **1.3.1 Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва 3-и поверхової монолітної торгівельної будівлі.**

За кількістю осіб, які постійно та тимчасово перебувають на об'єкті, офісну будівлю зараховують до класу наслідків (відповідальності) СС2.  $N_1 = 100$  осіб;

За кількістю осіб які періодично перебувають у будівлі при розрахунковій кількості  $N_2 = 300$  осіб, будівлю зараховують до класу наслідків відповідальності СС2.

Кількість людей, які перебувають поза об'єктом, зовні складається з людей які постійно знаходяться на об'єкті та періодично, отже кількість визначаємо таким чином:

$$N_3 = 400 \text{ осіб,}$$

За кількістю осіб, які перебувають зовні об'єкту, житловий будинок відноситься до класу наслідків (відповідальності) СС2.

Згідно з розрахунком кількість квадратних метрів в будинку дорівнює 2803.

Розрахункова вартість 1 м<sup>2</sup> приймаємо згідно наказу Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України №351 від 23.04.2025 для Запорізької області - 23090 грн. за м<sup>2</sup>.

Розрахункова вартість будинку складає:

$$23090 \times 2803 = 64\,721,270 \text{ тис. грн.}$$

Прогнозовані збитки визначаються за формулою

$$\Phi = 0,225 \sum_{i=1}^n P_i = 0,225 \times 64\,721,270 = 14\,562,285 \text{ тис. грн.} \quad (1.1)$$

Обсяг можливого економічного збитку у мінімальних заробітних платах (Відповідно до статті 8 Закону України «Про Державний бюджет України на 2025 рік» з 01.10.2025 розмір МЗП у місячному розмірі становитиме 11184 грн) складає:

$$14\,562,285 / 11,1184 = 1\,309,74 \text{ м.р.з.п.}$$

Відповідно до таблиці 1, ДСТУ 8855:2019 житловий будинок відноситься до класу наслідків (відповідальності) СС1.

Будівля не розташована в охоронній зоні об'єктів культурної спадщини і не є об'єктом культурної спадщини.

Приймаємо, що відмова будинку не впливає на припинення роботи об'єктів транспорту, зв'язку, енергетики.

Висновок. Відповідно до ДСТУ 8855:2019 «Визначення класу наслідків (відповідальності)», клас наслідків (відповідності) об'єкту будівництва встановлюється за найвищою характеристикою можливих наслідків, отриманих за результатами розрахунків.

За критеріями таблиці 1 [1] «Можлива небезпека для здоров'я і життя людей, які постійно перебувають на об'єкті», «Можлива небезпека для життєдіяльності людей, які перебувають зовні об'єкта», «Обсяг можливого економічного збитку» 3-ти поверхова монолітна торгівельна будівля відноситься до класу наслідків (відповідальності) СС2.

#### 1.4 Теплотехнічний розрахунок огорожуючих конструкцій.

Таблиця 1.2 - Кліматичні параметри м. Запоріжжя згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія.

№ п/п	Розрахункова зимова $t$ зовнішнього повітря й зона вологості	Значення
1	2	3
1	Абсолютна мінімальна	-27
2	Найбільш холодної доби	-27
3	Найбільш холодної п'ятиденки	-23
4	Зона вологості	II (суха)

##### 1.4.1 Розрахунки зовнішньої стіни будівлі.

Відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2021 “Теплова ізоляція будівель”, мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій для умов м. Запоріжжя становить  $R_{qmin}=3,5$   $m^2 * K/Wt$

Законструюємо огорожувальну конструкцію стіни будівлі наступним чином.

Таблиця 1.3 - Конструкція стіни та розрахункові коефіцієнти.

Конструктивна схема стіни	Характеристика шарів			Розрахункове К.	
	№ шару	матеріал	t	$\lambda_p$ Вт/(м*К)	$S_1$ Вт/(м <sup>2</sup> *К)
 <p>З/б стіна - 300 мм Пароізоляційна плівка MASTRIFOL Теплоізоляція ROCKWOOL - 200 мм Шар захисно-декоративної штукатурки армованою сіткою - 20 мм</p>	2	Залізобетон $\rho=2500$ кг/м <sup>3</sup>	0,3	1,92	17,98
	3	Кам'яна вата ROCKWOOL $\rho_0= 35$ кг/м <sup>3</sup>	0,2	0,041	0,39
	3	Штукатурний шар	0,02	0,76	9,6

Зробимо розрахунок згідно формули ДСТУ 9191:2022 та визначимо опір теплопередачі і-ї термічно однорідної частини конструкції, м<sup>2</sup>\*К/Вт

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^l R_i + \frac{1}{h_{se}} = \frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^l \frac{d_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{h_{se}}, \quad (1.2)$$

$h_{si} = 8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ; - коеф. тепловіддачі внутрішньої поверхні;

$h_{se} = 23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ; - коеф. тепловіддачі зовнішньої поверхні;

Отже:  $R^{\text{зов.ст}} = (1/8,7) + (0,3/1,92) + (0,2/0,048) + (0,02/0,76) + (1/23) = 4,5$  (м<sup>2</sup>\*К)/Вт

Приймаємо формулу 1 згідно ДСТУ 9191:2022 для визначення опору теплопередачі зовнішньої огорожувальної конструкції.

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{A_{\Sigma}}{\sum_i (A_i / R_{\Sigma i}) + \sum_m (I_m \cdot \Psi_m) + \sum_j (N_j \cdot \chi_j)}, \quad (1.3)$$

де,  $A_{\Sigma}$  - загальна площа огорожувальної конструкції, обчислена за внутрішнім виміром із додаванням площ укосів прорізів та відніманням площ прорізів, у проекті цей показник складе 739,2 м<sup>2</sup>

$A_i$  - площа і-ої термічно однорідної частини непрозорої конструкції, що не містить площі внутрішніх укосів прорізів та площі ділянок зовнішніх огорожень будівлі, які контактують з іншими теплопровідними включеннями, у проекті цей показник складе 591,36 м<sup>2</sup>

$R_{\Sigma}$  – опір теплопередачі термічно однорідної частини конструкції  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ , визначено вище та складає  $4,5 (\text{м}^2 \cdot \text{К}) / \text{Вт}$

$l_m$  – лінійний розмір (проекція)  $m$ -го лінійного теплопровідного включення в м, виходячи з загального периметру будівлі, а також П-подібного профілю на кожний поверх, всього 6-ть поверхів 392 м.

$\Psi_m$  – лінійний коефіцієнт теплопередачі  $m$ -го лінійного теплопровідного включення  $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ , приймаємо згідно ДСТУ 9191:2022, Додатку Г, як для вузла примикання металевого несучого елемента каркаса  $0,045 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ ;

$\chi_j$  – точковий коефіцієнт теплопередачі  $j$ -го точкового теплопровідного включення  $\text{Вт} / \text{К}$ , приймаємо згідно ДСТУ 9191:2022, Додатку Д, як для вузла улаштування пластикового дюбелю з пластиковим стрижнем для кріплення теплоізоляційного шару в фасадній системі з попорядженням штукатурками  $0,045$ .

$N_j$  – загальна кількість  $j$ -их точкових теплопровідних включень, що розташовані на загальній площі огорожувальної конструкції без урахування площ внутрішніх прорів в шт, розраховуємо наступним чином на 1-ну мінераловатну плиту розміром  $1,2 \times 0,6 = 0,72 \text{ м}^2$  кількість дюбелів, так як мінвата буде кріпитись на клейові суміші приймаємо 2-а дюбеля, приймаємо загальну площу не прозорих огорожуючих конструкцій  $591,36 \text{ м}^2$ , тоді визначемо загальну кількість мінераловатних плит  $591,36 / 0,72 = 821,33$  приймаємо 822 шт, визначаємо загальну кількість дюбелів на будівлю, 1655 шт.

Визначаємо приведений опір теплопередачі зовнішньої огорожувальної конструкції.

$R_{\Sigma \text{пр}} = 3,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ , відповідає мінімально допустимому значенню приведенного опору теплопередачі огорожувальної конструкції, який складає  $3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ .

### 1.4.2 Теплотехнічний розрахунки покриття будівлі.

Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі покрівлі згідно ДБН В.2.6-31:2021 буде складати  $R_{qmin}=6 \text{ м}^2 \cdot \text{К}\backslash\text{Вт}$

Законструюємо огорожувальну конструкцію покриття будівлі наступним чином.

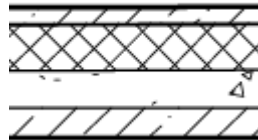


Рисунок 1.1 – Конструкція покриття.

Для розрахунку теплотехнічних характеристик покриття розглянемо матеріали що представлені в Таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Конструкція покриття та розрахункові коефіцієнти.

Характеристика шарів			Розрахункові коеф.	
№ шару	Матеріал	$\delta_i$ , м	$\lambda_p$ Вт/(м*К)	$S_1$ Вт/(м <sup>2</sup> *К)
1	з/б багатопустотна плита $\rho_0=2500 \text{ кг/м}^3$	0,20	1,92	17,98
4	Теплоізоляція – мінеральна вата 300 мм $\rho_0=100 \text{ кг/м}^3$	0,3	0,042	0,53
5	Ц.п. стяжка $\rho_0=1800 \text{ кг/м}^3$	0,1	0,76	9,6

Визначаємо термічний опір покрівлі на рівні 13.850.

Зробимо розрахунок згідно формули ДСТУ 9191:2022 та визначемо опір теплопередачі і-ї термічно однорідної частини конструкції, м<sup>2</sup>\*К/Вт

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^l R_i + \frac{1}{h_{se}} = \frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^l \frac{d_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{h_{se}}, \quad (1.4)$$

$h_{si} = 10 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ; - коеф. тепловіддачі внутрішньої поверхні;

$h_{se} = 23 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$ ; - коеф. тепловіддачі зовнішньої поверхні;

Отже:  $R_{\Sigma} = 6,2 (м^2 \cdot К) / Вт$

### 1.5 Зовнішня та внутрішня обробка.

Для торговельної будівлі “АПОЛЛОН” у м. Запоріжжя передбачається застосування сучасних, енергоефективних та довговічних матеріалів для зовнішнього та внутрішнього оздоблення стін, що відповідають вимогам ДБН В.2.6-31:2021, ДБН В.2.2-9:2018 і ДСТУ Б В.2.6-36:2008.

З внутрішнього боку стіни виконуються з урахуванням функціонального призначення приміщень:

Для торговельних залів та адміністративних приміщень передбачається штукатурення поверхонь цементно-вапняними або гіпсовими сумішами (рекомендовано суміші Ceresit, Knauf, Baumit), з подальшим фарбуванням водоемульсійними або латексними фарбами.

Для технічних, складських та підсобних приміщень можливе використання гіпсокартонних облицювань на металевому каркасі, що забезпечує швидкість монтажу, рівну поверхню і можливість прихованого прокладання інженерних мереж.

У місцях підвищеного зволоження (санвузли, побутові кімнати персоналу) доцільно застосовувати вологостійкі гіпсокартонні листи (ГКЛВ) або керамічну плитку на гідроізоляційній основі.

Такі рішення забезпечують гладкість поверхонь, акуратність інтер'єрів, можливість легкої модернізації або ремонту та відповідність сучасним вимогам до дизайну торговельних об'єктів.

Фасад торговельної будівлі “АПОЛЛОН” проєктується як енергоефективна система з утепленням мінераловатними плитами, що мають:

- високу паропроникність,
- негорючість (клас НГ),

- стабільні теплоізоляційні характеристики впродовж усього терміну експлуатації.

Плити утеплювача кріпляться механічним способом (дюбелями-парасольками) із застосуванням клею; стики між плитами щільно змикаються, запобігаючи утворенню “містків холоду”.

Для забезпечення високої енергоефективності, довговічності та естетичної привабливості триповерхової монолітної торговельної будівлі “АПОЛЛОН” доцільним є застосування сучасних фасадних і внутрішніх оздоблювальних систем від провідних європейських виробників. Проведений аналіз ринку свідчить, що оптимальним рішенням для умов експлуатації в м. Запоріжжя є використання комплексної системи утеплення фасаду з мінераловатними плитами у поєднанні із силіконовими декоративними штукатурками, а для внутрішніх приміщень — гіпсові та цементно-вапняні суміші від перевірених брендів.

Серед виробників утеплювачів лідируючі позиції займають компанії ROCKWOOL, Knauf Insulation та PAROC, які пропонують фасадні плити з каменної (базальтової) вати. Ці матеріали характеризуються високими теплоізоляційними показниками, паропроникністю, негорючістю (клас НГ) та стабільністю розмірів упродовж десятків років експлуатації. Використання кам'яної мінвати у фасадній системі дає змогу забезпечити ефективний теплозахист будівлі та гарантує її пожежну безпеку, що особливо важливо для торговельних об'єктів з масовим перебуванням людей.

Для зовнішнього оздоблення фасаду найдоцільніше застосовувати силіконові або силікатно-силіконові декоративні штукатурки, які поєднують у собі високу еластичність, вологостійкість, стійкість до ультрафіолету та ефект самоочищення. Такі матеріали пропонують бренди Baunit, Ceresit та Weber, що мають добре зарекомендовані сертифіковані фасадні системи (Baunit Star, Ceresit Ceretherm, Weber SilTF). Застосування повних систем цих виробників — від утеплювача до фінішного шару — забезпечує сумісність компонентів,

гарантію якості та тривалий термін служби фасаду понад 25–30 років без капітального ремонту.

Для внутрішнього оздоблення приміщень торговельної будівлі “АПОЛЛОН” рекомендовано використовувати гіпсові штукатурки та шпаклівки Knauf або Ceresit, що забезпечують рівні поверхні, екологічну безпеку та швидке виконання робіт. У зонах підвищеної вологості доцільно застосовувати вологостійкий гіпсокартон (ГКЛВ) або цементно-вапняні розчини з подальшим облицюванням плиткою. Такі матеріали дозволяють формувати функціональні, привабливі та зносостійкі інтер’єри, які легко піддаються модернізації при зміні потреб орендарів або функціонального призначення приміщень.

Отже, комбінація утеплення фасаду з кам’яної мінеральної вати ROCKWOOL або Knauf, системного оздоблення силіконовими фасадними матеріалами Ceresit чи Baumit, а також внутрішнього оздоблення гіпсовими сумішами Knauf або Ceresit є найбільш збалансованим рішенням для будівлі “АПОЛЛОН”. Такий вибір забезпечує оптимальне співвідношення між енергозбереженням, довговічністю, пожежною безпекою та сучасним архітектурним виглядом споруди, що відповідає вимогам чинних будівельних норм України та європейських стандартів якості.

### **1.6 Санітарно-технічне та інженерне встаткування.**

Для триповерхової монолітної торговельної будівлі «АПОЛЛОН» у місті Запоріжжі передбачено використання сучасних інженерних систем і матеріалів, що відповідають вимогам надійності, енергоефективності та безпеки. Всі системи проєктуються із застосуванням перевірених технологічних рішень від провідних європейських виробників, що мають офіційні представництва в Україні та надають повний цикл сервісного обслуговування. Такий підхід гарантує стабільну роботу інженерних мереж, тривалий термін експлуатації та

відповідність сучасним стандартам комфорту й функціональності торговельних об'єктів.

Система внутрішнього водопостачання забезпечує безперебійну подачу холодної та гарячої води до всіх приміщень будівлі. У її складі передбачено використання трубопроводів із поліпропілену, поліетилену або металопластику, які відзначаються високою довговічністю та корозійною стійкістю. Для підвищення тиску та циркуляції води рекомендовано застосовувати насосні установки Wilo або Grundfos, що вирізняються енергоефективністю, низьким рівнем шуму та автоматизованим керуванням. Система внутрішнього водовідведення виконується з полімерних труб підвищеної шумоізоляції, зокрема систем Rehau Raupiano Plus або Wavin AS, які забезпечують герметичність з'єднань і мінімальний рівень шуму при експлуатації.

Система опалення торговельної будівлі може бути як центральною, так і автономною, з можливістю зонального регулювання мікроклімату. Для цього пропонується застосування енергоощадного обладнання Vaillant або Buderus, що включає конденсаційні котли, теплові насоси, циркуляційні насоси та системи автоматики. У приміщеннях планується встановлення сучасних радіаторів і конвекторів, які забезпечують рівномірний розподіл тепла та комфортні умови для відвідувачів і персоналу.

Вентиляція та кондиціонування виконуються на основі припливно-витяжних систем із рекуперацією тепла. Рекомендовано використання обладнання Daikin або Mitsubishi Electric, що дозволяє підтримувати стабільний мікроклімат і економити енергію завдяки інверторному керуванню. Усі вентиляційні установки комплектуються фільтрами, шумоглушниками та рекуператорами, що забезпечують ефективну фільтрацію повітря та зниження рівня шуму.

Електропостачання будівлі організоване з використанням двох незалежних вводів та системи автоматичного резервування. Електротехнічне обладнання Schneider Electric або ABB забезпечує безпечну подачу електроенергії, захист мереж, а також можливість автоматизованого керування

освітленням і силовими лініями. Використання LED-світильників Philips або Osram дозволяє знизити споживання електроенергії до 60 % у порівнянні з традиційними джерелами світла.

У системі пожежної безпеки передбачено автоматичні сигналізації, теплові й димові датчики, сповіщення та установки спринклерного пожежогасіння. Для реалізації таких рішень доцільно використовувати обладнання Bosch або Siemens, що забезпечує своєчасне виявлення пожежі та інтегрується з системою оповіщення.

Особливу увагу приділено організації вертикального транспорту. У будівлі «АПОЛЛОН» запроектовано встановлення пасажирських і вантажних ліфтів із доступом до підвального рівня, де можуть розміщуватись складські або технічні приміщення. Рекомендовано застосовувати ліфтове обладнання Otis, KONE або Schindler, які відзначаються високою надійністю, плавністю руху та енергоефективністю. Монтажні та сервісні послуги в Україні надають офіційні представництва цих компаній — ТОВ «Otis Україна», ТОВ «KONE Ліфтс», ТОВ «Шиндлер Україна».

Усі інженерні системи торговельної будівлі інтегруються в Building Management System (BMS), що дозволяє централізовано керувати опаленням, вентиляцією, електропостачанням, освітленням та системами безпеки. Використання технологій Siemens або Honeywell забезпечує ефективний контроль за енергоспоживанням, оперативну діагностику стану мереж і підвищення рівня комфорту та безпеки.

Поєднання сучасних інженерних систем від Wilo, Rehau, Vaillant, Daikin, Schneider Electric, Bosch, Otis та Siemens створює енергоефективну, технологічну й безпечну інфраструктуру будівлі «АПОЛЛОН». Застосування цих рішень гарантує безперебійну роботу всіх систем, низькі експлуатаційні витрати, довговічність та відповідність сучасним вимогам до комерційних об'єктів класу «В+».

## РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНИЙ

### 2.1 Розрахунок та конструювання

Триповерхова монолітна торговельна будівля “АПОЛЛОН”, що зводиться у місті Запоріжжя, спроектована як залізобетонна каркасна конструкція, до складу якої входять основні несучі елементи. Конструктивна система включає монолітні залізобетонні стіни товщиною 200 мм, у тому числі стіни сходової клітини, перекриття товщиною 200 мм, балки розміром 300×600 мм, колони перерізом 400×800 мм та фундаментну плиту завтовшки 600 мм, яка забезпечує рівномірний розподіл навантаження на основу. Усі елементи виконані з важкого бетону класу С30/25, що гарантує високу міцність, довговічність і стійкість до деформацій.

Конструкції розраховані відповідно до вимог чинних будівельних норм України — ДБН В.1.2-2:2006 — із урахуванням нормативних кліматичних впливів: снігове навантаження для III району становить 1110 Па, а розрахунковий швидкісний напір вітру для III району — 460 Па.

Інженерно-конструктивна модель будівлі була створена у програмному середовищі Revit 2025 і конвертована у формат IFC для подальшого опрацювання у програмному комплексі САПФІР. Статичні та динамічні розрахунки виконано в системі ЛІРА-САПР, що дозволило визначити напружено-деформований стан елементів каркаса та оптимізувати перерізи конструкцій. Результати триангуляції моделі на кінцеві елементи продемонстрували рівномірний розподіл навантажень і підтвердили надійність прийнятих інженерних рішень.

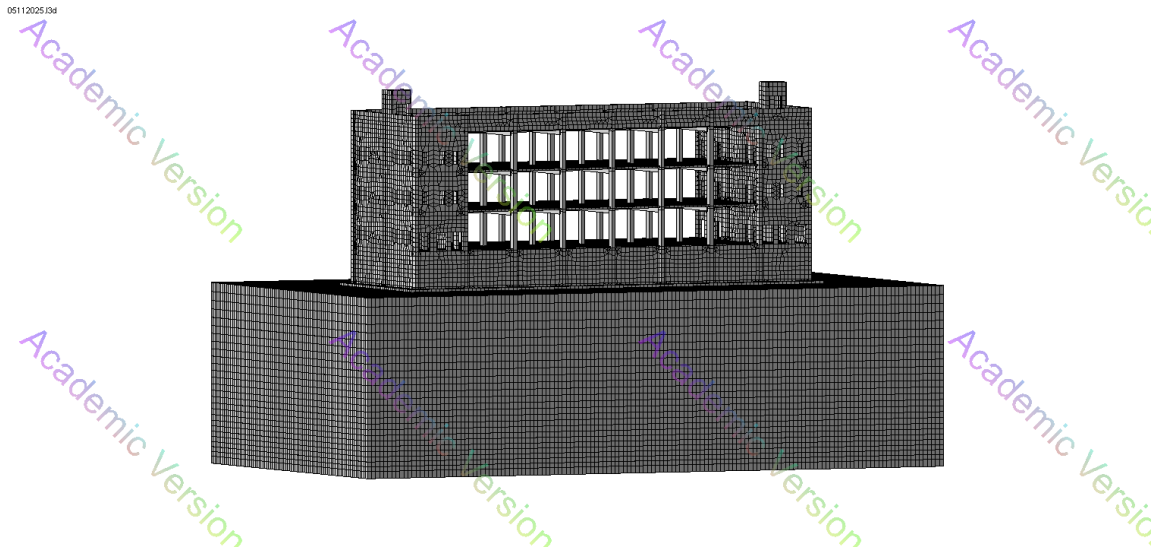


Рисунок – 2.1 Розрахункова схема будинку.

## 2.2 Навантаження та впливи

Розрахунок навантажень і впливів на конструкції триповерхової монолітної будівлі “АПОЛЛОН” виконано відповідно до вимог ДБН В.1.2-2:2006 “Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об’єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування”. Усі необхідні параметри навантажень були сформовані в програмному комплексі «САПФІР» і автоматично передані до розрахункової системи «ЛІРА-САПР» для подальшого статичного аналізу. Зведені значення постійних та тимчасових навантажень представлені у таблицях 2.1–2.2.

Навантаження від огорожувальних конструкцій, внутрішніх перегородок та оздоблювальних елементів імпортовано з Revit 2025 у форматі IFC до середовища «САПФІР», де виконано їх уточнення та адаптацію відповідно до проєктних параметрів. Постійні та тимчасові (експлуатаційні) навантаження задавалися безпосередньо у моделі «САПФІР», тоді як власна вага монолітних залізобетонних елементів визначалась автоматично засобами «ЛІРА-САПР». Такий підхід забезпечив точну інтеграцію архітектурної, конструктивної та розрахункової моделей, що підвищило достовірність результатів і відповідність сучасним стандартам проектування.

Таблиця 2.1 - Збір постійних та корисних навантажень

Найменування навантаження	Об'ємна вага кг/м <sup>3</sup>	Товщина м	Нормативне навантаження кг/м <sup>2</sup>	Коеф. надійності по навантаженню	Розрахункове навантаження кг/м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6
Підлога підвалу					
Плити керамічні для підлоги	2000	0.01	20	1.3	26
Стяжка із цементно-піщаного розчину	1800	0.1	180	1.3	234
Теплоізоляція/звукоізоляція – мінеральна вата	150	0.05	7,5	1.3	9,75
Корисне навантаження					
Розподілена навантаження	-		400	1.3	520
Разом	Сума:		607,5		789,75
Перший, другий, третій поверхи					
Вестибюль					
Керамічна плитка террацо	2000	0.01	20	1.3	26
Стяжка із цементно-піщаного розчину	1800	0.1	216	1.3	280,8
Теплоізоляція/звукоізоляція – мінеральна вата	150	0.05	7,5	1.3	9,75
Разом	Сума:		241	1.3	316,55
Корисне навантаження					
Розподілена навантаження	-		400	1.3	520
Разом	Сума:		641		836,55

Таблиця 2.2 - Збір постійних та корисних навантажень на покрівлю

Найменування навантаження	Об'ємна вага кг/м <sup>3</sup>	Товщина м	Нормативне навантаження кг/м <sup>2</sup>	Коеф. надійності по навантаженню	Розрахункове навантаження кг/м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6
<b>Покриття</b>					
Гравій керамзитови	800	0.25	200	1.3	260
Стяжка з легкого бетону	1800	0.1	180	1.3	234
Пінополістирол	50	0.3	15	1.3	19,5
Шари пароізоляції, гідроізоляції та ін.	1400	0.03	42	1.3	54,6
Разом	Сума:		437		568,1
<b>Корисне навантаження</b>					
Розподілена навантаження	-		50	1.3	65
Разом	Сума:		487		633,1

Таблиця 2.3 - Збір навантажень від огорожень

Збір навантажень від огорожень					
Найменування навантаження	Об'ємна вага кг/м <sup>3</sup>	Площа перетину стіни b x h м <sup>2</sup>	Нормативне навантаження кг/м <sup>2</sup>	Коеф. надійності. по навантаженню	Розрахункове навантаження кг/м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6
<b>Стіна зовнішня</b>					
Утеплювач	200	0.2	40	1.3	52
Щтукатурка	1800	0.03	54	1.3	70,2
Разом	Сума		94		122,2
<b>Міжкімнатна перегородка</b>					
Листи гіпсокартоні	800	0.1	80	1.2	96
Разом			174		218,2

### 2.3 Вітрове навантаження

Розрахунок вітрового навантаження на каркасну раму триповерхової будівлі виконується відповідно до вимог ДБН В.1.2-2:2006 “Навантаження і впливи. Норми проектування”.

Величини активного (тиску) та пасивного (підсмоктування) вітрового навантаження на елементи рами визначаються за нормативними залежностями, наведеними у зазначеному документі, з урахуванням висоти споруди, її геометрії, аеродинамічних коефіцієнтів і швидкісного напору вітру для відповідного району будівництва.

$$w_1 = w_m \cdot B \cdot \gamma_n, \quad (2.1)$$

$$w_2 = w'_m \cdot B \cdot \gamma_n, \quad (2.2)$$

де  $w_m$  і  $w'_m$  - активне вітрове навантаження на 1 м<sup>2</sup> поверхні стін, яке визначається формулою:

$$w_m = w_0 \cdot c \cdot \gamma_{fm}, \quad (2.3)$$

$$w_0 = 460 \text{ Па}$$

де  $w_0$  – характеристичне значення вітрового навантаження, яке визначається у залежності від вітрового району за картою рисунку 9.1 ДБН.  $\gamma_{fm}$  – коефіцієнт надійності щодо граничного значення вітрового навантаження, визначається за таблицею 9.1 ДБН у залежності від середнього періоду повторювання  $T$  граничного навантаження; для об'єктів масового призначення середній період повторювання  $T$  приймають рівним встановленому строку експлуатації конструкції  $T_{ef}$ ; значення  $\gamma_{fm}$  у залежності від  $T = T_{ef}$  надано у таблиці  $c$  – коефіцієнт, визначення якого обговорюється вище. Вітрове навантаження, яке через коефіцієнт  $C_h$  збільшується за висотою, часто приводять до зосереджених сил, що діють у вузлах рами, розташованих у рівні міжповерхових перекриття.

Визначаємо коефіцієнт  $C$  згідно пункту 9.7 ДБН В.1.2-2:2006

З навітряного боку

$$C1 = 0,8 * 0,60 * 1,00 * 1,000 * 1,000 * 0,97 = 0,4656$$

$$C2 = 0,8 * 0,70 * 1,00 * 1,000 * 1,000 * 0,97 = 0,5432$$

$$C3 = 0,8 * 1,00 * 1,00 * 1,000 * 1,000 * 0,97 = 0,776$$

$$C4 = 0,8 * 1,20 * 1,00 * 1,000 * 1,000 * 0,97 = 0,9312$$

З підвітряного боку

$$C1 = -0,6 * 0,60 * 1,00 * 1,000 * 1,000 * 0,97 = -0,3492$$

$$C2 = -0,6 * 0,70 * 1,00 * 1,000 * 1,000 * 0,97 = -0,4074$$

$$C3 = -0,6 * 1,00 * 1,00 * 1,000 * 1,000 * 0,97 = -0,582$$

$$C4 = -0,6 * 1,20 * 1,00 * 1,000 * 1,000 * 0,97 = -0,6984$$

Визначаємо розподілене вітрове навантаження згідно висоти поверхів.

З навітряного боку

$$W_{m1} = 1,14 * 460 * 0,466 = 244 \text{ Па}$$

$$W_{m2} = 1,14 * 460 * 0,543 = 285 \text{ Па}$$

$$W_{m3} = 1,14 * 460 * 0,776 = 407 \text{ Па}$$

$$W_{m4} = 1,14 * 460 * 0,931 = 488 \text{ Па}$$

З підвітряного боку

$$W_{m1} = 1,14 * 460 * -0,349 = -183 \text{ Па}$$

$$W_{m2} = 1,14 * 460 * -0,407 = -214 \text{ Па}$$

$$W_{m3} = 1,14 * 460 * -0,582 = -305 \text{ Па}$$

$$W_{m4} = 1,14 * 460 * -0,698 = -366 \text{ Па}$$

Зводимо інші розрахунки та відповідні коефіцієнти у таблицю 2.4.



## 2.4 Снігове навантаження

Граничне розрахункове значення снігового навантаження на 1 м<sup>2</sup> покриття будівлі визначається за формулою:

$$S=1,11 \cdot C \cdot \gamma_f=1,2 \cdot 1,14= 1,2654 \text{ кН/м}^2 \quad (2.4)$$

де:

$S_0 = 1,2654 \text{ кН/м}^2$  (1200 Па) – характеристичне значення снігового навантаження згідно з ДБН для м. Запоріжжя (II сніговий район);

$\gamma_f = 1,14$  – коефіцієнт надійності за навантаженням;

$C$  – сумарний коефіцієнт, який враховує вплив форми покрівлі, умов експлуатації та географічної висоти.

Для будівель:

- громадського призначення строк експлуатації  $T_{ef} = 100$  років,

- промислового призначення  $T_{ef} = 60$  років.

Коефіцієнт  $C$  розраховується як добуток трьох часткових коефіцієнтів:

$$C=\mu \cdot C_e \cdot C_{alt} \quad (2.5)$$

де:

$\mu$  – коефіцієнт переходу від ваги снігу на землі до навантаження на покрівлі;

$C_e$  – коефіцієнт експлуатаційного режиму покрівлі (при відсутності спеціальних умов приймається  $C_e = 1$ );

$C_{alt}$  – коефіцієнт географічної висоти (для рівнинної місцевості  $C_{alt} = 1$ , для гірських територій —  $\neq 1$ ).

Для плоских покрівель із парапетами коефіцієнт  $\mu$  визначається за формулою:

$$\mu= 2h/S_0 \quad (2.6)$$

де:

$h = 1,13$  м – висота парапету;

$S_0 = 1,2$  м – характеристичне значення снігового навантаження для міста Запоріжжя.

Тоді:

$$\mu = (2 \cdot 1,13) / 1,11 = 2,036$$

Однак, за умовами схеми накопичення снігу біля парапету (Схема 10 ДБН), допускається округлення до  $\mu = 1,6$  (максимальне значення для зони скупчення снігу).

Остаточне визначення коефіцієнта  $C$

$$C = \mu \cdot C_e \cdot C_{alt} = 2,036 \cdot 1 \cdot 1 = 2,036$$

Максимальне значення снігового навантаження поблизу парапетів (з урахуванням накопичення снігу) визначається за формулою:

$$S'_{\max} = 1,2 \cdot 2,036 \cdot 1,14 = 2,78 \text{ кН/м}^2 \approx 2,8 \text{ кН/м}^2$$

Це навантаження діє безпосередньо біля парапету та поступово зменшується на відстані  $2h = 2,26$  м до середнього значення  $1,2654 \text{ кН/м}^2$ , яке відповідає основному сніговому навантаженню на решті площі покрівлі.

## **2.5 Статичний розрахунок**

У процесі розрахунку конструктивної системи триповерхової монолітної будівлі “АПОЛЛОН” застосовано метод кінцевих елементів (МКЕ), який забезпечує високу точність аналізу напружено-деформованого стану споруди.

Як основні невідомі параметри прийнято шість компонент переміщень вузлів моделі:

- лінійні переміщення —  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (вздовж відповідних осей координат) та кутові переміщення (обертання) —  $UX$ ,  $UY$ ,  $UZ$  навколо цих осей.

Розрахунок монолітної плити перекриття виконано в складі загальної просторової моделі будівлі з урахуванням жорсткого з'єднання колон і плит, що гарантує сумісну роботу всіх елементів каркасу. Статичні навантаження, необхідні для аналізу, були сформовані у програмному середовищі «САПФІР» і автоматично передані до розрахункової системи «ЛІРА-САПР», що дало змогу оптимізувати процес моделювання, підвищити точність обчислень і скоротити час розрахунку.

У розрахункову модель включено кілька основних типів навантажень:

- завантаження 1, 2, 3 — постійні навантаження, що враховують власну вагу плит перекриття, підлогових шарів та стін по периметру будівлі;
- завантаження 4 — тривале корисне навантаження на перекриття, прийняте за повним розрахунковим значенням;
- завантаження 5 — тривале навантаження від внутрішніх перегородок, передане на плити перекриття;
- завантаження 6 — снігове навантаження, прикладене відповідно до вимог ДБН для III снігового району;
- завантаження 7 — вітровий тиск, прикладений уздовж осі  $X$  під кутом  $90^\circ$ ;
- завантаження 8 — вітровий тиск, прикладений уздовж осі  $Y$  під аналогічним кутом.

У програмному комплексі «ЛІРА-САПР» власна вага всіх залізобетонних елементів визначається автоматично на основі заданих геометричних параметрів і фізико-механічних характеристик матеріалу. Після виконання розрахунків результати підбору арматури для плит, балок, колон та фундаментних елементів були експортовані з «ЛІРА-САПР» до «САПФІР». На основі цих даних у середовищі «САПФІР» розроблено робочі креслення

армування конструкцій, які представлено у графічній частині пояснювальної записки.

Характеристики ґрунтів, використані для розрахунку основ і фундаментів будівлі, подано у рисунках 2.3–2.4, відповідно до даних, наданих у вихідному геотехнічному завданні на проектування..

№ IGE	Умовне позначення	Найменування ґрунту	Колір	Модуль деформації, т/м2	Коефіцієнт Пуассона	Питома вага ґрунту, т/м3		Коефіцієнт переходу до 2-го модуля деформації	Природна вологість, частки	Показник текучості IL	Число пластичності IP	Вода Лес Насипно Слабод	Коефіцієнт пористості e	Вміст рослинних залишків, q	Питоме зчеплення c, т/м2		Кут внутрішнього тертя $F_i$ , °		Граничне напруження розтягнення $R_s$ , т/м2	Коефіцієнт Савінова $C_o$ т/м3	Скельні Межа міцності $R_c=R_c,n/\gamma_g$ т/м2	ґрунти Коеф. зниження міцності $K_s$	Коефіцієнт пропорційності $K_{TC}/m^{**4}$
						I	II								I	II							
1		Насипний		1000	0.3	1.8	1.62	5	0.05	0.2			0.7		0.5	0.45	16	14.4	0.1	1000			235
2		Пісок пилуватий		1800	0.3	1.75	1.6	5	0.25		W		0.54		0.1	0.09	31	27.9	0.02	900			400
3		Сугілок		2000	0.3	1.82	1.6	5	0.26	1.1		W	0.72		0.8	0.7	22	19.8	0.16	1500			235
4		Суглинок тугоплак		1800	0.35	1.87	1.7	5	0.17	0.26	0.4		0.68		2	1.8	18	16.2	0.4	2000			496
5		Глина напівтверда		2200	0.42	1.92	1.7	5	0.02	0.15	0.45		0.8		5	4.5	16	14.4	1	2500			540

Рисунок 2.2 – Характеристики ґрунтів

Свердловина 1 (м) ?

Координати: X 20.00, Y 20.00

Абс. відм. м. 100.00

Глибина 8.50

IGE 5

Грунти РГВ

N	Найменування	Абс. відм. підшови	Потужність шару	Глибина залягання
1	Насипний	99.00	1.00	1.00
2	Пісок пилуват	98.50	0.50	1.50
4	Суглинок туго	94.50	4.00	5.50
5	Глина напівтв	91.50	3.00	8.50

Свердловина 2 (м) ?

Координати: X 30.00, Y 20.00

Абс. відм. м. 100.00

Глибина 10.00

IGE 5

Грунти РГВ

N	Найменування	Абс. відм. підшови	Потужність шару	Глибина залягання
1	Насипний	99.00	1.00	1.00
4	Суглинок туго	94.00	5.00	6.00
5	Глина напівтв	90.00	4.00	10.00

Рисунок 2.3 – Свердловина 1 в координатах X 20; Y 20 та Свердловина 2 в координатах X 30; Y 20

## 2.6 Аналіз статичних розрахунків

Результати розрахунків представлені на рисунках нижче.

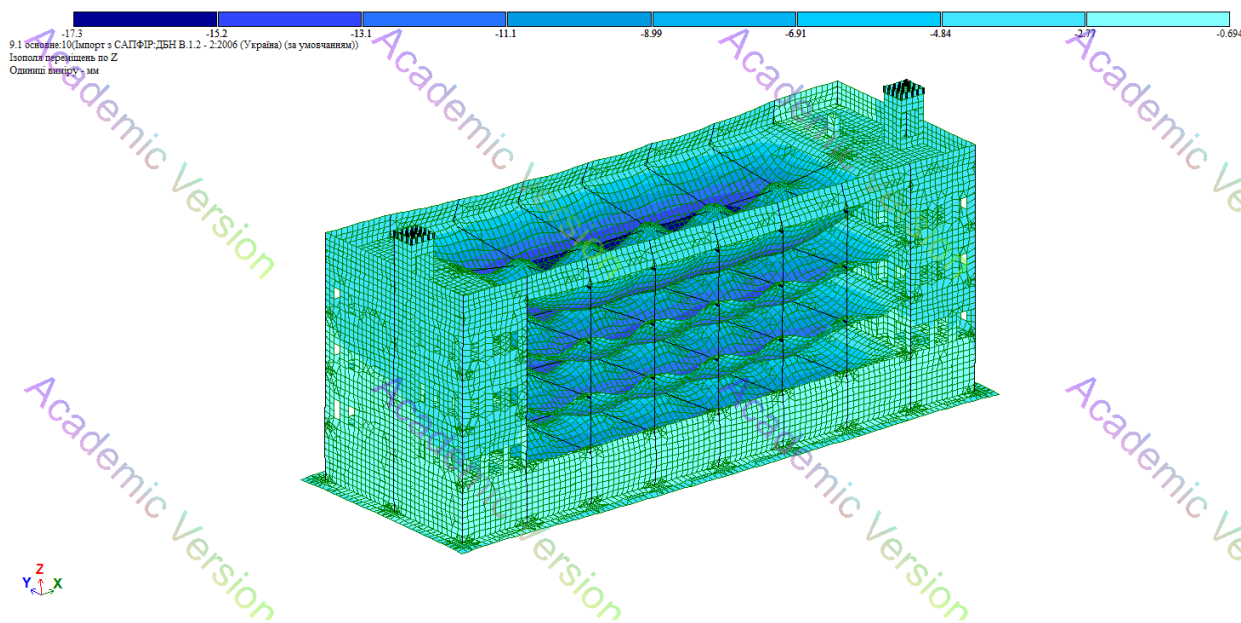


Рисунок 2.4 – Ізополюя переміщень по осі Z

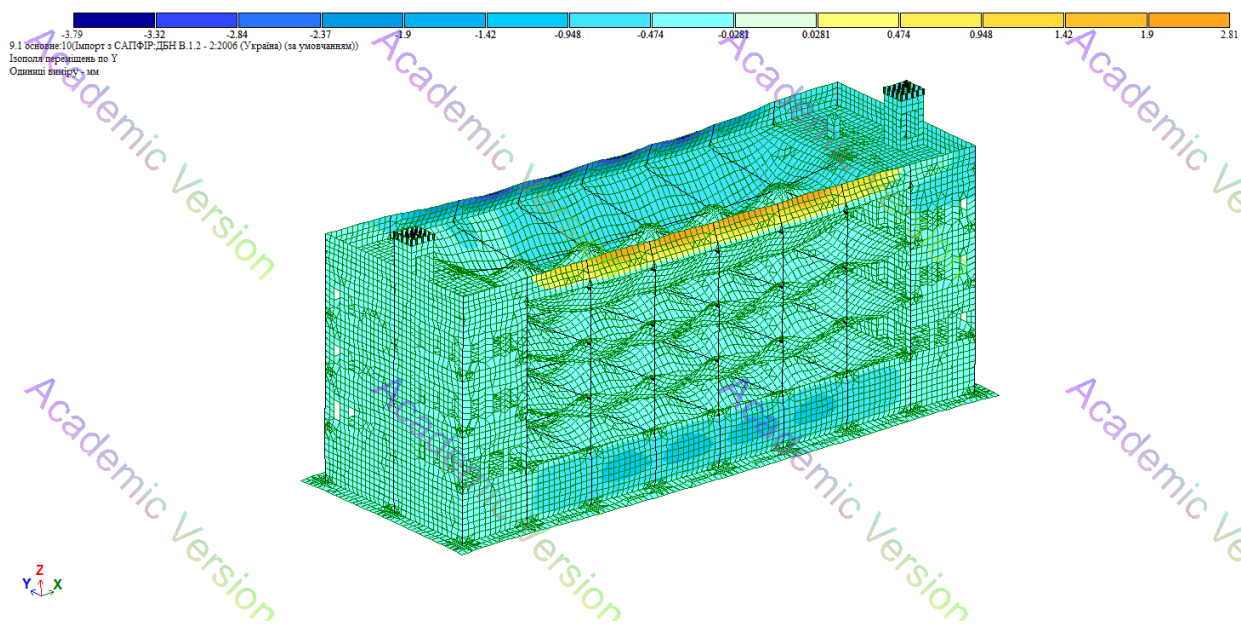


Рисунок 2.5 – Ізополюя переміщень по осі Y

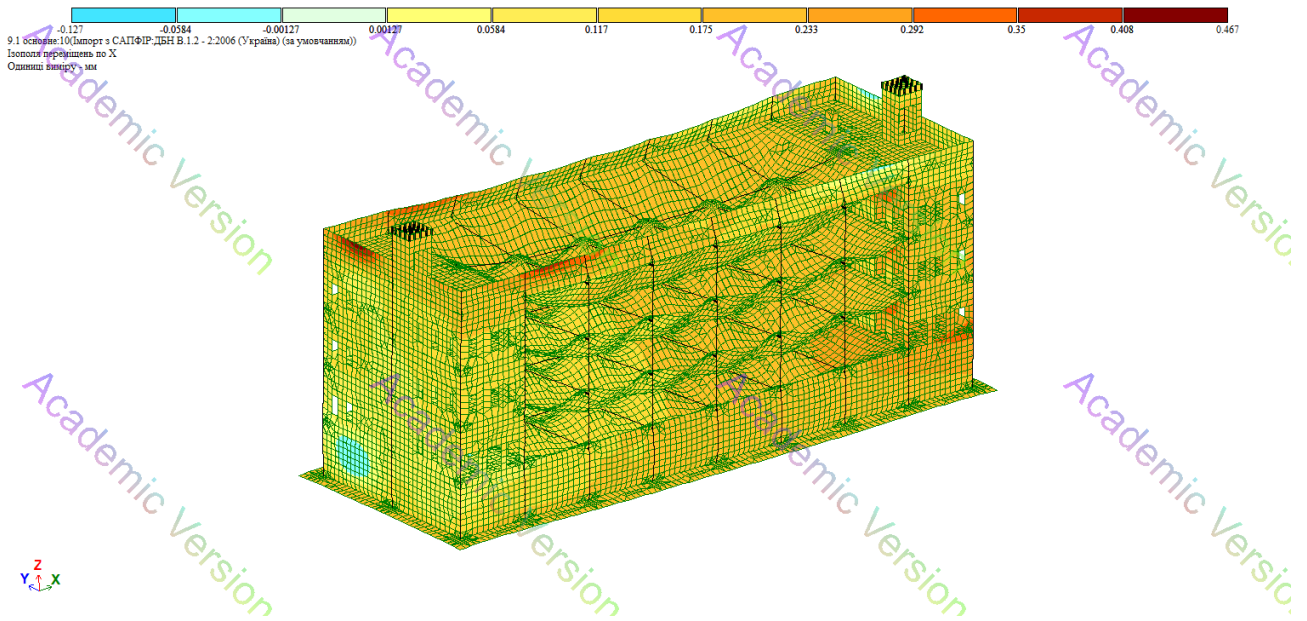


Рисунок 2.6 – Ізополя переміщень по осі X

Результати розрахунків по прогинах згідно ДСТУ Б В.1.2-3:2006 «Прогини і переміщення. Вимоги проектування», згідно п. 7 Горизонтальні граничні переміщення і прогини каркасних будівель.

$$f_u < [f_u] \quad (2.7)$$

$$f_u = 0,00379 < [f_u] = 13,6/500 = 0,0272$$

де  $f_u$  – граничне переміщення;

$h$  – висота багатоповерхових будівель, що дорівнює відстані від верху фундаменту до осі ригеля покриття.

Для розглядаємої будівлі дорівнює  $h = 13,6$  м.

Горизонтальні граничні переміщення задовольняють вимогам.

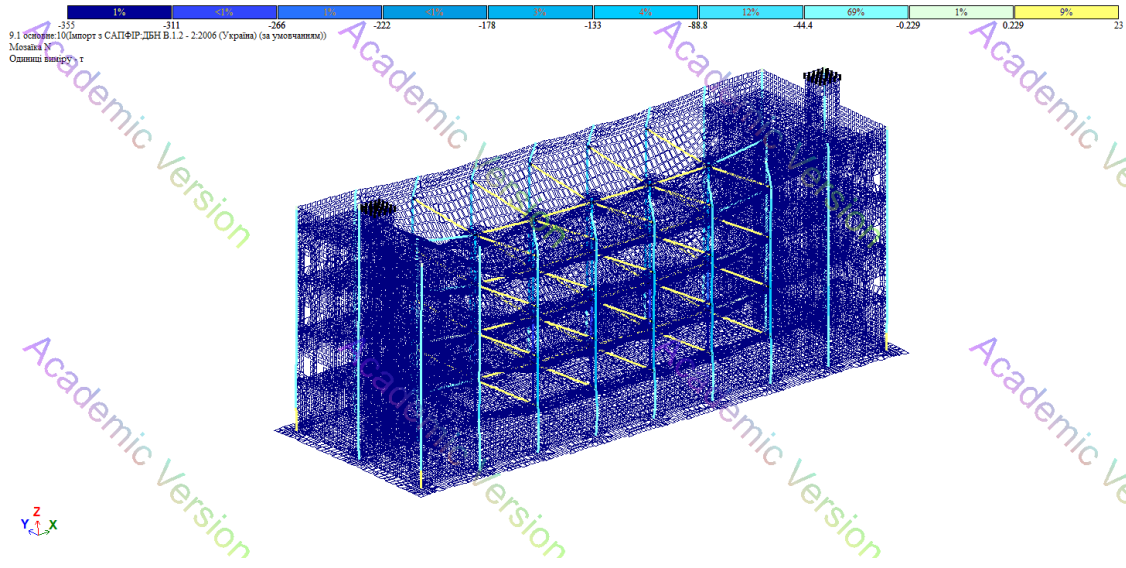


Рисунок 2.7– Мозаїка N

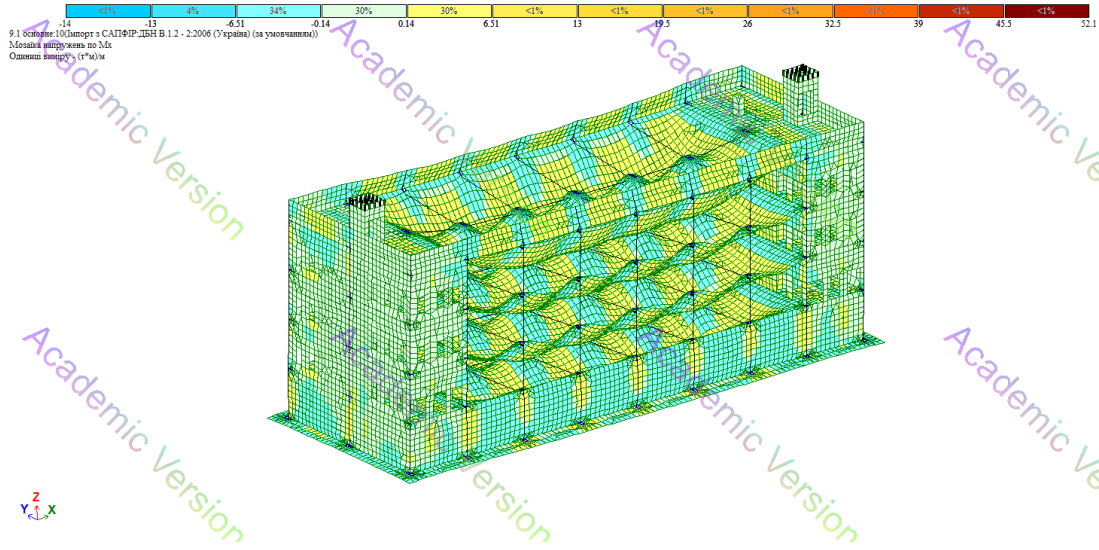


Рисунок 2.8 – Мозаїка напруг по Mx

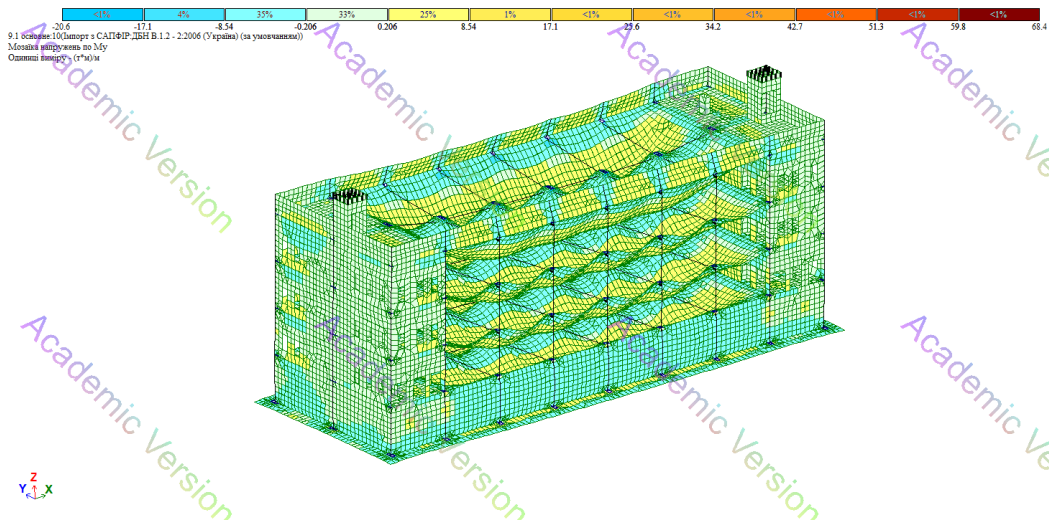


Рисунок 2.9 – Мозаїка напруг по My

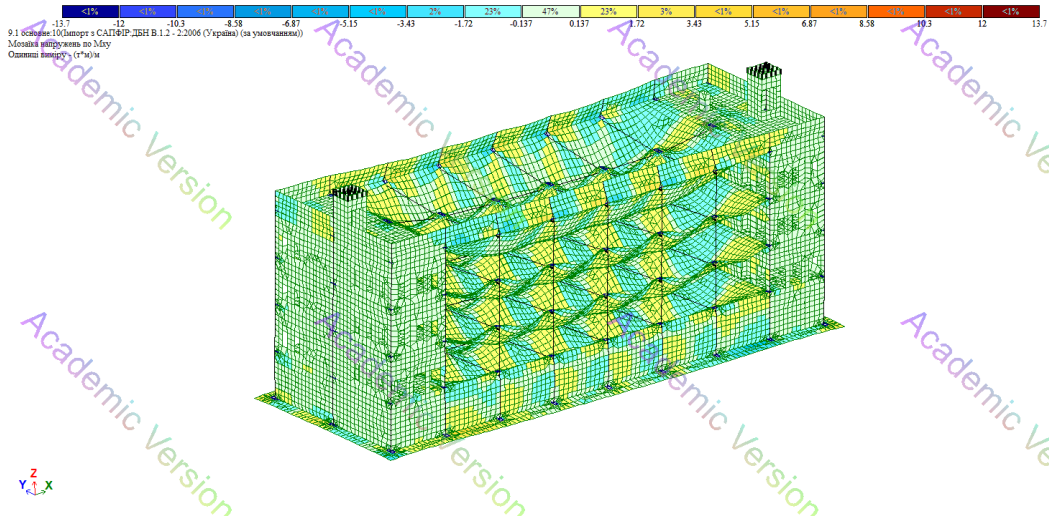


Рисунок 2.10 – Мозаїка напруг по Mx

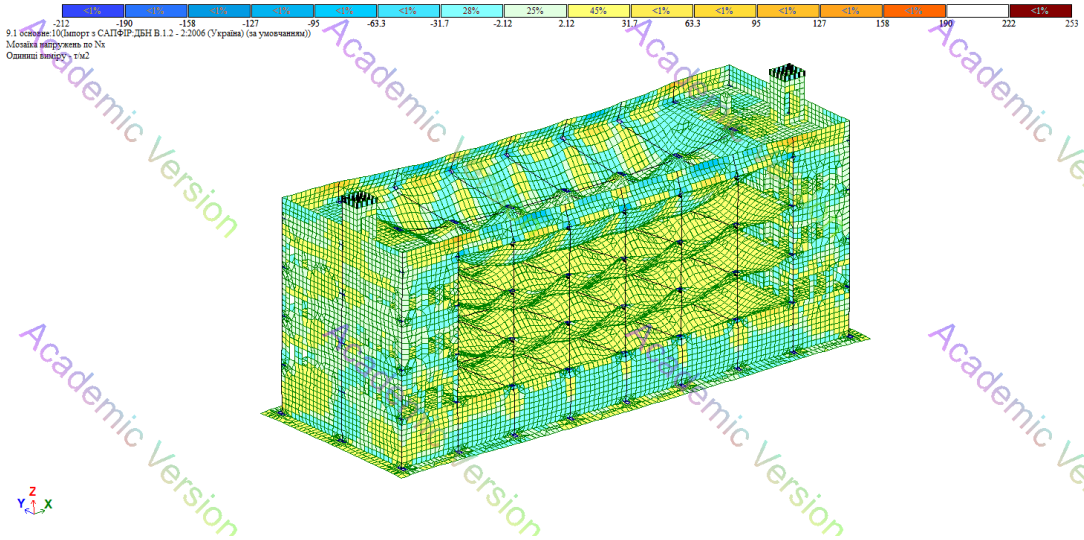


Рисунок 2.11 – Мозаїка напруг по Nx

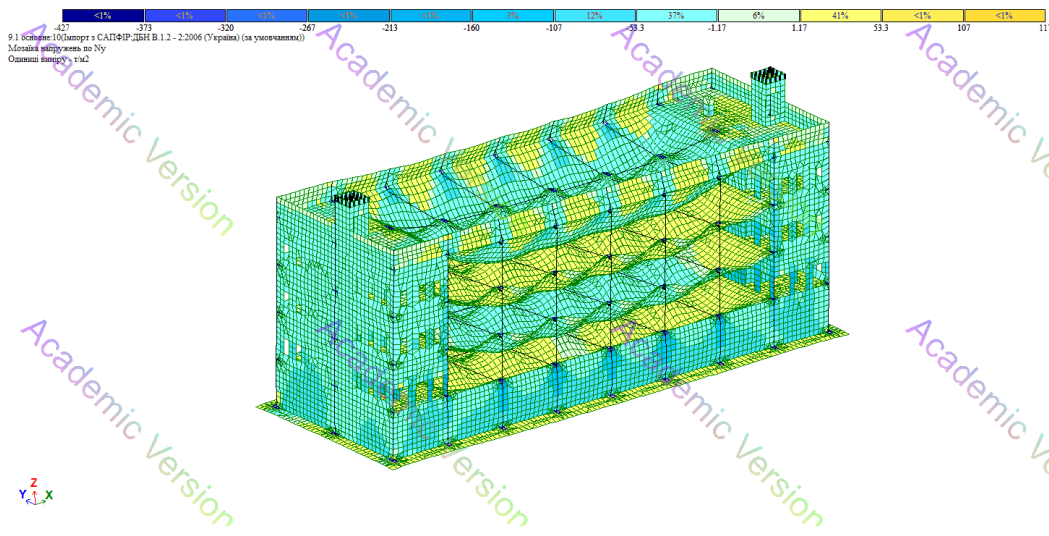


Рисунок 2.12 – Мозаїка напруг по Ny

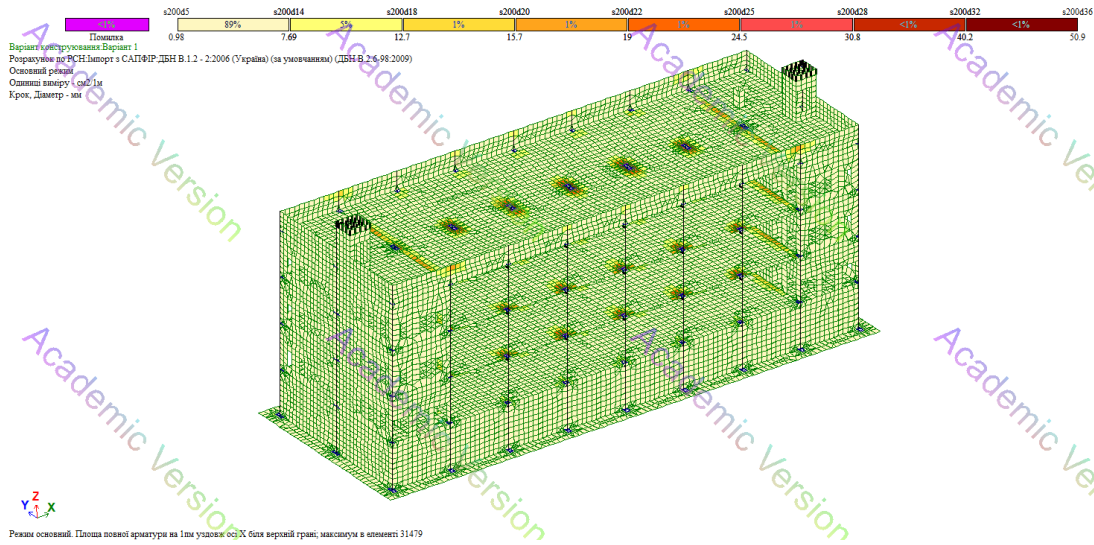


Рисунок 2.13 – Площа повної арматури на 1мм оп осі X у верхній грані

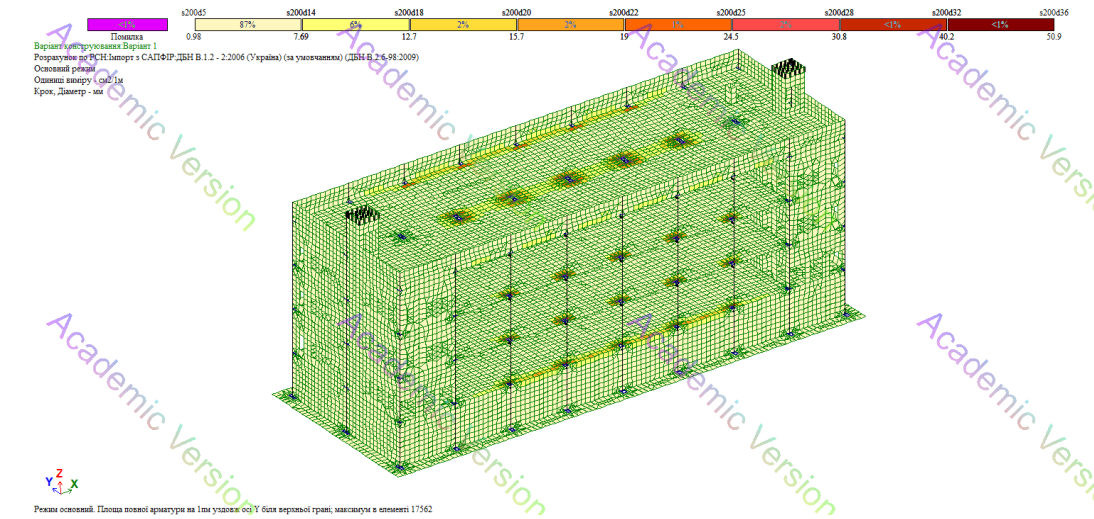


Рисунок 2.14 – Площа повної арматури на 1мм оп осі Y у верхній грані

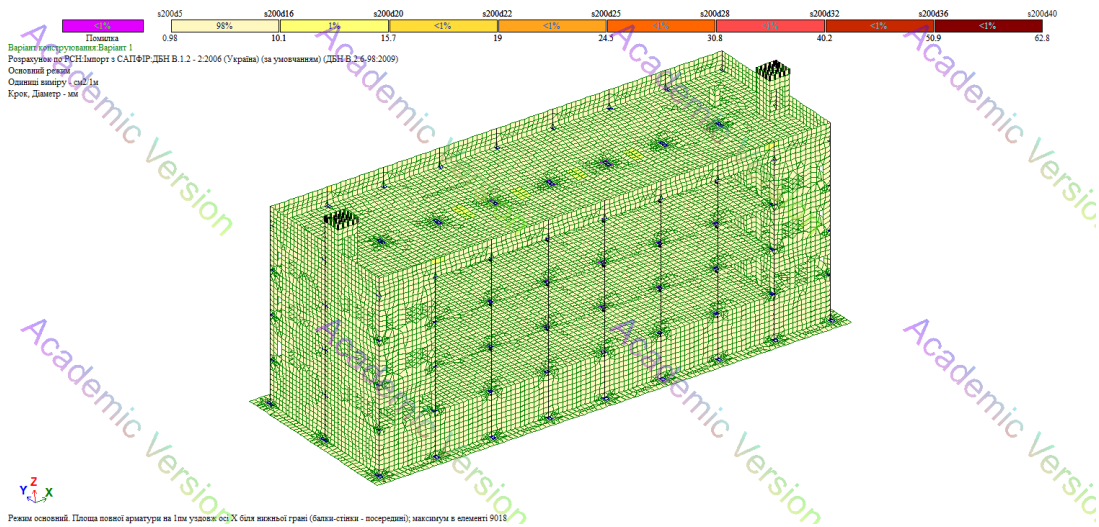


Рисунок 2.15 – Площа повної арматури на 1мм оп осі X у нижній грані

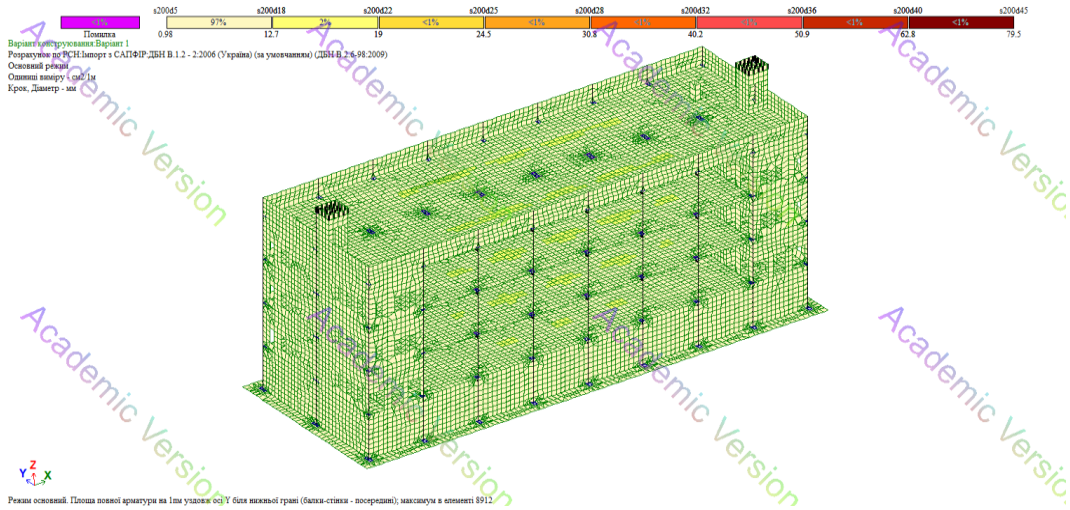


Рисунок 2.16 – Площа повної арматури на 1м оп осі Y у нижній грані

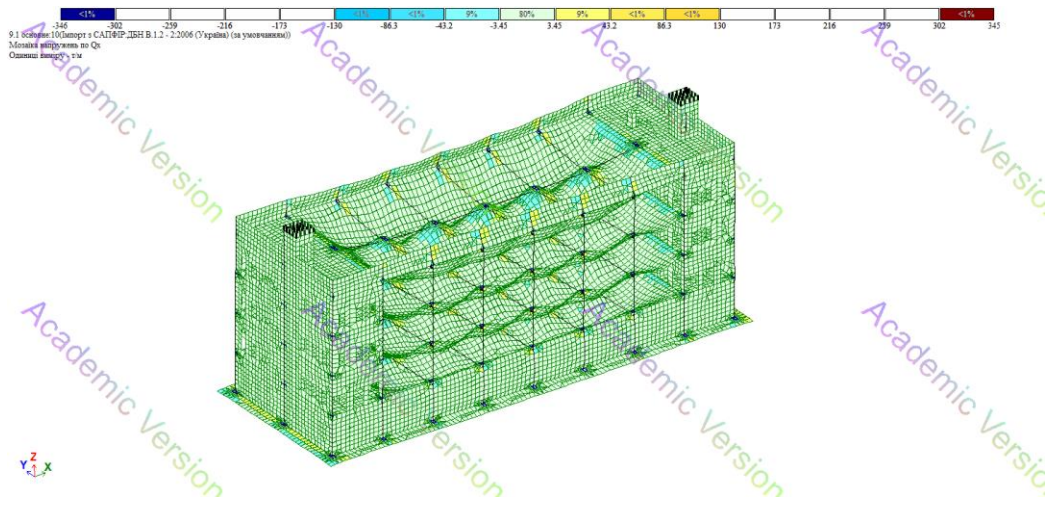


Рисунок 2.17 – Мозаїка напружень по  $Q_x$

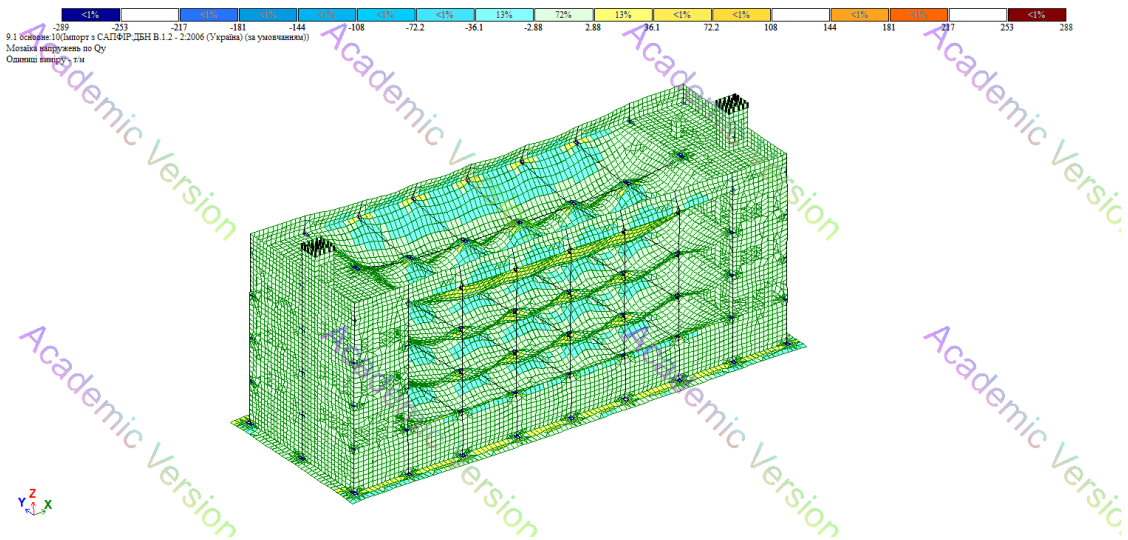


Рисунок 2.18 – Мозаїка напружень по  $Q_y$

## 2.7 Розрахунки монолітної плити перекриття на рівні +4.400

Розрахункову схему монолітної залізобетонної плити перекриття наведено на рисунку 2.19. Результати статичного розрахунку плити подано на рисунках 2.19–2.25. Плита перекриття виконана як монолітна конструкція з бетону класу С30/35. Для армування застосовано поздовжню та поперечну арматуру класу А-400 відповідно до вимог ДСТУ 3760.

Розрахунок поздовжньої арматури в середині прольоту виконано за умовами міцності нормальних перерізів при дії максимального позитивного згинального моменту.

Підбір арматури для монолітної плити перекриття здійснено за допомогою програмного комплексу «ЛІРА-АРМ». Нижче наведено результати підбору арматури, отримані на основі розрахунку за міцністю нормальних перерізів.

Армування плити передбачено окремими стрижнями відповідно до ізополей та розподілу згинальних моментів.

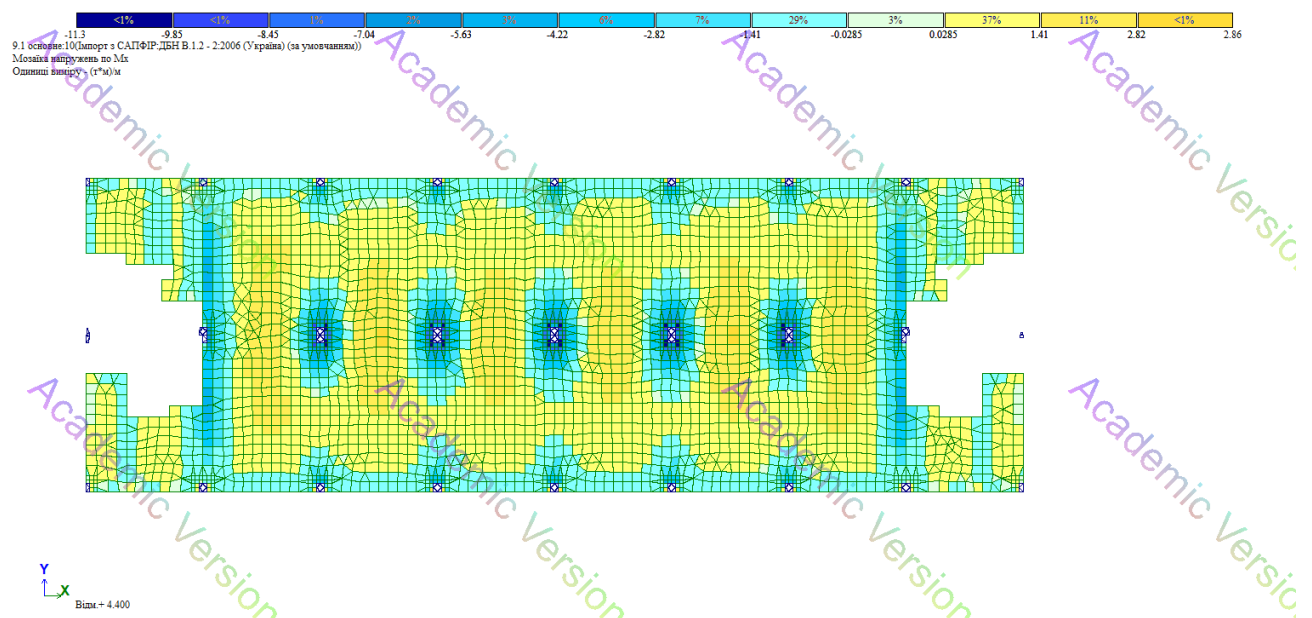


Рисунок 2.19 – Мозаїка напруг по Mx

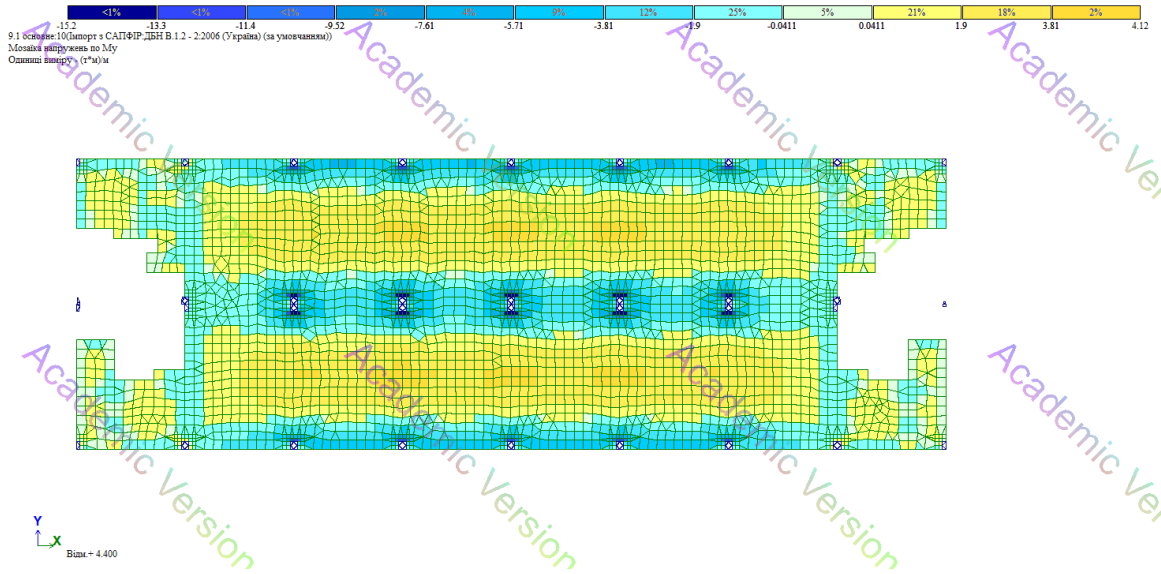


Рисунок 2.20 – Мозаїка напруг по My

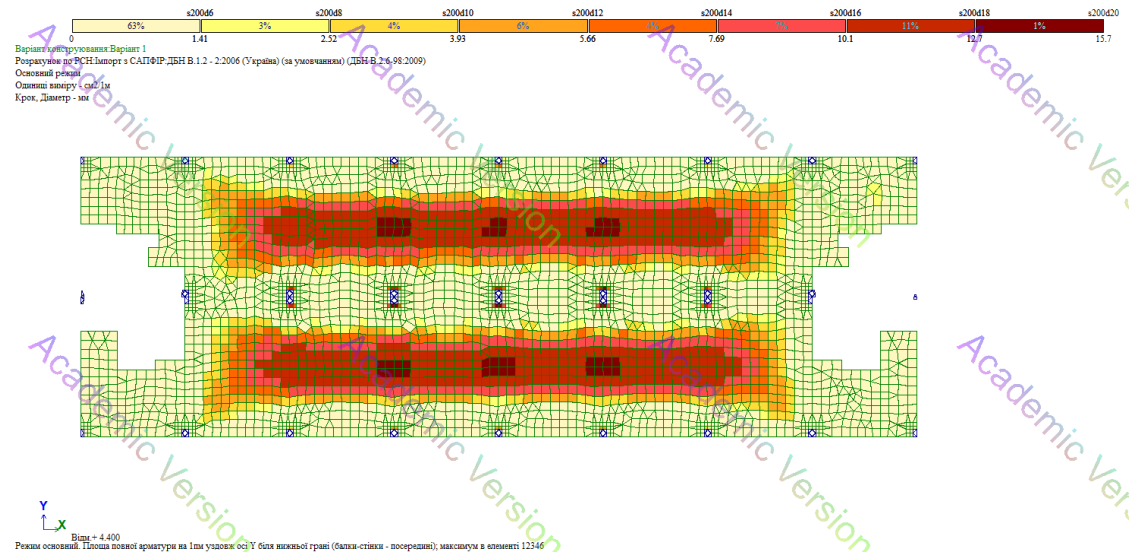


Рисунок 2.21 – Нижня арматура по осі Y

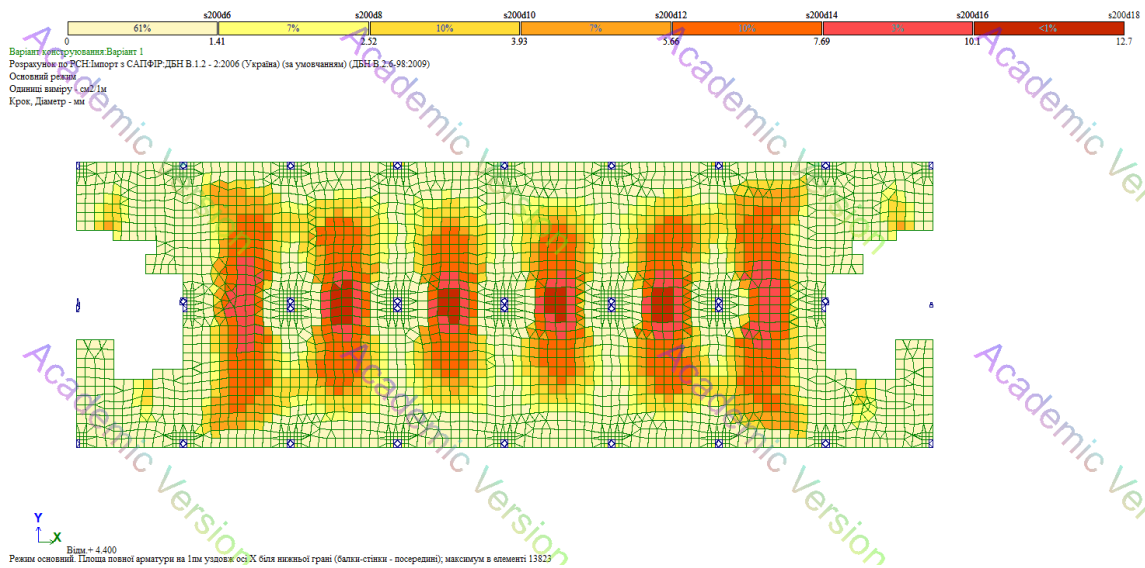


Рисунок 2.22 – Нижня арматура по осі X

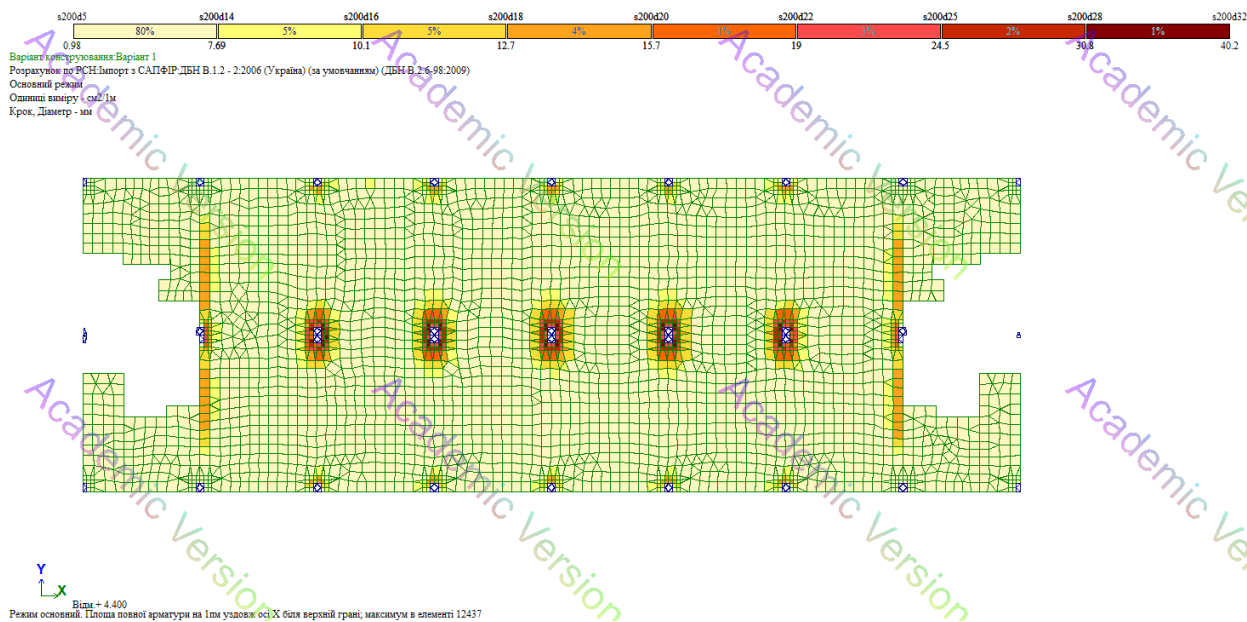


Рисунок 2.23 – Верхня арматура по осі X

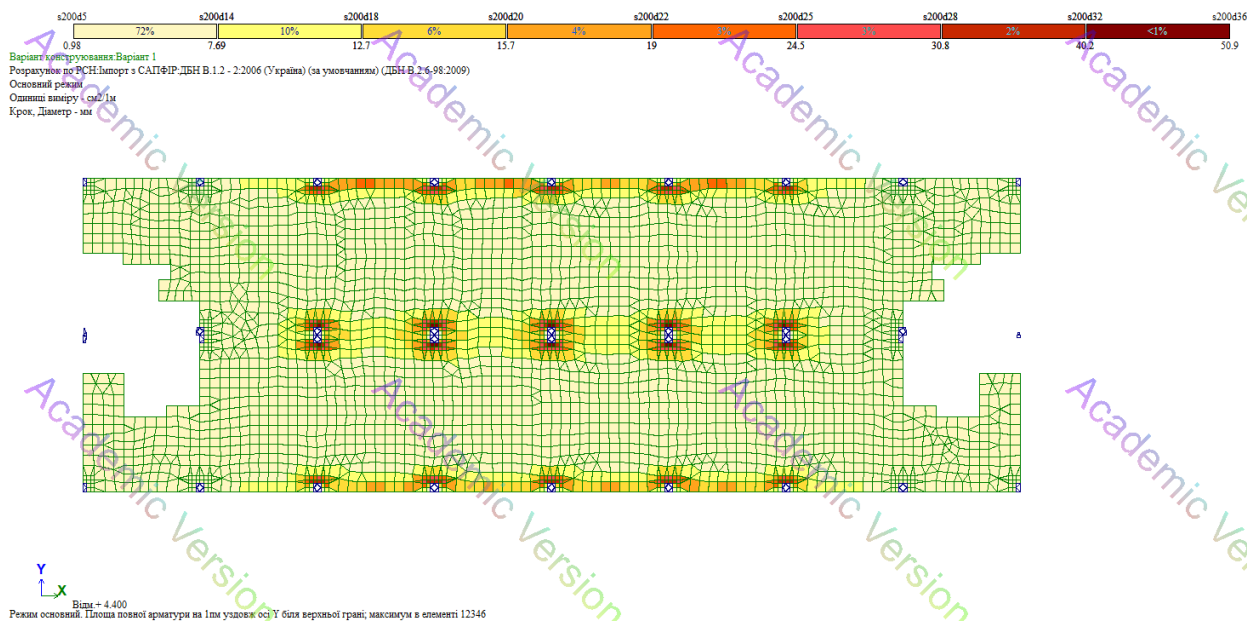


Рисунок 2.24 – Верхня арматура по осі Y

Арматура плити розташовується відповідно до епюри згинальних моментів у прольотних смугах, аналогічно до схеми армування нерозрізних плит.

Оцінювання прогинів плити покриття виконано на основі просторової розрахункової моделі, результати якої наведено на рисунку нижче.

Згідно з результатами розрахунку, максимальне переміщення плити не перевищує допустимих нормативних значень.

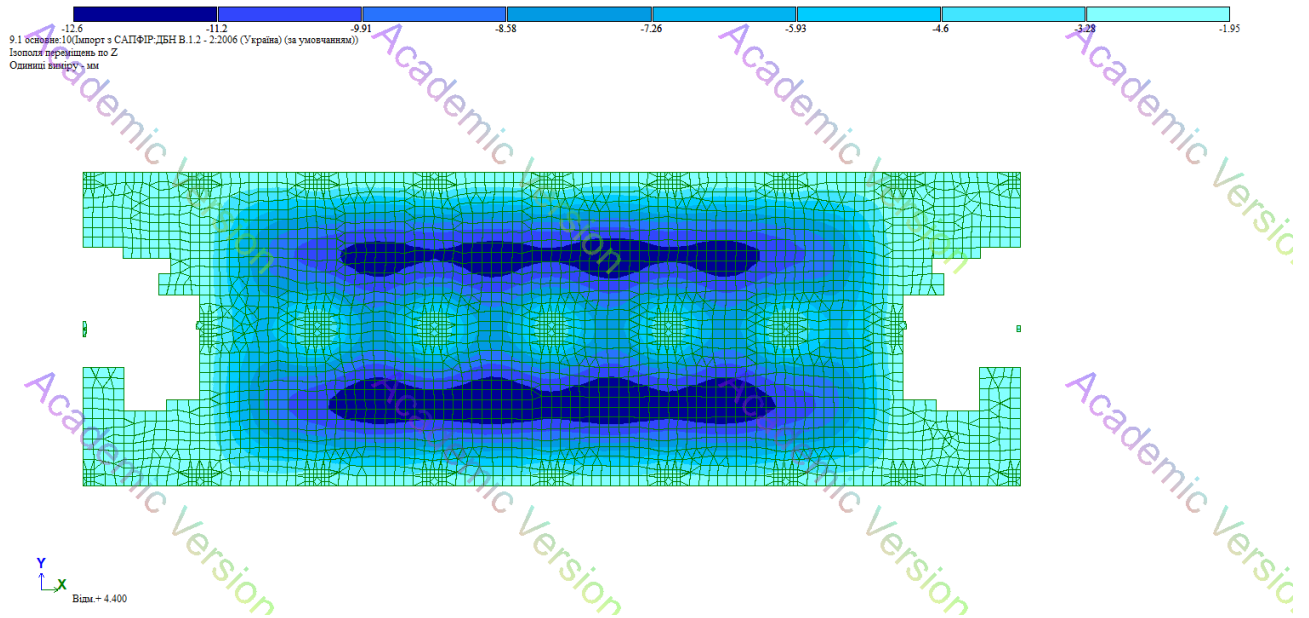


Рисунок 2.25 – Ізополю переміщень плити перекриття по осі Z

Результати розрахунків по прогинах згідно ДСТУ Б В.1.2-3:2006 «Прогини і переміщення. Вимоги проектування».

$$f < [f] = \frac{1}{200} \cdot L, \quad (2.8)$$

$$f_u = 12,6 < [f_u] = (1/200) \cdot 6000 = 30 \text{ мм}$$

Жорсткість перекриття задовольняє вимогам норм.

За результатами підбору арматурою остаточно ухвалюємо:

При конструюванні плити перекриття ухвалюємо основне армування у верхній і нижній зоні  $\varnothing 12$  А400С із кроком 200 мм у двох напрямках.

## 2.8 Розрахунки монолітних стін на рівні +4.400

Результати статичного розрахунку монолітних стін наведено на рисунках 2.26–2.27. Стіни виконані з монолітного бетону класу С25/30. Для армування використано поздовжню арматуру класу А-400 та поперечну арматуру класу А-240С відповідно до вимог ДСТУ 3760.

Підбір арматури для монолітних стін здійснено за допомогою програмного комплексу «ЛІРА-АРМ». Нижче подано результати підбору арматури, отримані на основі розрахунку за міцністю нормальних перерізів.

Армування стін виконується окремими стрижнями відповідно до ізополей згинальних моментів і результатів підбору арматури, визначених у програмі.

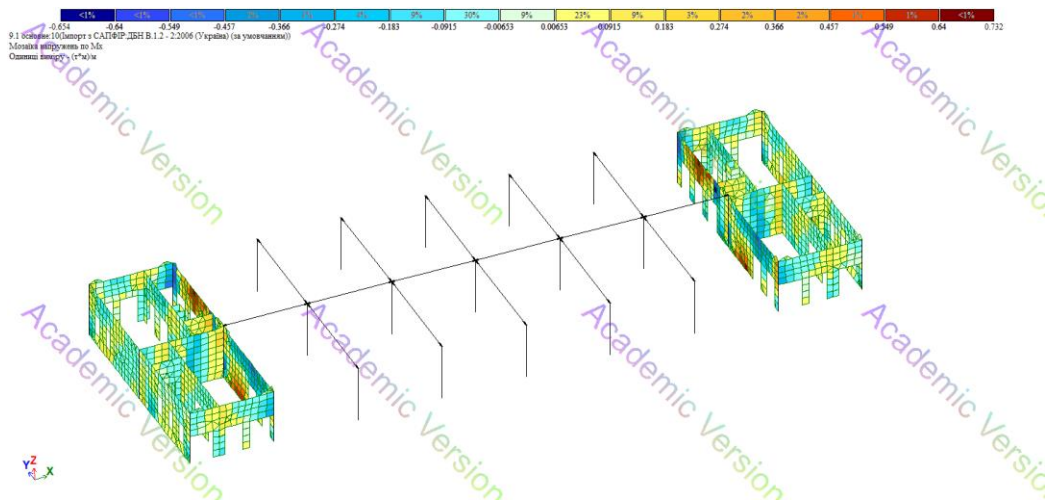


Рисунок 2.26 – Мозаїка напруг по  $M_x$

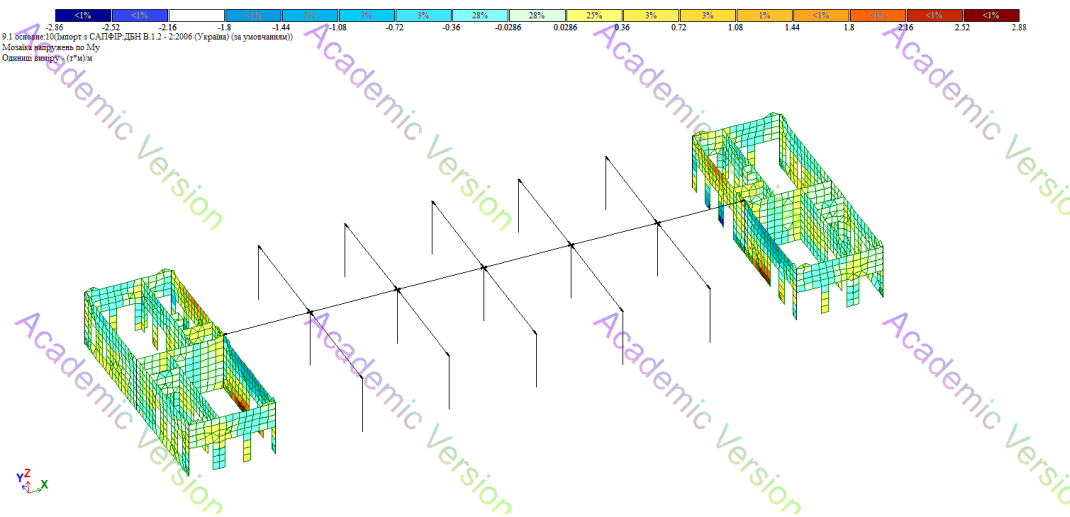


Рисунок 2.27 – Мозаїка напруг по  $M_y$

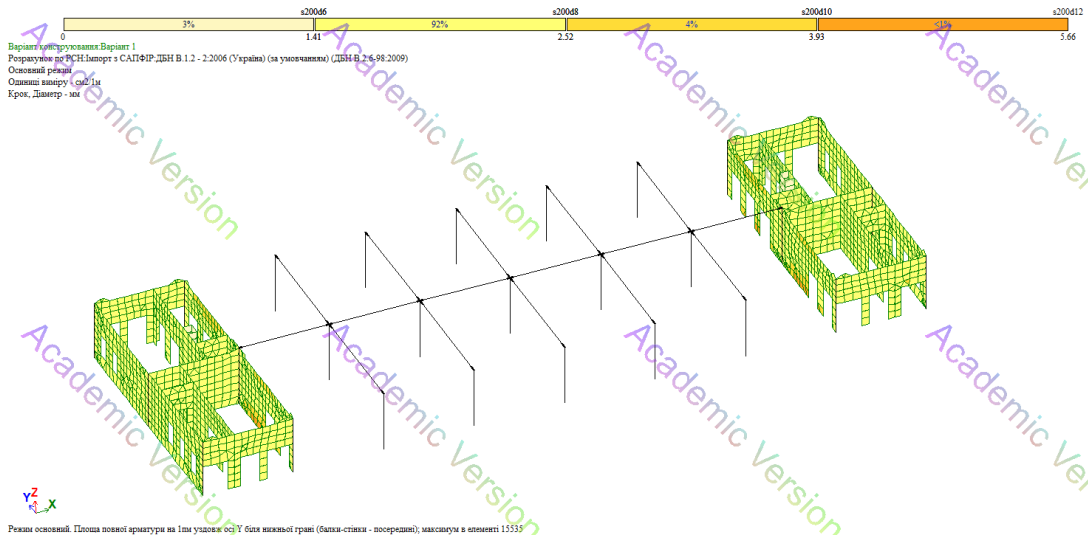


Рисунок 2.28 – Нижня арматура по осі Y

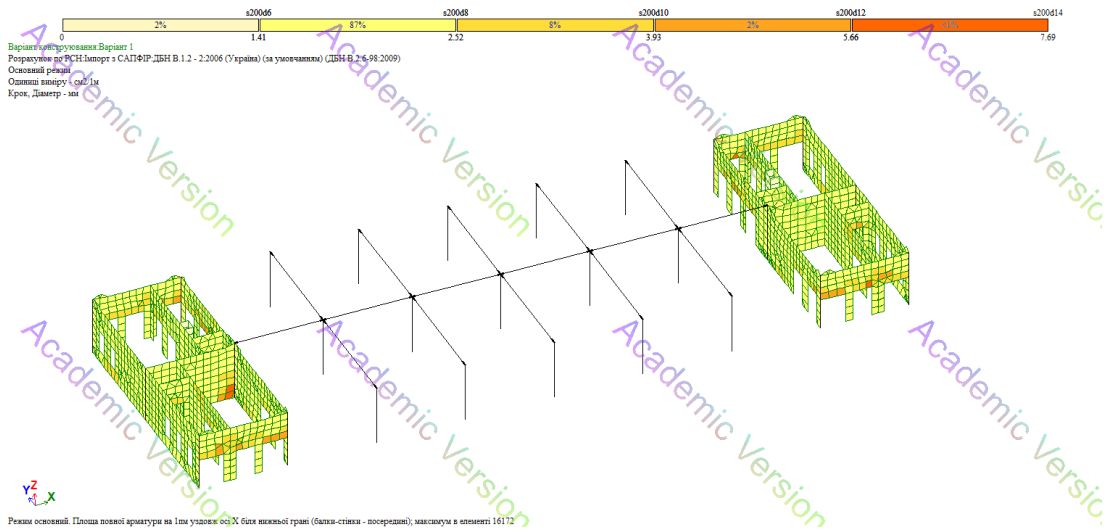


Рисунок 2.29 – Нижня арматура по осі X

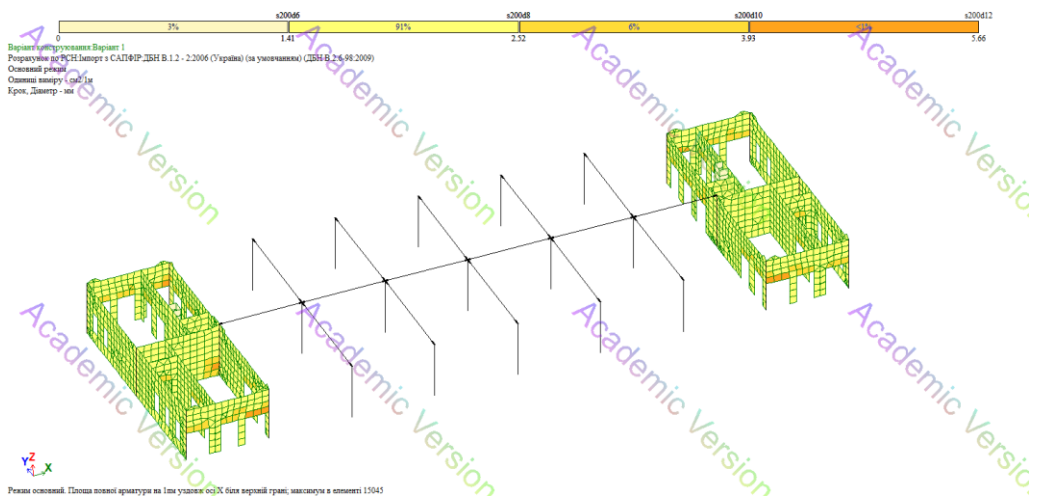


Рисунок 2.30 – Верхня арматура по осі X

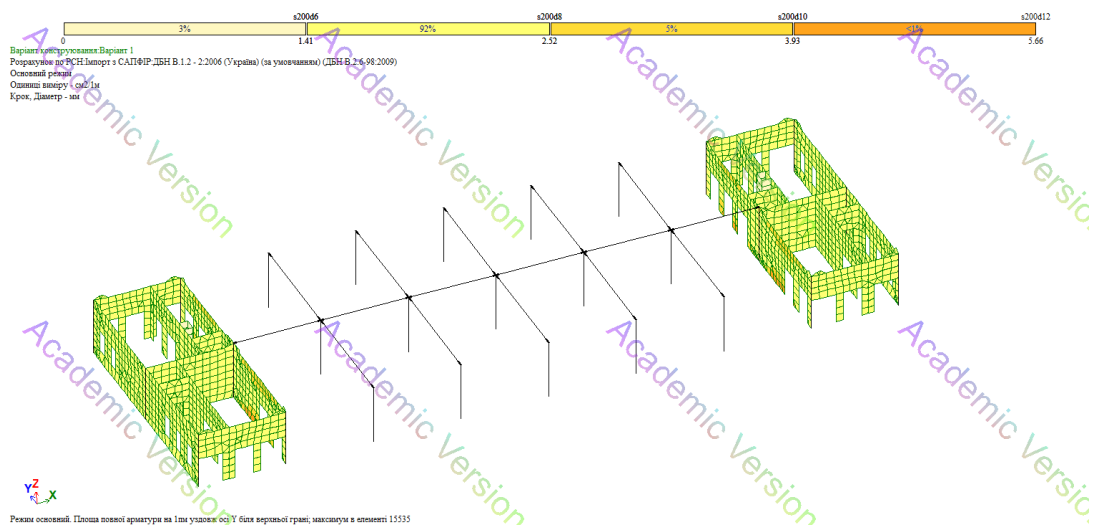


Рисунок 2.31 – Верхня арматура по осі Y

Арматура плити розташовується згідно з епюрою згинальних моментів у прольотних зонах, аналогічно до конструкції нерозрізних плит.

Розрахунок прогинів плити перекриття виконано на основі просторової моделі, результати якої подано на рисунку нижче.

З отриманих даних видно, що максимальний прогин плити не перевищує допустимих нормативних значень.

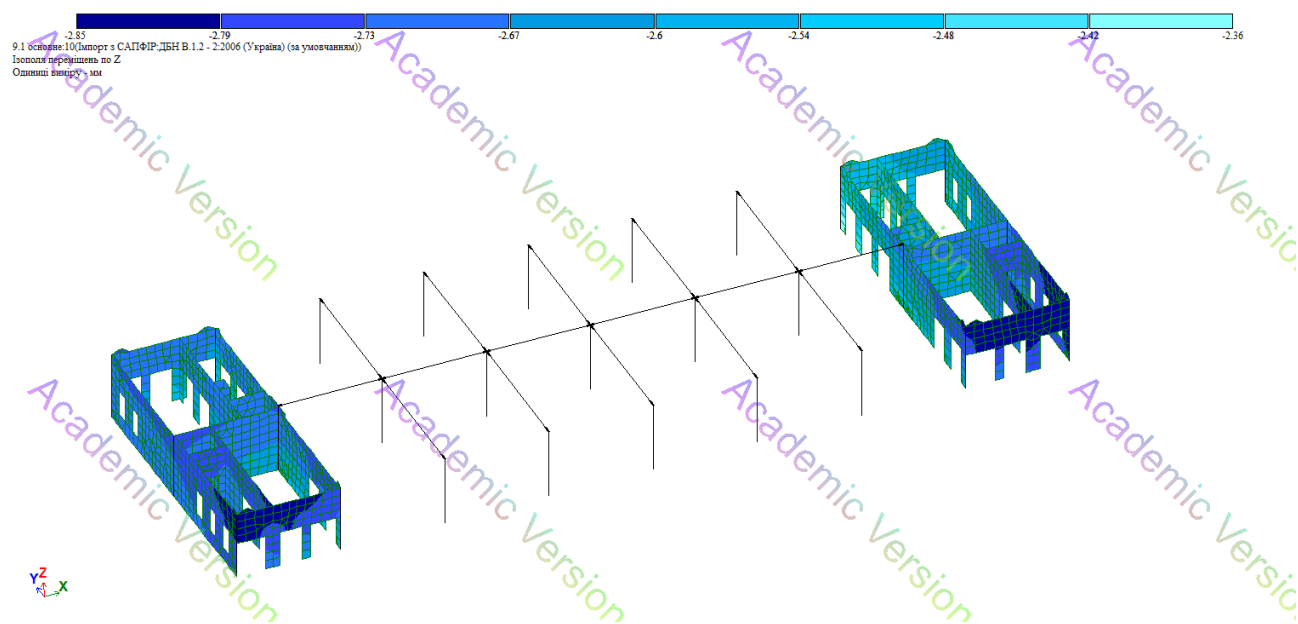


Рисунок 2.32 – Ізоповерх переміщення плити перекриття по осі Z

За результатами підбору арматури остаточно ухвалюємо:

При конструюванні стін перекриття ухвалюємо основне армування у  $\varnothing 12$  А400С із кроком 200 мм у двох напрямках, доармування згідно підбору в ПК ЛІРА-САПР.

## **2.9 Розрахунок основ та фундаментів**

Сучасні монолітні будівлі характеризуються різноманітними архітектурно-планувальними рішеннями, які часто включають нерегулярне розташування вертикальних несучих елементів та зміну площі забудови на різних поверхах. Така конструктивна особливість призводить до нерівномірного розподілу навантаження на основу будівлі, що потребує застосування надійних та ефективних фундаментів. Найбільш доцільним у таких умовах є використання суцільних плитних фундаментів із монолітного залізобетону. Вони можуть виконуватися у вигляді плоских, ребристих або коробчатих плит. Найефективнішими вважаються плоскі плитні фундаменти, оскільки вони забезпечують рівномірний розподіл навантаження на ґрунт навіть при низькому питомому опорі, створюють стійку основу на слабких або рухливих ґрунтах, можуть одночасно виконувати функцію підлоги приміщень, а також відзначаються високою довговічністю та міцністю завдяки армуванню. Крім того, такі фундаменти дозволяють зводити будівлі в складних геологічних умовах — за наявності близького рівня ґрунтових вод, пучинистих або заболочених ґрунтів, запобігаючи деформаціям основи та підвищуючи загальну надійність споруди.

## 2.9.1 Початкові розрахункові дані для розрахунку монолітної фундаментної плити

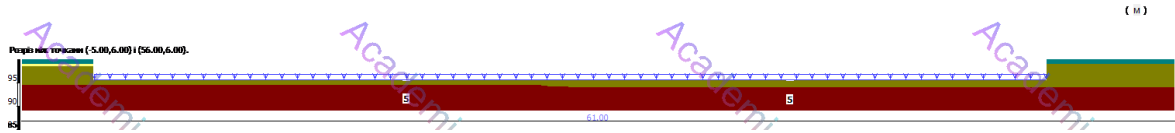


Рисунок 2.33 – Розріз прикладання навантаження вздовж будівлі у системі ГРУНТ

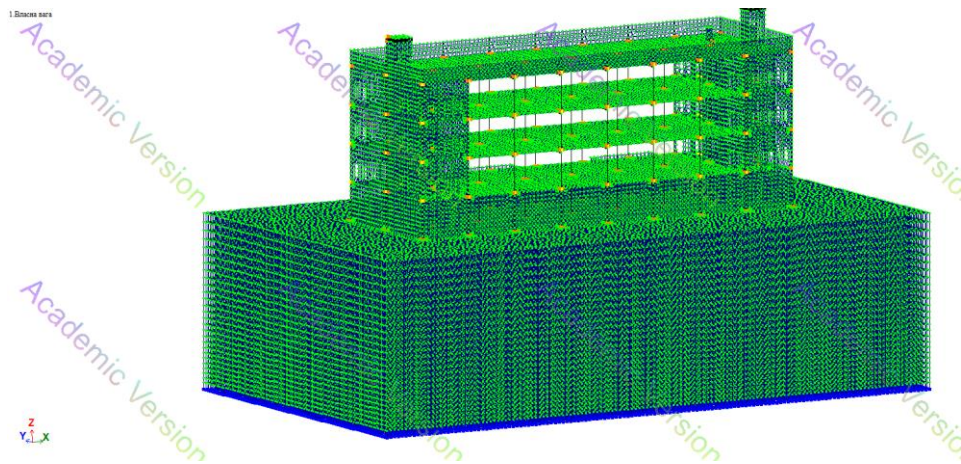


Рисунок 2.34 – Створення КЕ моделі ґрунту до просторового каркасу будівлі

Сучасні монолітні будівлі вирізняються складними архітектурно-планувальними рішеннями, які часто характеризуються нерегулярним розташуванням вертикальних несучих елементів та відмінностями у площі забудови на різних поверхах. Це призводить до нерівномірного розподілу навантаження на основу будівлі, тому одним із найбільш ефективних рішень є застосування суцільних плитних фундаментів із монолітного залізобетону. Такі фундаменти можуть бути плоскими, ребристими або коробчатими, проте найчастіше використовуються плоскі, адже вони забезпечують рівномірне передавання навантаження на ґрунт, підвищену міцність і довговічність завдяки армуванню, а також можливість використання у складних інженерно-геологічних умовах — при близькому розташуванні ґрунтових вод, пучинистості чи заболоченості ґрунтів.

Для розрахунку взаємодії фундаменту з основою в програмному комплексі ЛІРА-САПР застосовується просторове моделювання, яке дозволяє врахувати реальні ґрунтові умови на всій площі будівельного майданчика. Модель ґрунту включає дані про геологічну будову, фізико-механічні властивості та розподіл інженерно-геологічних елементів (ІГЕ). Кожен ІГЕ описується у вікні «Характеристики ґрунтів» системи ГРУНТ за такими основними параметрами: модуль деформації  $E$ , коефіцієнт Пуассона  $\nu$ , питома вага ґрунту  $\gamma$  (для двох граничних станів — ГС1 та ГС2). Для врахування вологості або текучості задаються показники природної вологості  $W$  (для піщаних ґрунтів), показник текучості  $IL$  (для глинистих ґрунтів) та коефіцієнт пористості  $e$ . Додатково враховуються питоме зчеплення  $c$  та кут внутрішнього тертя  $\varphi$  — також для двох граничних станів, а за потреби вводяться й інші характеристики.

Навантаження на ґрунт задаються безпосередньо в системі ГРУНТ або імпортуються з програми ВІЗОР-САПР. Для розрахунків використовується модель лінійно деформованого півпростору (за задачею Буссінеска), що дає змогу точно визначити осідання та глибину стисливої товщі відповідно до вибраних нормативних документів. У кожній точці з координатами  $(x, y)$  на глибині  $z_j$  для кожного зовнішнього навантаження  $k$  обчислюється додаткове вертикальне напруження  $\sigma_{zp,jk}$ , після чого визначається сумарне значення  $\sigma_{zp,j} = \sum \sigma_{zp,jk}$ . Одночасно розраховується вертикальне напруження від власної ваги ґрунту  $\sigma_{zg,j}$ . Якщо на глибині  $z_j$  виконується умова  $\sigma_{zp,j} < \lambda \cdot \sigma_{zg,j}$ , фіксується глибина стисливої товщі  $H_c = z_j$ .

У спрощеному підході, одному з трьох передбачених методів, коефіцієнт пружності основи  $C_1$  у розрахунковій точці з координатами  $(x, y)$  визначається за аналітичною формулою, що враховує параметри ґрунту, навантаження та глибину стисливої зони. Такий підхід у програмі ЛІРА-САПР забезпечує високоточне моделювання роботи основи та фундаменту, дозволяючи оцінити

напружено-деформований стан конструкції з урахуванням реальних геотехнічних умов.

$$C_1 = \sigma_{zp,j} / s$$

де

$\sigma_{zp,j}$  - додаткове вертикальне напруження в точці  $(x,y)$  на глибині  $z_j$ ,

$s$  – осідання основи в тій самій точці

Ця формула відображає залежність між напруженням та деформацією ґрунту, що використовується для визначення коефіцієнта пружності основи.

Одновузловий КЕ 51 пружної в'язі застосовується для введення пружної в'язі за одним напрямком чи навколо однієї з глобальних осей  $X, Y, Z$  чи місцевих осей координат елемента  $X1, Y1, Z1$ .

### 2.9.2 Розрахунки фундаментної плити

Розрахунок фундаментної плити на стислій основі, що застосовується у сучасних монолітних будівлях із нерегулярним розташуванням вертикальних несучих елементів, є складним багатоступеневим процесом, який потребує високої точності та комплексного підходу. Через нерівномірний розподіл навантажень на основу такі конструкції вимагають ретельного інженерного аналізу, особливо при використанні суцільних плитних фундаментів.

Процес розрахунку фундаментної плити включає кілька основних етапів.

На першому етапі визначаються розрахункові навантаження на плиту, які отримують із результатів розрахунку каркаса будівлі. Ці навантаження враховують як постійні, так і тимчасові дії, що впливають на конструкцію.

Далі виконується статичний розрахунок плити на стислій основі, під час якого визначаються внутрішні зусилля, деформації, переміщення плити та реакції ґрунту під нею. При цьому враховується можливість нерівномірного стискання основи, осідань і зсувів, які можуть виникати через різну жорсткість ґрунтів або неоднорідний розподіл навантаження.

Наступним кроком є перевірка деформацій, під час якої оцінюється різниця вертикальних переміщень у точках розташування колон. Отримані значення порівнюються з допустимими нормативними межами, щоб запобігти появі надмірних деформацій та перекосів конструкції.

Усі розрахунки виконуються за допомогою програмного комплексу «ЛІРА-САПР» у поєднанні з системою ГРУНТ, що забезпечує детальне моделювання взаємодії фундаментної плити з ґрунтовою основою. У ЛІРА-САПР модель ґрунту формується з урахуванням геологічних умов у кожній точці будівельного майданчика. Кожен інженерно-геологічний елемент (ІГЕ) описується у вікні «Характеристики ґрунтів» системи ГРУНТ за такими параметрами, як модуль деформації  $E$ , коефіцієнт Пуассона  $\nu$ , питома вага ґрунту  $\gamma$  (для двох граничних станів — ГС1 і ГС2), а також характеристиками вологості або текучості — природна вологість  $W$  (для піщаних ґрунтів), показник текучості  $IL$  (для глинистих), коефіцієнт пористості  $e$ , питома зчеплення  $c$  та кут внутрішнього тертя  $\phi$ . Усі ці параметри враховуються при визначенні напружено-деформованого стану системи «плита–основа».

Послідовність розрахунку в ПК «ЛІРА-САПР» включає створення розрахункової схеми з поділом на кінцеві елементи, призначення матеріальних характеристик і зв'язків, введення зовнішніх навантажень, врахування додаткових параметрів для визначення деформованої схеми, проведення основних розрахунків і подальший аналіз отриманих результатів.

Розрахунки ґрунтової основи базуються на моделі лінійно деформованого півпростору (за класичною задачею Буссінеска), що дозволяє визначити осідання, напруження і глибину стисливої товщі відповідно до прийнятих нормативів. Для кожного навантаження розраховується додаткове вертикальне напруження, сумарне значення якого порівнюється з напруженням від власної ваги ґрунту. При виконанні умови  $\sigma_{zp,j} < \lambda \cdot \sigma_{zg,j}$  фіксується глибина стисливої товщі  $H_c = z_j$ .

Таким чином, застосування методики розрахунку фундаментних плит на стислій основі у комплексі «ЛІРА-САПР» – ГРУНТ» дозволяє з високою точністю врахувати специфіку нерівномірних навантажень, властивості ґрунту та взаємодію конструкції з основою. Це забезпечує надійність, довговічність і безпечну експлуатацію плитних фундаментів сучасних монолітних будівель навіть у складних інженерно-геологічних умовах.

### **2.9.3 Створення розрахункової схеми фундаментної плити**

На рисунку 2.35 наведено схему розбиття плитного фундаменту на кінцеві елементи, яке виконано за допомогою автоматичної триангуляції в програмному комплексі «САПФІР». Отримана тривимірна модель конструкції з урахуванням геометрії фундаменту, навантажень і контурів будівлі була передана до програмного комплексу «ЛІРА-САПР» для подальшого інженерного аналізу.

Такий підхід забезпечує високий рівень точності моделювання, оскільки дозволяє створювати безперервну та детальну сітку кінцевих елементів, що точно відображає форму і розподіл навантажень на фундаментну плиту. Автоматична триангуляція мінімізує похибки, пов'язані з ручним створенням елементів, і сприяє оптимізації розрахункової моделі.

Після передання даних у ПК «ЛІРА-САПР» виконується подальше уточнення параметрів матеріалів, ґрунтових умов та граничних умов взаємодії плити з основою. Це дозволяє отримати достовірну картину напружено-деформованого стану фундаменту, оцінити його стійкість і забезпечити точність розрахунків у відповідності до сучасних норм проектування.

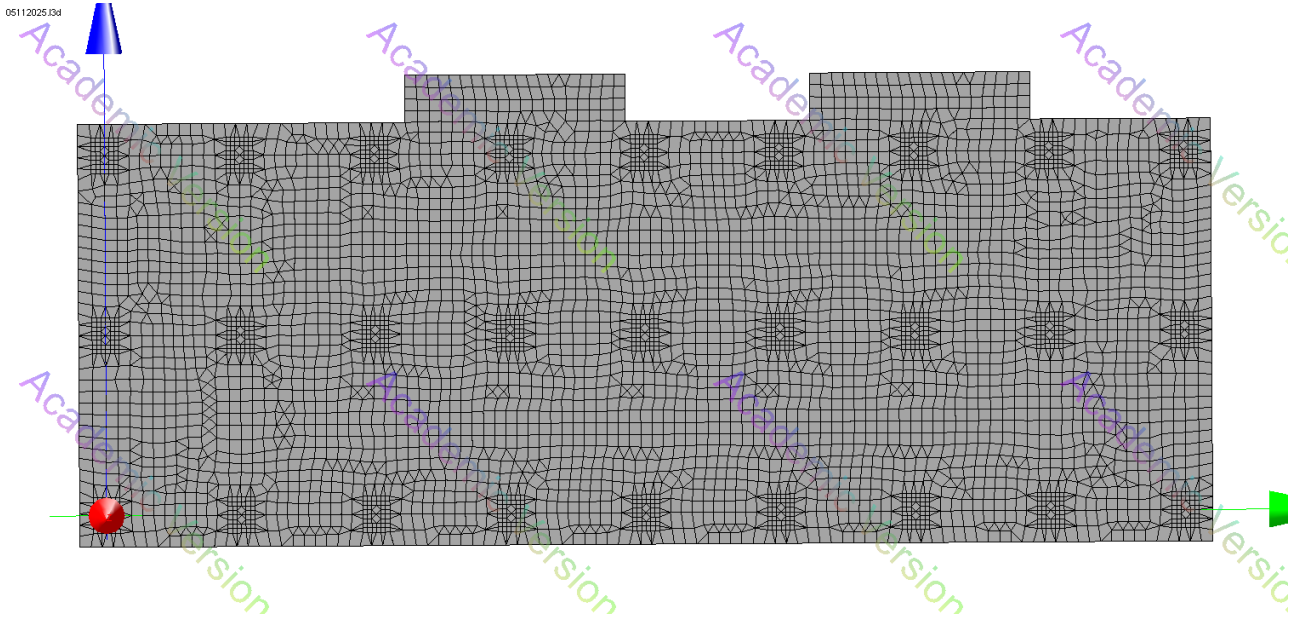


Рисунок 2.35 – Розбивка плитного фундаменту на кінцеві елементи

Для розрахунків фундаментної плити використана розрахункова схема у вигляді лінійно деформованого півпростору з умовним обмеженням глибини стисливої товщі.

#### 2.9.4 Аналіз результатів розрахунків фундаментної плити по деформаціям

Результати розрахунків плити по деформаціям:

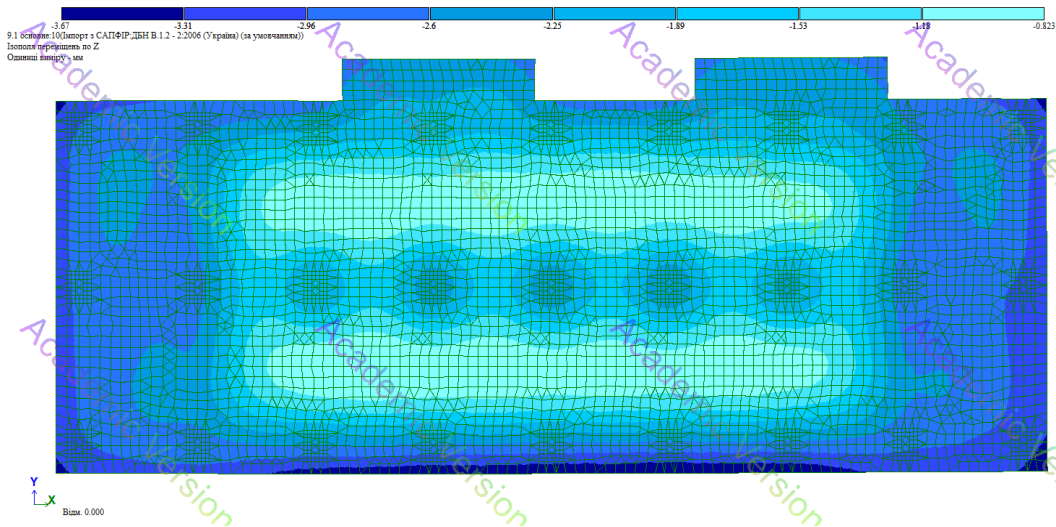


Рисунок 2.36 – Ізополя переміщень по осі Z

З розрахунку видно, що максимальні осадки фундаментної  $S_{\max,u} = 3,67$  см за ДБН В.2.1-10:2018 «Основи і фундаменти будівель та споруд» не перевищують відповідних показників. Основні положення, Додатку А, Таблица А1.

## 2.9 Результати розрахунків колон та монолітних стін

Результат підбору арматури для колони в осях А-3 на рівні першого поверху (КМ-9)

ЛАРМ-САПР 2024 - локальний режим армування  
 Проект - 05112025\_283  
 Проект ЛІРА-САПР: 05112025  
 ДБН В.2.6.-98:2009

<b>Елемент 1</b>	
Елемент N = 1 Елемент в ЛІРА-САПР N = 283	
Довжина 4.1 ( м ) $L_y = 4.1$ , $L_z = 4.1$ ( м ) Переріз - Прямокутник $B(D) = 40.0$ , $H(D1) = 80.0$ , $B1 = 0.0$ , $H1 = 0.0$ , $B2 = 0.0$ , $H2 = 0.0$ ( см ) Відстань до центру ваги арматури: знизу = 4 зверху = 4 збоку = 4. ( см )	
Вид елемента: Колона Індекси матеріалів: загальні 1, бетон 1, арматура 1 Конструктивні вимоги НЕ враховувалися Клас бетону - C30/35 Клас поздовжньої арматури X - A400C Клас поперечної арматури - A240C Максимальний діаметр 32.00 мм	

<b>ЗУСИЛЛЯ, СПОЛУЧЕННЯ (РСН (розрахункові сполучення навантажень))</b>							
Comb	Seis	N	Mx	My	Qz	Mz	Qy
N, Qy, Qz - т; Mx, My, Mz - т*м							
Елемент: 1 Переріз: 1 Зусилля або РСН							
1	A1	-129.773	0.000	-23.984	10.550	0.268	0.199
2	A1	-162.162	-0.002	-31.070	13.907	0.526	0.336
3	A1	-144.637	-0.001	-26.883	11.935	0.377	0.257
4	A1	-129.773	0.000	-23.984	10.550	0.268	0.199
5	B1	-129.356	-0.004	-23.978	10.530	0.286	0.205
6	B1	-130.190	0.004	-23.991	10.570	0.251	0.193
7	A1	-135.950	-0.000	-24.203	10.693	0.285	0.208

8 A1	-129.773	0.000	-23.984	10.550	0.268	0.199
9 A1	-129.773	0.000	-23.984	10.550	0.268	0.199
10 A1	-129.773	0.000	-23.984	10.550	0.268	0.199
11 B1	-179.105	-0.006	-33.515	15.096	0.642	0.394
12 B1	-179.855	0.001	-33.526	15.132	0.611	0.383
Елемент: 1 Переріз: 2 Зусилля або РСН						
1 A1	-127.969	0.000	-2.357	10.550	-0.140	0.199
2 A1	-160.358	-0.002	-2.561	13.907	-0.162	0.336
3 A1	-142.833	-0.001	-2.416	11.935	-0.149	0.257
4 A1	-127.969	0.000	-2.357	10.550	-0.140	0.199
5 B1	-127.552	-0.004	-2.391	10.530	-0.136	0.205
6 B1	-128.386	0.004	-2.322	10.570	-0.144	0.193
7 A1	-134.146	-0.000	-2.282	10.693	-0.141	0.208
8 A1	-127.969	0.000	-2.357	10.550	-0.140	0.199
9 A1	-127.969	0.000	-2.357	10.550	-0.140	0.199
10 A1	-127.969	0.000	-2.357	10.550	-0.140	0.199
11 B1	-177.301	-0.006	-2.569	15.096	-0.167	0.394
12 B1	-178.051	0.001	-2.506	15.132	-0.175	0.383
Елемент: 1 Переріз: 3 Зусилля або РСН						
1 A1	-126.165	0.000	19.271	10.550	-0.548	0.199
2 A1	-158.554	-0.002	25.947	13.907	-0.851	0.336
3 A1	-141.029	-0.001	22.050	11.935	-0.676	0.257
4 A1	-126.165	0.000	19.271	10.550	-0.548	0.199
5 B1	-125.748	-0.004	19.196	10.530	-0.557	0.205
6 B1	-126.582	0.004	19.346	10.570	-0.539	0.193
7 A1	-132.342	-0.000	19.639	10.693	-0.567	0.208
8 A1	-126.165	0.000	19.271	10.550	-0.548	0.199
9 A1	-126.165	0.000	19.271	10.550	-0.548	0.199
10 A1	-126.165	0.000	19.271	10.550	-0.548	0.199
11 B1	-175.497	-0.006	28.378	15.096	-0.976	0.394
12 B1	-176.247	0.001	28.513	15.132	-0.960	0.383

Нормативні значення							
Comb	Seis	N	Mx	My	Qz	Mz	Qy
N, Qy, Qz - т; Mx, My, Mz - т*м							
Елемент: 1 Переріз: 1 Зусилля або РСН							
1 A2		-117.975		-21.804	9.591	0.244	0.181
2 A2		-144.966	-0.001	-27.708	12.388	0.459	0.295
3 B2		-130.362	-0.001	-24.219	10.745	0.335	0.229
4 A2		-117.975		-21.804	9.591	0.244	0.181
5 C2		-117.898	-0.001	-21.803	9.587	0.247	0.182
6 C2		-118.052	0.001	-21.805	9.595	0.241	0.180
7 B2		-122.388	-0.000	-21.960	9.693	0.256	0.187
8 A2		-117.975		-21.804	9.591	0.244	0.181
9 A2		-117.975		-21.804	9.591	0.244	0.181
10 A2		-117.975		-21.804	9.591	0.244	0.181
11 C2		-158.667	-0.003	-29.726	13.375	0.543	0.339
12 C2		-158.805	-0.002	-29.728	13.382	0.538	0.337
Елемент: 1 Переріз: 2 Зусилля або РСН							
1 A2		-116.335		-2.142	9.591	-0.127	0.181
2 A2		-143.326	-0.001	-2.313	12.388	-0.146	0.295

3 B2	-128.722	-0.001	-2.192	10.745	-0.135	0.229
4 A2	-116.335		-2.142	9.591	-0.127	0.181
5 C2	-116.258	-0.001	-2.149	9.587	-0.126	0.182
6 C2	-116.412	0.001	-2.136	9.595	-0.128	0.180
7 B2	-120.748	-0.000	-2.089	9.693	-0.128	0.187
8 A2	-116.335		-2.142	9.591	-0.127	0.181
9 A2	-116.335		-2.142	9.591	-0.127	0.181
10 A2	-116.335		-2.142	9.591	-0.127	0.181
11 C2	-157.027	-0.003	-2.307	13.375	-0.152	0.339
12 C2	-157.165	-0.002	-2.295	13.382	-0.154	0.337
Елемент: 1 Переріз: 3 Зусилля або РСН						
1 A2	-114.695		17.519	9.591	-0.498	0.181
2 A2	-141.686	-0.001	23.083	12.388	-0.751	0.295
3 B2	-127.082	-0.001	19.835	10.745	-0.604	0.229
4 A2	-114.695		17.519	9.591	-0.498	0.181
5 C2	-114.618	-0.001	17.505	9.587	-0.500	0.182
6 C2	-114.772	0.001	17.533	9.595	-0.497	0.180
7 B2	-119.108	-0.000	17.782	9.693	-0.512	0.187
8 A2	-114.695		17.519	9.591	-0.498	0.181
9 A2	-114.695		17.519	9.591	-0.498	0.181
10 A2	-114.695		17.519	9.591	-0.498	0.181
11 C2	-155.387	-0.003	25.113	13.375	-0.847	0.339
12 C2	-155.525	-0.002	25.138	13.382	-0.845	0.337

АРМАТУРА Підбір арматури												
AU1	AU2	AU3	AU4	AS1	AS2	AS3	AS4	%	Asw1	Asw2	Т.нетрив	Т.трив.
Переріз: 1 Симетричне армування												
0.16	0.16	0.16	0.16					0.02	0.07	0.07		0.08
*									0.02	0.02		
Переріз: 2 Симетричне армування												
									0.07	0.07		
*									0.02	0.02		
Переріз: 3 Симетричне армування												
0.16	0.16	0.16	0.16					0.02	0.07	0.07		0.01
*									0.02	0.02		

#### У таблиці результатів армування

У таблиці результатів армування

- AU1 - арматура кутова нижня (ліворуч) [см<sup>2</sup>];
- AU2 - арматура кутова нижня (праворуч) [см<sup>2</sup>];
- AU3 - арматура кутова верхня (ліворуч) [см<sup>2</sup>];
- AU4 - арматура кутова верхня (праворуч) [см<sup>2</sup>];
- AS1 - арматура нижня [см<sup>2</sup>];
- AS2 - арматура верхня [см<sup>2</sup>];
- AS3 - арматура бічна (ліворуч) [см<sup>2</sup>];
- AS4 - арматура бічна (праворуч) [см<sup>2</sup>];
- % - відсоток армування;
- Asw1 - арматура поперечна вертикальна [см<sup>2</sup>/м];
- Asw2 - арматура поперечна горизонтальна [см<sup>2</sup>/м];
- Т.кр - ширина нетривалого розкриття тріщин [мм];
- Т.дл - ширина тривалого розкриття тріщин [мм].
- \* (1\*, 2\*, 3\*) - арматури від кручення.

\* (1\*, 2\*, 3\*) Поперечна арматура від кручення - площа перерізу замкненого зовнішнього контуру.  
 Для норм СП 63.13330.2012/2018 арматура від кручення видається для кожної грані перерізу.  
 (Підібрана арматура від кручення не входить у результати повної арматури.)  
 + - арматура підібрана з урахуванням вогнестійкості  
 ^ - арматура підібрана по сполученням прогресуючого руйнування  
 Рядок 1 - повна арматура, підібрана по I і II групам граничних станів, від кручення...  
 Рядок 2 - арматура, підібрана по I групі граничних станів  
 Рядок \* - арматура від кручення  
 Рядок + - арматура підібрана з урахуванням вогнестійкості

\*\* - Стержень змінного перерізу  
 CY, CZ - Координати центру перерізу, щодо якого розставлені арматурні стрижні.

## Результат підбору арматури для колони в осях А-З на рівні третього поверху (КМ-9)

ЛАРМ-САПР 2024 - локальний режим армування  
 Проект - 05112025\_620  
 Проект ЛІРА-САПР: 05112025  
 ДБН В.2.6.-98:2009

<b>Елемент 1</b>	
Елемент N = 1 Елемент в ЛІРА-САПР N = 620	
Довжина 4.1 ( м ) $L_y = 4.1$ , $L_z = 4.1$ ( м ) Переріз - Прямокутник $B(D) = 40.0$ , $H(D1) = 80.0$ , $B1 = 0.0$ , $H1 = 0.0$ , $B2 = 0.0$ , $H2 = 0.0$ ( см ) Відстань до центру ваги арматури: знизу = 4 зверху = 4 збоку = 4. ( см )	
Вид елемента: Колона Індекси матеріалів: загальні 1, бетон 1, арматура 1 Конструктивні вимоги НЕ враховувалися Клас бетону - C30/35 Клас поздовжньої арматури X - A400C Клас поперечної арматури - A240C Максимальний діаметр 32.00 мм	

<b>ЗУСИЛЛЯ, СПОЛУЧЕННЯ (РСН (розрахункові сполучення навантажень))</b>							
Comb	Seis	N	Mx	My	Qz	Mz	Qy
N, Qy, Qz - т; Mx, My, Mz - т*м							
Елемент: 1 Переріз: 1 Зусилля або РСН							
1	A1	-47.380	-0.022	-27.236	16.392	1.027	0.562
2	A1	-52.342	-0.024	-35.744	20.631	1.446	0.778
3	A1	-51.198	-0.025	-31.218	18.667	1.209	0.660
4	A1	-47.380	-0.022	-27.236	16.392	1.027	0.562
5	B1	-47.033	-0.020	-27.236	16.382	1.058	0.581
6	B1	-47.728	-0.023	-27.236	16.402	0.997	0.543
7	A1	-53.295	-0.028	-29.181	18.338	1.072	0.597
8	A1	-47.380	-0.022	-27.236	16.392	1.027	0.562

9 A1	-47.380	-0.022	-27.236	16.392	1.027	0.562
10 A1	-47.380	-0.022	-27.236	16.392	1.027	0.562
11 B1	-60.540	-0.031	-40.652	24.210	1.656	0.904
12 B1	-61.166	-0.034	-40.652	24.228	1.601	0.870
Елемент: 1 Переріз: 2 Зусилля або РСН						
1 A1	-45.576	-0.022	6.367	16.392	-0.125	0.562
2 A1	-50.538	-0.024	6.551	20.631	-0.150	0.778
3 A1	-49.394	-0.025	7.050	18.667	-0.143	0.660
4 A1	-45.576	-0.022	6.367	16.392	-0.125	0.562
5 B1	-45.229	-0.020	6.346	16.382	-0.133	0.581
6 B1	-45.924	-0.023	6.387	16.402	-0.117	0.543
7 A1	-51.491	-0.028	8.412	18.338	-0.152	0.597
8 A1	-45.576	-0.022	6.367	16.392	-0.125	0.562
9 A1	-45.576	-0.022	6.367	16.392	-0.125	0.562
10 A1	-45.576	-0.022	6.367	16.392	-0.125	0.562
11 B1	-58.736	-0.031	8.979	24.210	-0.198	0.904
12 B1	-59.362	-0.034	9.016	24.228	-0.183	0.870
Елемент: 1 Переріз: 3 Зусилля або РСН						
1 A1	-43.772	-0.022	39.969	16.392	-1.277	0.562
2 A1	-48.734	-0.024	48.845	20.631	-1.746	0.778
3 A1	-47.590	-0.025	45.318	18.667	-1.496	0.660
4 A1	-43.772	-0.022	39.969	16.392	-1.277	0.562
5 B1	-43.425	-0.020	39.928	16.382	-1.323	0.581
6 B1	-44.120	-0.023	40.010	16.402	-1.230	0.543
7 A1	-49.687	-0.028	46.005	18.338	-1.377	0.597
8 A1	-43.772	-0.022	39.969	16.392	-1.277	0.562
9 A1	-43.772	-0.022	39.969	16.392	-1.277	0.562
10 A1	-43.772	-0.022	39.969	16.392	-1.277	0.562
11 B1	-56.932	-0.031	58.610	24.210	-2.051	0.904
12 B1	-57.558	-0.034	58.684	24.228	-1.968	0.870

Нормативні значення							
Comb	Seis	N	Mx	My	Qz	Mz	Qy
N, Qy, Qz - т; Mx, My, Mz - т*м							
Елемент: 1 Переріз: 1 Зусилля або РСН							
1 A2		-43.073	-0.020	-24.760	14.901	0.934	0.511
2 A2		-47.208	-0.022	-31.850	18.435	1.282	0.691
3 B2		-46.254	-0.022	-28.078	16.798	1.085	0.592
4 A2		-43.073	-0.020	-24.760	14.901	0.934	0.511
5 C2		-43.009	-0.020	-24.760	14.900	0.940	0.514
6 C2		-43.137	-0.020	-24.760	14.903	0.928	0.507
7 B2		-47.298	-0.024	-26.149	16.292	0.966	0.536
8 A2		-43.073	-0.020	-24.760	14.901	0.934	0.511
9 A2		-43.073	-0.020	-24.760	14.901	0.934	0.511
10 A2		-43.073	-0.020	-24.760	14.901	0.934	0.511
11 C2		-53.609	-0.028	-35.732	21.214	1.435	0.781
12 C2		-53.724	-0.028	-35.732	21.218	1.425	0.775
Елемент: 1 Переріз: 2 Зусилля або РСН							
1 A2		-41.433	-0.020	5.788	14.901	-0.113	0.511
2 A2		-45.568	-0.022	5.941	18.435	-0.135	0.691
3 B2		-44.614	-0.022	6.357	16.798	-0.129	0.592

4 A2	-41.433	-0.020	5.788	14.901	-0.113	0.511
5 C2	-41.369	-0.020	5.784	14.900	-0.115	0.514
6 C2	-41.497	-0.020	5.792	14.903	-0.112	0.507
7 B2	-45.658	-0.024	7.249	16.292	-0.133	0.536
8 A2	-41.433	-0.020	5.788	14.901	-0.113	0.511
9 A2	-41.433	-0.020	5.788	14.901	-0.113	0.511
10 A2	-41.433	-0.020	5.788	14.901	-0.113	0.511
11 C2	-51.969	-0.028	7.758	21.214	-0.167	0.781
12 C2	-52.084	-0.028	7.764	21.218	-0.164	0.775
Елемент: 1 Переріз: 3 Зусилля або РСН						
1 A2	-39.793	-0.020	36.336	14.901	-1.161	0.511
2 A2	-43.928	-0.022	43.732	18.435	-1.552	0.691
3 B2	-42.974	-0.022	40.793	16.798	-1.343	0.592
4 A2	-39.793	-0.020	36.336	14.901	-1.161	0.511
5 C2	-39.729	-0.020	36.328	14.900	-1.169	0.514
6 C2	-39.857	-0.020	36.343	14.903	-1.152	0.507
7 B2	-44.018	-0.024	40.647	16.292	-1.232	0.536
8 A2	-39.793	-0.020	36.336	14.901	-1.161	0.511
9 A2	-39.793	-0.020	36.336	14.901	-1.161	0.511
10 A2	-39.793	-0.020	36.336	14.901	-1.161	0.511
11 C2	-50.329	-0.028	51.247	21.214	-1.768	0.781
12 C2	-50.444	-0.028	51.260	21.218	-1.753	0.775

АРМАТУРА Підбір арматури												
AU1	AU2	AU3	AU4	AS1	AS2	AS3	AS4	%	Asw1	Asw2	Т.нетрив	Т.трив.
Переріз: 1 Симетричне армування												
4.16	4.16	4.16	4.16					0.52	19.50	0.14	0.24	0.24
4.16	4.16	4.16	4.16					0.52				
*									0.09	0.09		
Переріз: 2 Симетричне армування												
									19.50	0.14		0.05
*									0.09	0.09		
Переріз: 3 Симетричне армування												
7.84	7.84	7.84	7.84					0.98	19.50	0.14	0.22	0.19
7.84	7.84	7.84	7.84					0.98				
*									0.09	0.09		
<b>У таблиці результатів армування</b>												

У таблиці результатів армування

AU1 - арматура кутова нижня (ліворуч) [см2];

AU2 - арматура кутова нижня (праворуч) [см2];

AU3 - арматура кутова верхня (ліворуч) [см2];

AU4 - арматура кутова верхня (праворуч) [см2];

AS1 - арматура нижня [см2];

AS2 - арматура верхня [см2];

AS3 - арматура бічна (ліворуч) [см2];

AS4 - арматура бічна (праворуч) [см2];

% - відсоток армування;

Asw1 - арматура поперечна вертикальна [см2/м];

Asw2 - арматура поперечна горизонтальна [см2/м];

Т.кр - ширина нетривалого розкриття тріщин [мм];

Т.дл - ширина тривалого розкриття тріщин [мм].

\* (1\*, 2\*, 3\*) - арматури від кручення.

\* (1\*, 2\*, 3\*) Поперечна арматура від кручення - площа перерізу замкнутого зовнішнього контуру.

Для норм СП 63.13330.2012/2018 арматура від кручення видається для кожної грані перерізу.

(Підібрана арматура від кручення не входить у результати повної арматури.)

+ - арматура підібрана з урахуванням вогнестійкості

^ - арматура підібрана по сполученням прогресуючого руйнування

Рядок 1 - повна арматура, підібрана по I і II групам граничних станів, від кручення...

Рядок 2 - арматура, підібрана по I групі граничних станів

Рядок \* - арматура від кручення

Рядок + - арматура підібрана з урахуванням вогнестійкості

\*\* - Стержень змінного перерізу

CY, CZ - Координати центру перерізу, щодо якого розставлені арматурні стрижні.

## Результат підбору арматури для балки першого поверху в осі 3, БМ1

ЛАРМ-САПР 2024 - локальний режим армування

Проект - 05112025\_377

Проект ЛІРА-САПР: 05112025

ДБН В.2.6.-98:2009

<b>Елемент 1</b>	
<p>Елемент N = 1 Елемент в ЛІРА-САПР N = 377</p>	
<p>Довжина 8 ( м )  <math>L_y = 8</math> , <math>L_z = 8</math> ( м )            Переріз - Прямокутник  <math>B(D) = 30.0</math> , <math>H(D1) = 60.0</math> , <math>B1 = 0.0</math> , <math>H1 = 0.0</math> , <math>B2 = 0.0</math> , <math>H2 = 0.0</math> ( см )            Відстань до центру ваги арматури: знизу = 5 зверху = 5 збоку = 5. ( см )</p>	
<p>Вид елемента: Балка            Індекси матеріалів: загальні 5, бетон 2, арматура 2            Конструктивні вимоги НЕ враховувалися            Клас бетону - C16/20            Клас поздовжньої арматури X - A400C            Клас поперечної арматури - A240C            Максимальний діаметр 28.00 мм</p>	

<b>ЗУСИЛЛЯ, СПОЛУЧЕННЯ (РСН (розрахункові сполучення навантажень))</b>							
Comb	Seis	N	Mx	My	Qz	Mz	Qy
N, Qy, Qz - т; Mx, My, Mz - т*м							
Елемент: 1 Переріз: 1 Зусилля або РСН							
1	A1	3.378	-0.064	-2.952	2.117	-0.010	-0.003
2	A1	4.998	-0.100	-3.646	2.353	-0.016	-0.005
3	A1	4.035	-0.080	-3.277	2.226	-0.013	-0.004
4	A1	3.378	-0.064	-2.952	2.117	-0.010	-0.003
5	B1	3.316	-0.063	-2.868	2.094	-0.009	-0.003
6	B1	3.440	-0.064	-3.036	2.140	-0.011	-0.003
7	A1	3.410	-0.069	-3.116	2.166	-0.011	-0.003
8	A1	3.378	-0.064	-2.952	2.117	-0.010	-0.003
9	A1	3.378	-0.064	-2.952	2.117	-0.010	-0.003
10	A1	3.378	-0.064	-2.952	2.117	-0.010	-0.003

11 B1	5.481	-0.116	-3.975	2.463	-0.018	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	-4.126	2.504	-0.020	-0.006
Елемент: 1 Переріз: 2 Зусилля або РСН						
1 A1	3.378	-0.064	-2.050	1.894	-0.009	-0.003
2 A1	4.998	-0.100	-2.637	2.130	-0.014	-0.005
3 A1	4.035	-0.080	-2.325	2.003	-0.011	-0.004
4 A1	3.378	-0.064	-2.050	1.894	-0.009	-0.003
5 B1	3.316	-0.063	-1.976	1.871	-0.008	-0.003
6 B1	3.440	-0.064	-2.123	1.917	-0.010	-0.003
7 A1	3.410	-0.069	-2.191	1.944	-0.009	-0.003
8 A1	3.378	-0.064	-2.050	1.894	-0.009	-0.003
9 A1	3.378	-0.064	-2.050	1.894	-0.009	-0.003
10 A1	3.378	-0.064	-2.050	1.894	-0.009	-0.003
11 B1	5.481	-0.116	-2.917	2.240	-0.015	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	-3.049	2.282	-0.017	-0.006
Елемент: 1 Переріз: 3 Зусилля або РСН						
1 A1	3.378	-0.064	-1.247	1.671	-0.007	-0.003
2 A1	4.998	-0.100	-1.728	1.908	-0.012	-0.005
3 A1	4.035	-0.080	-1.474	1.780	-0.009	-0.004
4 A1	3.378	-0.064	-1.247	1.671	-0.007	-0.003
5 B1	3.316	-0.063	-1.184	1.648	-0.007	-0.003
6 B1	3.440	-0.064	-1.311	1.694	-0.008	-0.003
7 A1	3.410	-0.069	-1.367	1.721	-0.008	-0.003
8 A1	3.378	-0.064	-1.247	1.671	-0.007	-0.003
9 A1	3.378	-0.064	-1.247	1.671	-0.007	-0.003
10 A1	3.378	-0.064	-1.247	1.671	-0.007	-0.003
11 B1	5.481	-0.116	-1.959	2.018	-0.013	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	-2.073	2.059	-0.014	-0.006
Елемент: 1 Переріз: 4 Зусилля або РСН						
1 A1	3.378	-0.064	-0.545	1.449	-0.006	-0.003
2 A1	4.998	-0.100	-0.920	1.685	-0.010	-0.005
3 A1	4.035	-0.080	-0.723	1.557	-0.008	-0.004
4 A1	3.378	-0.064	-0.545	1.449	-0.006	-0.003
5 B1	3.316	-0.063	-0.492	1.426	-0.005	-0.003
6 B1	3.440	-0.064	-0.599	1.471	-0.007	-0.003
7 A1	3.410	-0.069	-0.643	1.498	-0.006	-0.003
8 A1	3.378	-0.064	-0.545	1.449	-0.006	-0.003
9 A1	3.378	-0.064	-0.545	1.449	-0.006	-0.003
10 A1	3.378	-0.064	-0.545	1.449	-0.006	-0.003
11 B1	5.481	-0.116	-1.101	1.795	-0.011	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	-1.196	1.836	-0.012	-0.006
Елемент: 1 Переріз: 5 Зусилля або РСН						
1 A1	3.378	-0.064	0.056	1.226	-0.005	-0.003
2 A1	4.998	-0.100	-0.212	1.462	-0.007	-0.005
3 A1	4.035	-0.080	-0.072	1.335	-0.006	-0.004
4 A1	3.378	-0.064	0.056	1.226	-0.005	-0.003
5 B1	3.316	-0.063	0.099	1.203	-0.004	-0.003
6 B1	3.440	-0.064	0.014	1.249	-0.005	-0.003
7 A1	3.410	-0.069	-0.019	1.275	-0.005	-0.003
8 A1	3.378	-0.064	0.056	1.226	-0.005	-0.003

9 A1	3.378	-0.064	0.056	1.226	-0.005	-0.003
10 A1	3.378	-0.064	0.056	1.226	-0.005	-0.003
11 B1	5.481	-0.116	-0.343	1.572	-0.008	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	-0.420	1.613	-0.009	-0.006
Елемент: 1 Переріз: 6 Зусилля або РСН						
1 A1	3.378	-0.064	0.558	1.003	-0.003	-0.003
2 A1	4.998	-0.100	0.396	1.239	-0.005	-0.005
3 A1	4.035	-0.080	0.478	1.112	-0.004	-0.004
4 A1	3.378	-0.064	0.558	1.003	-0.003	-0.003
5 B1	3.316	-0.063	0.590	0.980	-0.003	-0.003
6 B1	3.440	-0.064	0.525	1.026	-0.004	-0.003
7 A1	3.410	-0.069	0.505	1.053	-0.003	-0.003
8 A1	3.378	-0.064	0.558	1.003	-0.003	-0.003
9 A1	3.378	-0.064	0.558	1.003	-0.003	-0.003
10 A1	3.378	-0.064	0.558	1.003	-0.003	-0.003
11 B1	5.481	-0.116	0.314	1.349	-0.006	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	0.256	1.391	-0.007	-0.006
Елемент: 1 Переріз: 7 Зусилля або РСН						
1 A1	3.378	-0.064	0.959	0.780	-0.002	-0.003
2 A1	4.998	-0.100	0.904	1.017	-0.003	-0.005
3 A1	4.035	-0.080	0.928	0.889	-0.002	-0.004
4 A1	3.378	-0.064	0.959	0.780	-0.002	-0.003
5 B1	3.316	-0.063	0.981	0.757	-0.001	-0.003
6 B1	3.440	-0.064	0.937	0.803	-0.002	-0.003
7 A1	3.410	-0.069	0.929	0.830	-0.002	-0.003
8 A1	3.378	-0.064	0.959	0.780	-0.002	-0.003
9 A1	3.378	-0.064	0.959	0.780	-0.002	-0.003
10 A1	3.378	-0.064	0.959	0.780	-0.002	-0.003
11 B1	5.481	-0.116	0.871	1.127	-0.003	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	0.831	1.168	-0.004	-0.006
Елемент: 1 Переріз: 8 Зусилля або РСН						
1 A1	3.378	-0.064	1.260	0.558	-0.000	-0.003
2 A1	4.998	-0.100	1.311	0.794	-0.001	-0.005
3 A1	4.035	-0.080	1.278	0.666	-0.001	-0.004
4 A1	3.378	-0.064	1.260	0.558	-0.000	-0.003
5 B1	3.316	-0.063	1.272	0.535		-0.003
6 B1	3.440	-0.064	1.248	0.580	-0.001	-0.003
7 A1	3.410	-0.069	1.252	0.607	-0.000	-0.003
8 A1	3.378	-0.064	1.260	0.558	-0.000	-0.003
9 A1	3.378	-0.064	1.260	0.558	-0.000	-0.003
10 A1	3.378	-0.064	1.260	0.558	-0.000	-0.003
11 B1	5.481	-0.116	1.328	0.904	-0.001	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	1.307	0.945	-0.001	-0.006
Елемент: 1 Переріз: 9 Зусилля або РСН						
1 A1	3.378	-0.064	1.461	0.335	0.001	-0.003
2 A1	4.998	-0.100	1.618	0.571	0.001	-0.005
3 A1	4.035	-0.080	1.528	0.444	0.001	-0.004
4 A1	3.378	-0.064	1.461	0.335	0.001	-0.003
5 B1	3.316	-0.063	1.463	0.312	0.001	-0.003
6 B1	3.440	-0.064	1.459	0.358	0.001	-0.003

7 A1	3.410	-0.069	1.475	0.384	0.001	-0.003
8 A1	3.378	-0.064	1.461	0.335	0.001	-0.003
9 A1	3.378	-0.064	1.461	0.335	0.001	-0.003
10 A1	3.378	-0.064	1.461	0.335	0.001	-0.003
11 B1	5.481	-0.116	1.685	0.681	0.001	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	1.682	0.722	0.001	-0.006
Елемент: 1 Переріз: 10 Зусилля або РСН						
1 A1	3.378	-0.064	1.562	0.112	0.002	-0.003
2 A1	4.998	-0.100	1.825	0.348	0.003	-0.005
3 A1	4.035	-0.080	1.677	0.221	0.003	-0.004
4 A1	3.378	-0.064	1.562	0.112	0.002	-0.003
5 B1	3.316	-0.063	1.553	0.089	0.003	-0.003
6 B1	3.440	-0.064	1.570	0.135	0.002	-0.003
7 A1	3.410	-0.069	1.598	0.162	0.003	-0.003
8 A1	3.378	-0.064	1.562	0.112	0.002	-0.003
9 A1	3.378	-0.064	1.562	0.112	0.002	-0.003
10 A1	3.378	-0.064	1.562	0.112	0.002	-0.003
11 B1	5.481	-0.116	1.941	0.458	0.004	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	1.957	0.500	0.004	-0.006
Елемент: 1 Переріз: 11 Зусилля або РСН						
1 A1	3.378	-0.064	1.562	-0.111	0.004	-0.003
2 A1	4.998	-0.100	1.932	0.126	0.006	-0.005
3 A1	4.035	-0.080	1.727	-0.002	0.005	-0.004
4 A1	3.378	-0.064	1.562	-0.111	0.004	-0.003
5 B1	3.316	-0.063	1.543	-0.134	0.004	-0.003
6 B1	3.440	-0.064	1.581	-0.088	0.004	-0.003
7 A1	3.410	-0.069	1.620	-0.061	0.004	-0.003
8 A1	3.378	-0.064	1.562	-0.111	0.004	-0.003
9 A1	3.378	-0.064	1.562	-0.111	0.004	-0.003
10 A1	3.378	-0.064	1.562	-0.111	0.004	-0.003
11 B1	5.481	-0.116	2.097	0.236	0.006	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	2.131	0.277	0.006	-0.006
Елемент: 1 Переріз: 12 Зусилля або РСН						
1 A1	3.378	-0.064	1.462	-0.333	0.005	-0.003
2 A1	4.998	-0.100	1.938	-0.097	0.008	-0.005
3 A1	4.035	-0.080	1.676	-0.225	0.006	-0.004
4 A1	3.378	-0.064	1.462	-0.333	0.005	-0.003
5 B1	3.316	-0.063	1.433	-0.356	0.005	-0.003
6 B1	3.440	-0.064	1.491	-0.311	0.005	-0.003
7 A1	3.410	-0.069	1.543	-0.284	0.006	-0.003
8 A1	3.378	-0.064	1.462	-0.333	0.005	-0.003
9 A1	3.378	-0.064	1.462	-0.333	0.005	-0.003
10 A1	3.378	-0.064	1.462	-0.333	0.005	-0.003
11 B1	5.481	-0.116	2.153	0.013	0.009	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	2.206	0.054	0.009	-0.006
Елемент: 1 Переріз: 13 Зусилля або РСН						
1 A1	3.378	-0.064	1.262	-0.556	0.007	-0.003
2 A1	4.998	-0.100	1.844	-0.320	0.010	-0.005
3 A1	4.035	-0.080	1.524	-0.447	0.008	-0.004
4 A1	3.378	-0.064	1.262	-0.556	0.007	-0.003

5 B1	3.316	-0.063	1.222	-0.579	0.007	-0.003
6 B1	3.440	-0.064	1.301	-0.533	0.007	-0.003
7 A1	3.410	-0.069	1.365	-0.507	0.007	-0.003
8 A1	3.378	-0.064	1.262	-0.556	0.007	-0.003
9 A1	3.378	-0.064	1.262	-0.556	0.007	-0.003
10 A1	3.378	-0.064	1.262	-0.556	0.007	-0.003
11 B1	5.481	-0.116	2.109	-0.210	0.011	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	2.180	-0.169	0.011	-0.006
Елемент: 1 Переріз: 14 Зусилля або РСН						
1 A1	3.378	-0.064	0.961	-0.779	0.008	-0.003
2 A1	4.998	-0.100	1.650	-0.543	0.012	-0.005
3 A1	4.035	-0.080	1.273	-0.670	0.010	-0.004
4 A1	3.378	-0.064	0.961	-0.779	0.008	-0.003
5 B1	3.316	-0.063	0.912	-0.802	0.008	-0.003
6 B1	3.440	-0.064	1.011	-0.756	0.008	-0.003
7 A1	3.410	-0.069	1.087	-0.729	0.009	-0.003
8 A1	3.378	-0.064	0.961	-0.779	0.008	-0.003
9 A1	3.378	-0.064	0.961	-0.779	0.008	-0.003
10 A1	3.378	-0.064	0.961	-0.779	0.008	-0.003
11 B1	5.481	-0.116	1.964	-0.433	0.014	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	2.054	-0.391	0.014	-0.006
Елемент: 1 Переріз: 15 Зусилля або РСН						
1 A1	3.378	-0.064	0.561	-1.002	0.009	-0.003
2 A1	4.998	-0.100	1.356	-0.765	0.014	-0.005
3 A1	4.035	-0.080	0.921	-0.893	0.012	-0.004
4 A1	3.378	-0.064	0.561	-1.002	0.009	-0.003
5 B1	3.316	-0.063	0.501	-1.025	0.009	-0.003
6 B1	3.440	-0.064	0.621	-0.979	0.010	-0.003
7 A1	3.410	-0.069	0.708	-0.952	0.010	-0.003
8 A1	3.378	-0.064	0.561	-1.002	0.009	-0.003
9 A1	3.378	-0.064	0.561	-1.002	0.009	-0.003
10 A1	3.378	-0.064	0.561	-1.002	0.009	-0.003
11 B1	5.481	-0.116	1.719	-0.655	0.016	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	1.828	-0.614	0.017	-0.006
Елемент: 1 Переріз: 16 Зусилля або РСН						
1 A1	3.378	-0.064	0.060	-1.224	0.011	-0.003
2 A1	4.998	-0.100	0.961	-0.988	0.016	-0.005
3 A1	4.035	-0.080	0.469	-1.116	0.013	-0.004
4 A1	3.378	-0.064	0.060	-1.224	0.011	-0.003
5 B1	3.316	-0.063	-0.011	-1.247	0.010	-0.003
6 B1	3.440	-0.064	0.130	-1.202	0.011	-0.003
7 A1	3.410	-0.069	0.230	-1.175	0.012	-0.003
8 A1	3.378	-0.064	0.060	-1.224	0.011	-0.003
9 A1	3.378	-0.064	0.060	-1.224	0.011	-0.003
10 A1	3.378	-0.064	0.060	-1.224	0.011	-0.003
11 B1	5.481	-0.116	1.374	-0.878	0.018	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	1.501	-0.837	0.019	-0.006
Елемент: 1 Переріз: 17 Зусилля або РСН						
1 A1	3.378	-0.064	-0.541	-1.447	0.012	-0.003
2 A1	4.998	-0.100	0.467	-1.211	0.018	-0.005

3 A1	4.035	-0.080	-0.083	-1.338	0.015	-0.004
4 A1	3.378	-0.064	-0.541	-1.447	0.012	-0.003
5 B1	3.316	-0.063	-0.622	-1.470	0.012	-0.003
6 B1	3.440	-0.064	-0.460	-1.424	0.013	-0.003
7 A1	3.410	-0.069	-0.349	-1.398	0.013	-0.003
8 A1	3.378	-0.064	-0.541	-1.447	0.012	-0.003
9 A1	3.378	-0.064	-0.541	-1.447	0.012	-0.003
10 A1	3.378	-0.064	-0.541	-1.447	0.012	-0.003
11 B1	5.481	-0.116	0.929	-1.101	0.021	-0.005
12 B1	5.593	-0.118	1.074	-1.060	0.022	-0.006

Нормативні значення							
Comb	Seis	N	Mx	My	Qz	Mz	Qy
N, Qy, Qz - т; Mx, My, Mz - т*м							
Елемент: 1 Переріз: 1 Зусилля або РСН							
1 A2		3.071	-0.058	-2.684	1.924	-0.009	-0.003
2 A2		4.421	-0.088	-3.262	2.121	-0.014	-0.004
3 B2		3.618	-0.071	-2.954	2.015	-0.011	-0.003
4 A2		3.071	-0.058	-2.684	1.924	-0.009	-0.003
5 C2		3.059	-0.058	-2.668	1.920	-0.009	-0.003
6 C2		3.082	-0.058	-2.699	1.929	-0.009	-0.003
7 B2		3.094	-0.062	-2.801	1.960	-0.010	-0.003
8 A2		3.071	-0.058	-2.684	1.924	-0.009	-0.003
9 A2		3.071	-0.058	-2.684	1.924	-0.009	-0.003
10 A2		3.071	-0.058	-2.684	1.924	-0.009	-0.003
11 C2		4.856	-0.102	-3.568	2.221	-0.016	-0.005
12 C2		4.877	-0.102	-3.596	2.229	-0.016	-0.005
Елемент: 1 Переріз: 2 Зусилля або РСН							
1 A2		3.071	-0.058	-1.863	1.722	-0.008	-0.003
2 A2		4.421	-0.088	-2.353	1.919	-0.012	-0.004
3 B2		3.618	-0.071	-2.093	1.813	-0.010	-0.003
4 A2		3.071	-0.058	-1.863	1.722	-0.008	-0.003
5 C2		3.059	-0.058	-1.850	1.718	-0.008	-0.003
6 C2		3.082	-0.058	-1.877	1.726	-0.008	-0.003
7 B2		3.094	-0.062	-1.965	1.757	-0.008	-0.003
8 A2		3.071	-0.058	-1.863	1.722	-0.008	-0.003
9 A2		3.071	-0.058	-1.863	1.722	-0.008	-0.003
10 A2		3.071	-0.058	-1.863	1.722	-0.008	-0.003
11 C2		4.856	-0.102	-2.614	2.019	-0.014	-0.005
12 C2		4.877	-0.102	-2.638	2.026	-0.014	-0.005
Елемент: 1 Переріз: 3 Зусилля або РСН							
1 A2		3.071	-0.058	-1.134	1.519	-0.007	-0.003
2 A2		4.421	-0.088	-1.535	1.716	-0.010	-0.004
3 B2		3.618	-0.071	-1.323	1.610	-0.008	-0.003
4 A2		3.071	-0.058	-1.134	1.519	-0.007	-0.003
5 C2		3.059	-0.058	-1.122	1.515	-0.007	-0.003
6 C2		3.082	-0.058	-1.146	1.524	-0.007	-0.003
7 B2		3.094	-0.062	-1.219	1.555	-0.007	-0.003
8 A2		3.071	-0.058	-1.134	1.519	-0.007	-0.003
9 A2		3.071	-0.058	-1.134	1.519	-0.007	-0.003
10 A2		3.071	-0.058	-1.134	1.519	-0.007	-0.003

11 C2	4.856	-0.102	-1.751	1.816	-0.012	-0.005
12 C2	4.877	-0.102	-1.772	1.824	-0.012	-0.005
Елемент: 1 Переріз: 4 Зусилля або РСН						
1 A2	3.071	-0.058	-0.496	1.317	-0.005	-0.003
2 A2	4.421	-0.088	-0.808	1.514	-0.008	-0.004
3 B2	3.618	-0.071	-0.644	1.408	-0.007	-0.003
4 A2	3.071	-0.058	-0.496	1.317	-0.005	-0.003
5 C2	3.059	-0.058	-0.486	1.313	-0.005	-0.003
6 C2	3.082	-0.058	-0.506	1.321	-0.006	-0.003
7 B2	3.094	-0.062	-0.565	1.352	-0.006	-0.003
8 A2	3.071	-0.058	-0.496	1.317	-0.005	-0.003
9 A2	3.071	-0.058	-0.496	1.317	-0.005	-0.003
10 A2	3.071	-0.058	-0.496	1.317	-0.005	-0.003
11 C2	4.856	-0.102	-0.979	1.614	-0.010	-0.005
12 C2	4.877	-0.102	-0.997	1.621	-0.010	-0.005
Елемент: 1 Переріз: 5 Зусилля або РСН						
1 A2	3.071	-0.058	0.051	1.114	-0.004	-0.003
2 A2	4.421	-0.088	-0.172	1.311	-0.007	-0.004
3 B2	3.618	-0.071	-0.056	1.205	-0.005	-0.003
4 A2	3.071	-0.058	0.051	1.114	-0.004	-0.003
5 C2	3.059	-0.058	0.059	1.110	-0.004	-0.003
6 C2	3.082	-0.058	0.043	1.119	-0.004	-0.003
7 B2	3.094	-0.062	-0.002	1.150	-0.004	-0.003
8 A2	3.071	-0.058	0.051	1.114	-0.004	-0.003
9 A2	3.071	-0.058	0.051	1.114	-0.004	-0.003
10 A2	3.071	-0.058	0.051	1.114	-0.004	-0.003
11 C2	4.856	-0.102	-0.299	1.411	-0.007	-0.005
12 C2	4.877	-0.102	-0.313	1.419	-0.008	-0.005
Елемент: 1 Переріз: 6 Зусилля або РСН						
1 A2	3.071	-0.058	0.507	0.912	-0.003	-0.003
2 A2	4.421	-0.088	0.372	1.109	-0.005	-0.004
3 B2	3.618	-0.071	0.441	1.003	-0.004	-0.003
4 A2	3.071	-0.058	0.507	0.912	-0.003	-0.003
5 C2	3.059	-0.058	0.513	0.908	-0.003	-0.003
6 C2	3.082	-0.058	0.501	0.916	-0.003	-0.003
7 B2	3.094	-0.062	0.469	0.947	-0.003	-0.003
8 A2	3.071	-0.058	0.507	0.912	-0.003	-0.003
9 A2	3.071	-0.058	0.507	0.912	-0.003	-0.003
10 A2	3.071	-0.058	0.507	0.912	-0.003	-0.003
11 C2	4.856	-0.102	0.291	1.209	-0.005	-0.005
12 C2	4.877	-0.102	0.280	1.216	-0.005	-0.005
Елемент: 1 Переріз: 7 Зусилля або РСН						
1 A2	3.071	-0.058	0.872	0.709	-0.002	-0.003
2 A2	4.421	-0.088	0.826	0.906	-0.003	-0.004
3 B2	3.618	-0.071	0.846	0.800	-0.002	-0.003
4 A2	3.071	-0.058	0.872	0.709	-0.002	-0.003
5 C2	3.059	-0.058	0.876	0.705	-0.002	-0.003
6 C2	3.082	-0.058	0.868	0.714	-0.002	-0.003
7 B2	3.094	-0.062	0.850	0.745	-0.002	-0.003
8 A2	3.071	-0.058	0.872	0.709	-0.002	-0.003

9 A2	3.071	-0.058	0.872	0.709	-0.002	-0.003
10 A2	3.071	-0.058	0.872	0.709	-0.002	-0.003
11 C2	4.856	-0.102	0.789	1.006	-0.003	-0.005
12 C2	4.877	-0.102	0.782	1.014	-0.003	-0.005
Елемент: 1 Переріз: 8 Зусилля або РСН						
1 A2	3.071	-0.058	1.146	0.507	-0.000	-0.003
2 A2	4.421	-0.088	1.188	0.704	-0.001	-0.004
3 B2	3.618	-0.071	1.161	0.598	-0.001	-0.003
4 A2	3.071	-0.058	1.146	0.507	-0.000	-0.003
5 C2	3.059	-0.058	1.148	0.503	-0.000	-0.003
6 C2	3.082	-0.058	1.143	0.511	-0.000	-0.003
7 B2	3.094	-0.062	1.140	0.542	-0.000	-0.003
8 A2	3.071	-0.058	1.146	0.507	-0.000	-0.003
9 A2	3.071	-0.058	1.146	0.507	-0.000	-0.003
10 A2	3.071	-0.058	1.146	0.507	-0.000	-0.003
11 C2	4.856	-0.102	1.196	0.804	-0.001	-0.005
12 C2	4.877	-0.102	1.192	0.811	-0.001	-0.005
Елемент: 1 Переріз: 9 Зусилля або РСН						
1 A2	3.071	-0.058	1.328	0.304	0.001	-0.003
2 A2	4.421	-0.088	1.459	0.501	0.001	-0.004
3 B2	3.618	-0.071	1.384	0.395	0.001	-0.003
4 A2	3.071	-0.058	1.328	0.304	0.001	-0.003
5 C2	3.059	-0.058	1.328	0.300	0.001	-0.003
6 C2	3.082	-0.058	1.328	0.309	0.001	-0.003
7 B2	3.094	-0.062	1.338	0.340	0.001	-0.003
8 A2	3.071	-0.058	1.328	0.304	0.001	-0.003
9 A2	3.071	-0.058	1.328	0.304	0.001	-0.003
10 A2	3.071	-0.058	1.328	0.304	0.001	-0.003
11 C2	4.856	-0.102	1.512	0.601	0.001	-0.005
12 C2	4.877	-0.102	1.512	0.609	0.001	-0.005
Елемент: 1 Переріз: 10 Зусилля або РСН						
1 A2	3.071	-0.058	1.420	0.102	0.002	-0.003
2 A2	4.421	-0.088	1.639	0.299	0.003	-0.004
3 B2	3.618	-0.071	1.516	0.193	0.003	-0.003
4 A2	3.071	-0.058	1.420	0.102	0.002	-0.003
5 C2	3.059	-0.058	1.418	0.098	0.002	-0.003
6 C2	3.082	-0.058	1.421	0.106	0.002	-0.003
7 B2	3.094	-0.062	1.445	0.137	0.002	-0.003
8 A2	3.071	-0.058	1.420	0.102	0.002	-0.003
9 A2	3.071	-0.058	1.420	0.102	0.002	-0.003
10 A2	3.071	-0.058	1.420	0.102	0.002	-0.003
11 C2	4.856	-0.102	1.737	0.399	0.003	-0.005
12 C2	4.877	-0.102	1.740	0.406	0.003	-0.005
Елемент: 1 Переріз: 11 Зусилля або РСН						
1 A2	3.071	-0.058	1.420	-0.101	0.004	-0.003
2 A2	4.421	-0.088	1.728	0.096	0.005	-0.004
3 B2	3.618	-0.071	1.557	-0.010	0.004	-0.003
4 A2	3.071	-0.058	1.420	-0.101	0.004	-0.003
5 C2	3.059	-0.058	1.416	-0.105	0.004	-0.003
6 C2	3.082	-0.058	1.423	-0.096	0.004	-0.003

7 B2	3.094	-0.062	1.462	-0.065	0.004	-0.003
8 A2	3.071	-0.058	1.420	-0.101	0.004	-0.003
9 A2	3.071	-0.058	1.420	-0.101	0.004	-0.003
10 A2	3.071	-0.058	1.420	-0.101	0.004	-0.003
11 C2	4.856	-0.102	1.871	0.196	0.006	-0.005
12 C2	4.877	-0.102	1.877	0.204	0.006	-0.005
Елемент: 1 Переріз: 12 Зусилля або РСН						
1 A2	3.071	-0.058	1.329	-0.303	0.005	-0.003
2 A2	4.421	-0.088	1.726	-0.106	0.007	-0.004
3 B2	3.618	-0.071	1.507	-0.212	0.006	-0.003
4 A2	3.071	-0.058	1.329	-0.303	0.005	-0.003
5 C2	3.059	-0.058	1.324	-0.307	0.005	-0.003
6 C2	3.082	-0.058	1.334	-0.299	0.005	-0.003
7 B2	3.094	-0.062	1.387	-0.268	0.005	-0.003
8 A2	3.071	-0.058	1.329	-0.303	0.005	-0.003
9 A2	3.071	-0.058	1.329	-0.303	0.005	-0.003
10 A2	3.071	-0.058	1.329	-0.303	0.005	-0.003
11 C2	4.856	-0.102	1.913	-0.006	0.008	-0.005
12 C2	4.877	-0.102	1.923	0.001	0.008	-0.005
Елемент: 1 Переріз: 13 Зусилля або РСН						
1 A2	3.071	-0.058	1.147	-0.506	0.006	-0.003
2 A2	4.421	-0.088	1.633	-0.309	0.009	-0.004
3 B2	3.618	-0.071	1.366	-0.415	0.007	-0.003
4 A2	3.071	-0.058	1.147	-0.506	0.006	-0.003
5 C2	3.059	-0.058	1.140	-0.510	0.006	-0.003
6 C2	3.082	-0.058	1.154	-0.501	0.006	-0.003
7 B2	3.094	-0.062	1.221	-0.470	0.006	-0.003
8 A2	3.071	-0.058	1.147	-0.506	0.006	-0.003
9 A2	3.071	-0.058	1.147	-0.506	0.006	-0.003
10 A2	3.071	-0.058	1.147	-0.506	0.006	-0.003
11 C2	4.856	-0.102	1.865	-0.209	0.010	-0.005
12 C2	4.877	-0.102	1.878	-0.201	0.010	-0.005
Елемент: 1 Переріз: 14 Зусилля або РСН						
1 A2	3.071	-0.058	0.874	-0.708	0.007	-0.003
2 A2	4.421	-0.088	1.448	-0.511	0.011	-0.004
3 B2	3.618	-0.071	1.134	-0.617	0.009	-0.003
4 A2	3.071	-0.058	0.874	-0.708	0.007	-0.003
5 C2	3.059	-0.058	0.865	-0.712	0.007	-0.003
6 C2	3.082	-0.058	0.883	-0.704	0.007	-0.003
7 B2	3.094	-0.062	0.964	-0.673	0.008	-0.003
8 A2	3.071	-0.058	0.874	-0.708	0.007	-0.003
9 A2	3.071	-0.058	0.874	-0.708	0.007	-0.003
10 A2	3.071	-0.058	0.874	-0.708	0.007	-0.003
11 C2	4.856	-0.102	1.725	-0.411	0.012	-0.005
12 C2	4.877	-0.102	1.742	-0.404	0.012	-0.005
Елемент: 1 Переріз: 15 Зусилля або РСН						
1 A2	3.071	-0.058	0.510	-0.911	0.009	-0.003
2 A2	4.421	-0.088	1.172	-0.714	0.012	-0.004
3 B2	3.618	-0.071	0.810	-0.820	0.010	-0.003
4 A2	3.071	-0.058	0.510	-0.911	0.009	-0.003

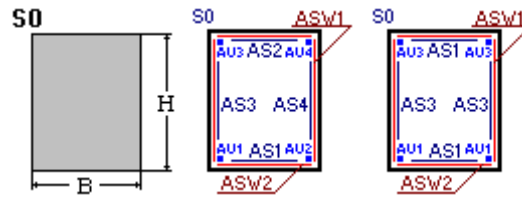
5 C2	3.059	-0.058	0.499	-0.915	0.009	-0.003
6 C2	3.082	-0.058	0.521	-0.906	0.009	-0.003
7 B2	3.094	-0.062	0.615	-0.875	0.009	-0.003
8 A2	3.071	-0.058	0.510	-0.911	0.009	-0.003
9 A2	3.071	-0.058	0.510	-0.911	0.009	-0.003
10 A2	3.071	-0.058	0.510	-0.911	0.009	-0.003
11 C2	4.856	-0.102	1.495	-0.614	0.014	-0.005
12 C2	4.877	-0.102	1.515	-0.606	0.014	-0.005
Елемент: 1 Переріз: 16 Зусилля або РСН						
1 A2	3.071	-0.058	0.055	-1.113	0.010	-0.003
2 A2	4.421	-0.088	0.806	-0.916	0.014	-0.004
3 B2	3.618	-0.071	0.396	-1.022	0.012	-0.003
4 A2	3.071	-0.058	0.055	-1.113	0.010	-0.003
5 C2	3.059	-0.058	0.042	-1.117	0.010	-0.003
6 C2	3.082	-0.058	0.067	-1.109	0.010	-0.003
7 B2	3.094	-0.062	0.176	-1.078	0.010	-0.003
8 A2	3.071	-0.058	0.055	-1.113	0.010	-0.003
9 A2	3.071	-0.058	0.055	-1.113	0.010	-0.003
10 A2	3.071	-0.058	0.055	-1.113	0.010	-0.003
11 C2	4.856	-0.102	1.173	-0.816	0.016	-0.005
12 C2	4.877	-0.102	1.196	-0.809	0.017	-0.005
Елемент: 1 Переріз: 17 Зусилля або РСН						
1 A2	3.071	-0.058	-0.492	-1.316	0.011	-0.003
2 A2	4.421	-0.088	0.348	-1.119	0.016	-0.004
3 B2	3.618	-0.071	-0.110	-1.225	0.013	-0.003
4 A2	3.071	-0.058	-0.492	-1.316	0.011	-0.003
5 C2	3.059	-0.058	-0.507	-1.320	0.011	-0.003
6 C2	3.082	-0.058	-0.477	-1.311	0.011	-0.003
7 B2	3.094	-0.062	-0.355	-1.280	0.012	-0.003
8 A2	3.071	-0.058	-0.492	-1.316	0.011	-0.003
9 A2	3.071	-0.058	-0.492	-1.316	0.011	-0.003
10 A2	3.071	-0.058	-0.492	-1.316	0.011	-0.003
11 C2	4.856	-0.102	0.760	-1.019	0.019	-0.005
12 C2	4.877	-0.102	0.787	-1.011	0.019	-0.005

АРМАТУРА Підбір арматури												
AU1	AU2	AU3	AU4	AS1	AS2	AS3	AS4	%	Asw1	Asw2	Т.нетрив	Т.трив.
Переріз: 1 Несиметричне армування												
0.83	0.83	2.52	2.52	0.04	0.04	0.04	0.04	0.38	0.58	0.58	0.29	0.29
0.02	0.02	1.53	1.53	0.04	0.04	0.04	0.04	0.18				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04		0.56	0.56		
Переріз: 2 Несиметричне армування												
0.83	0.83	2.25	2.25	0.04	0.04	0.04	0.04	0.35	0.58	0.58	0.31	0.29
0.02	0.02	1.26	1.26	0.04	0.04	0.04	0.04	0.15				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04		0.56	0.56		
Переріз: 3 Несиметричне армування												
0.83	0.83	2.07	2.07	0.04	0.04	0.04	0.04	0.33	0.58	0.58	0.33	0.30
0.02	0.02	0.99	0.99	0.04	0.04	0.04	0.04	0.12				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04		0.56	0.56		
Переріз: 4 Несиметричне армування												
0.94	0.94	1.98	1.98	0.04	0.04	0.04	0.04	0.33	0.58	0.58	0.29	0.28
0.22	0.22	0.72	0.72	0.04	0.04	0.04	0.04	0.11				

* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.56	0.56			
Переріз: 5 Несиметричне армування												
1.04	1.04	1.25	1.25	0.04	0.04	0.04	0.04	0.26	0.58	0.58	0.32	0.29
0.32	0.32	0.53	0.53	0.04	0.04	0.04	0.04	0.10				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.56	0.56			
Переріз: 6 Несиметричне армування												
1.43	1.43	1.05	1.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.28	0.58	0.58	0.30	0.28
0.53	0.53	0.33	0.33	0.04	0.04	0.04	0.04	0.10				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.56	0.56			
Переріз: 7 Несиметричне армування												
1.98	1.98	0.92	0.92	0.04	0.04	0.04	0.04	0.33	0.58	0.58	0.30	0.28
0.63	0.63	0.20	0.20	0.04	0.04	0.04	0.04	0.10				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.56	0.56			
Переріз: 8 Несиметричне армування												
2.07	2.07	0.90	0.90	0.04	0.04	0.04	0.04	0.34	0.58	0.58	0.30	0.29
0.81	0.81	0.18	0.18	0.04	0.04	0.04	0.04	0.12				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.56	0.56			
Переріз: 9 Несиметричне армування												
2.16	2.16	0.92	0.92	0.04	0.04	0.04	0.04	0.35	0.58	0.58	0.29	0.28
0.90	0.90	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.11				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.56	0.56			
Переріз: 10 Несиметричне армування												
2.16	2.16	0.92	0.92	0.04	0.04	0.04	0.04	0.35	0.58	0.58	0.28	0.29
0.99	0.99	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.12				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.56	0.56			
Переріз: 11 Несиметричне армування												
2.16	2.16	0.83	0.83	0.04	0.04	0.04	0.04	0.34	0.58	0.58	0.32	0.29
0.99	0.99	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.12				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.56	0.56			
Переріз: 12 Несиметричне армування												
2.16	2.16	0.83	0.83	0.04	0.04	0.04	0.04	0.34	0.58	0.58	0.32	0.29
0.99	0.99	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.12				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.56	0.56			
Переріз: 13 Несиметричне армування												
2.07	2.07	0.83	0.83	0.04	0.04	0.04	0.04	0.33	0.58	0.58	0.33	0.30
0.99	0.99	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.12				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.56	0.56			
Переріз: 14 Несиметричне армування												
2.07	2.07	0.83	0.83	0.04	0.04	0.04	0.04	0.33	0.58	0.58	0.33	0.30
0.99	0.99	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.12				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.56	0.56			
Переріз: 15 Несиметричне армування												
2.06	2.06	0.94	0.94	0.04	0.04	0.04	0.04	0.34	0.58	0.58	0.29	0.29
0.89	0.89	0.22	0.22	0.04	0.04	0.04	0.04	0.13				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.56	0.56			
Переріз: 16 Несиметричне армування												
1.43	1.43	1.07	1.07	0.04	0.04	0.04	0.04	0.29	0.58	0.58	0.29	0.29
0.80	0.80	0.53	0.53	0.04	0.04	0.04	0.04	0.16				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.56	0.56			
Переріз: 17 Несиметричне армування												
1.28	1.28	1.07	1.07	0.04	0.04	0.04	0.04	0.27	0.58	0.58	0.31	0.30
0.74	0.74	0.44	0.44	0.04	0.04	0.04	0.04	0.14				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.56	0.56			

## Елемент 2

Елемент N = 2  
Елемент в ЛІРА-САПР N = 378



Довжина 8 ( м )

$L_y = 8$  ,  $L_z = 8$  ( м )

Переріз - Прямокутник

$B(D) = 30.0$  ,  $H(D1) = 60.0$  ,  $B1 = 0.0$  ,  $H1 = 0.0$  ,  $B2 = 0.0$  ,  $H2 = 0.0$  ( см )

Відстань до центру ваги арматури: знизу = 5 зверху = 5 збоку = 5. ( см )

Вид елемента: Балка

Індекси матеріалів: загальні 5, бетон 2, арматура 2

Конструктивні вимоги НЕ враховувалися

Клас бетону - C16/20

Клас поздовжньої арматури X - A400C

Клас поперечної арматури - A240C

Максимальний діаметр 28.00 мм

### ЗУСИЛЛЯ, СПОЛУЧЕННЯ (РСН (розрахункові сполучення навантажень))

Comb	Seis	N	Mx	My	Qz	Mz	Qy
N, Qy, Qz - т; Mx, My, Mz - т*м							
Елемент: 2 Переріз: 1 Зусилля або РСН							
1	A1	3.880	0.049	-0.389	1.419	0.015	0.004
2	A1	5.572	0.085	0.680	1.168	0.020	0.006
3	A1	4.566	0.065	0.097	1.304	0.017	0.005
4	A1	3.880	0.049	-0.389	1.419	0.015	0.004
5	B1	3.827	0.050	-0.302	1.395	0.015	0.004
6	B1	3.933	0.049	-0.475	1.444	0.014	0.004
7	A1	3.913	0.055	-0.187	1.367	0.015	0.004
8	A1	3.880	0.049	-0.389	1.419	0.015	0.004
9	A1	3.880	0.049	-0.389	1.419	0.015	0.004
10	A1	3.880	0.049	-0.389	1.419	0.015	0.004
11	B1	6.087	0.102	1.324	1.007	0.023	0.006
12	B1	6.182	0.101	1.168	1.051	0.022	0.006
Елемент: 2 Переріз: 2 Зусилля або РСН							
1	A1	3.880	0.049	0.200	1.197	0.013	0.004
2	A1	5.572	0.085	1.156	0.945	0.017	0.006
3	A1	4.566	0.065	0.633	1.081	0.015	0.005
4	A1	3.880	0.049	0.200	1.197	0.013	0.004
5	B1	3.827	0.050	0.275	1.172	0.013	0.004
6	B1	3.933	0.049	0.124	1.221	0.012	0.004
7	A1	3.913	0.055	0.378	1.144	0.013	0.004
8	A1	3.880	0.049	0.200	1.197	0.013	0.004
9	A1	3.880	0.049	0.200	1.197	0.013	0.004
10	A1	3.880	0.049	0.200	1.197	0.013	0.004
11	B1	6.087	0.102	1.727	0.785	0.020	0.006
12	B1	6.182	0.101	1.591	0.829	0.019	0.006
Елемент: 2 Переріз: 3 Зусилля або РСН							
1	A1	3.880	0.049	0.688	0.974	0.011	0.004
2	A1	5.572	0.085	1.531	0.722	0.015	0.006
3	A1	4.566	0.065	1.070	0.858	0.013	0.005
4	A1	3.880	0.049	0.688	0.974	0.011	0.004
5	B1	3.827	0.050	0.753	0.949	0.011	0.004

6 B1	3.933	0.049	0.623	0.998	0.011	0.004
7 A1	3.913	0.055	0.843	0.922	0.011	0.004
8 A1	3.880	0.049	0.688	0.974	0.011	0.004
9 A1	3.880	0.049	0.688	0.974	0.011	0.004
10 A1	3.880	0.049	0.688	0.974	0.011	0.004
11 B1	6.087	0.102	2.030	0.562	0.017	0.006
12 B1	6.182	0.101	1.914	0.606	0.017	0.006
Елемент: 2 Переріз: 4 Зусилля або РСН						
1 A1	3.880	0.049	1.076	0.751	0.009	0.004
2 A1	5.572	0.085	1.806	0.500	0.012	0.006
3 A1	4.566	0.065	1.406	0.636	0.011	0.005
4 A1	3.880	0.049	1.076	0.751	0.009	0.004
5 B1	3.827	0.050	1.130	0.727	0.009	0.004
6 B1	3.933	0.049	1.023	0.776	0.009	0.004
7 A1	3.913	0.055	1.208	0.699	0.009	0.004
8 A1	3.880	0.049	1.076	0.751	0.009	0.004
9 A1	3.880	0.049	1.076	0.751	0.009	0.004
10 A1	3.880	0.049	1.076	0.751	0.009	0.004
11 B1	6.087	0.102	2.233	0.339	0.014	0.006
12 B1	6.182	0.101	2.136	0.383	0.014	0.006
Елемент: 2 Переріз: 5 Зусилля або РСН						
1 A1	3.880	0.049	1.364	0.528	0.007	0.004
2 A1	5.572	0.085	1.981	0.277	0.010	0.006
3 A1	4.566	0.065	1.642	0.413	0.008	0.005
4 A1	3.880	0.049	1.364	0.528	0.007	0.004
5 B1	3.827	0.050	1.407	0.504	0.007	0.004
6 B1	3.933	0.049	1.321	0.553	0.007	0.004
7 A1	3.913	0.055	1.472	0.476	0.008	0.004
8 A1	3.880	0.049	1.364	0.528	0.007	0.004
9 A1	3.880	0.049	1.364	0.528	0.007	0.004
10 A1	3.880	0.049	1.364	0.528	0.007	0.004
11 B1	6.087	0.102	2.335	0.116	0.011	0.006
12 B1	6.182	0.101	2.259	0.160	0.011	0.006
Елемент: 2 Переріз: 6 Зусилля або РСН						
1 A1	3.880	0.049	1.552	0.306	0.005	0.004
2 A1	5.572	0.085	2.055	0.054	0.007	0.006
3 A1	4.566	0.065	1.777	0.190	0.006	0.005
4 A1	3.880	0.049	1.552	0.306	0.005	0.004
5 B1	3.827	0.050	1.583	0.281	0.005	0.004
6 B1	3.933	0.049	1.520	0.330	0.005	0.004
7 A1	3.913	0.055	1.636	0.253	0.006	0.004
8 A1	3.880	0.049	1.552	0.306	0.005	0.004
9 A1	3.880	0.049	1.552	0.306	0.005	0.004
10 A1	3.880	0.049	1.552	0.306	0.005	0.004
11 B1	6.087	0.102	2.338	-0.106	0.009	0.006
12 B1	6.182	0.101	2.281	-0.062	0.008	0.006
Елемент: 2 Переріз: 7 Зусилля або РСН						
1 A1	3.880	0.049	1.639	0.083	0.003	0.004
2 A1	5.572	0.085	2.029	-0.169	0.005	0.006
3 A1	4.566	0.065	1.813	-0.033	0.004	0.005

4 A1	3.880	0.049	1.639	0.083	0.003	0.004
5 B1	3.827	0.050	1.660	0.058	0.003	0.004
6 B1	3.933	0.049	1.618	0.107	0.003	0.004
7 A1	3.913	0.055	1.700	0.031	0.004	0.004
8 A1	3.880	0.049	1.639	0.083	0.003	0.004
9 A1	3.880	0.049	1.639	0.083	0.003	0.004
10 A1	3.880	0.049	1.639	0.083	0.003	0.004
11 B1	6.087	0.102	2.240	-0.329	0.006	0.006
12 B1	6.182	0.101	2.203	-0.285	0.006	0.006
Елемент: 2 Переріз: 8 Зусилля або РСН						
1 A1	3.880	0.049	1.626	-0.140	0.002	0.004
2 A1	5.572	0.085	1.903	-0.391	0.002	0.006
3 A1	4.566	0.065	1.748	-0.255	0.002	0.005
4 A1	3.880	0.049	1.626	-0.140	0.002	0.004
5 B1	3.827	0.050	1.636	-0.164	0.001	0.004
6 B1	3.933	0.049	1.617	-0.115	0.002	0.004
7 A1	3.913	0.055	1.664	-0.192	0.002	0.004
8 A1	3.880	0.049	1.626	-0.140	0.002	0.004
9 A1	3.880	0.049	1.626	-0.140	0.002	0.004
10 A1	3.880	0.049	1.626	-0.140	0.002	0.004
11 B1	6.087	0.102	2.042	-0.552	0.003	0.006
12 B1	6.182	0.101	2.024	-0.508	0.003	0.006
Елемент: 2 Переріз: 9 Зусилля або РСН						
1 A1	3.880	0.049	1.513	-0.363	-0.000	0.004
2 A1	5.572	0.085	1.677	-0.614		0.006
3 A1	4.566	0.065	1.583	-0.478	-0.000	0.005
4 A1	3.880	0.049	1.513	-0.363	-0.000	0.004
5 B1	3.827	0.050	1.512	-0.387	-0.001	0.004
6 B1	3.933	0.049	1.514	-0.338	-0.000	0.004
7 A1	3.913	0.055	1.527	-0.415	-0.000	0.004
8 A1	3.880	0.049	1.513	-0.363	-0.000	0.004
9 A1	3.880	0.049	1.513	-0.363	-0.000	0.004
10 A1	3.880	0.049	1.513	-0.363	-0.000	0.004
11 B1	6.087	0.102	1.743	-0.775		0.006
12 B1	6.182	0.101	1.746	-0.731	0.000	0.006
Елемент: 2 Переріз: 10 Зусилля або РСН						
1 A1	3.880	0.049	1.300	-0.585	-0.002	0.004
2 A1	5.572	0.085	1.351	-0.837	-0.003	0.006
3 A1	4.566	0.065	1.318	-0.701	-0.002	0.005
4 A1	3.880	0.049	1.300	-0.585	-0.002	0.004
5 B1	3.827	0.050	1.287	-0.610	-0.003	0.004
6 B1	3.933	0.049	1.312	-0.561	-0.002	0.004
7 A1	3.913	0.055	1.290	-0.638	-0.002	0.004
8 A1	3.880	0.049	1.300	-0.585	-0.002	0.004
9 A1	3.880	0.049	1.300	-0.585	-0.002	0.004
10 A1	3.880	0.049	1.300	-0.585	-0.002	0.004
11 B1	6.087	0.102	1.345	-0.997	-0.003	0.006
12 B1	6.182	0.101	1.367	-0.953	-0.002	0.006
Елемент: 2 Переріз: 11 Зусилля або РСН						
1 A1	3.880	0.049	0.986	-0.808	-0.004	0.004

2 A1	5.572	0.085	0.924	-1.060	-0.005	0.006
3 A1	4.566	0.065	0.952	-0.924	-0.004	0.005
4 A1	3.880	0.049	0.986	-0.808	-0.004	0.004
5 B1	3.827	0.050	0.963	-0.833	-0.004	0.004
6 B1	3.933	0.049	1.010	-0.784	-0.004	0.004
7 A1	3.913	0.055	0.953	-0.860	-0.004	0.004
8 A1	3.880	0.049	0.986	-0.808	-0.004	0.004
9 A1	3.880	0.049	0.986	-0.808	-0.004	0.004
10 A1	3.880	0.049	0.986	-0.808	-0.004	0.004
11 B1	6.087	0.102	0.846	-1.220	-0.006	0.006
12 B1	6.182	0.101	0.888	-1.176	-0.005	0.006
Елемент: 2 Переріз: 12 Зусилля або РСН						
1 A1	3.880	0.049	0.572	-1.031	-0.006	0.004
2 A1	5.572	0.085	0.397	-1.282	-0.008	0.006
3 A1	4.566	0.065	0.486	-1.146	-0.007	0.005
4 A1	3.880	0.049	0.572	-1.031	-0.006	0.004
5 B1	3.827	0.050	0.538	-1.055	-0.006	0.004
6 B1	3.933	0.049	0.607	-1.006	-0.006	0.004
7 A1	3.913	0.055	0.516	-1.083	-0.006	0.004
8 A1	3.880	0.049	0.572	-1.031	-0.006	0.004
9 A1	3.880	0.049	0.572	-1.031	-0.006	0.004
10 A1	3.880	0.049	0.572	-1.031	-0.006	0.004
11 B1	6.087	0.102	0.246	-1.443	-0.009	0.006
12 B1	6.182	0.101	0.308	-1.399	-0.008	0.006
Елемент: 2 Переріз: 13 Зусилля або РСН						
1 A1	3.880	0.049	0.058	-1.254	-0.008	0.004
2 A1	5.572	0.085	-0.230	-1.505	-0.010	0.006
3 A1	4.566	0.065	-0.080	-1.369	-0.009	0.005
4 A1	3.880	0.049	0.058	-1.254	-0.008	0.004
5 B1	3.827	0.050	0.013	-1.278	-0.008	0.004
6 B1	3.933	0.049	0.104	-1.229	-0.007	0.004
7 A1	3.913	0.055	-0.022	-1.306	-0.008	0.004
8 A1	3.880	0.049	0.058	-1.254	-0.008	0.004
9 A1	3.880	0.049	0.058	-1.254	-0.008	0.004
10 A1	3.880	0.049	0.058	-1.254	-0.008	0.004
11 B1	6.087	0.102	-0.453	-1.666	-0.011	0.006
12 B1	6.182	0.101	-0.371	-1.622	-0.011	0.006
Елемент: 2 Переріз: 14 Зусилля або РСН						
1 A1	3.880	0.049	-0.556	-1.476	-0.010	0.004
2 A1	5.572	0.085	-0.957	-1.728	-0.012	0.006
3 A1	4.566	0.065	-0.746	-1.592	-0.011	0.005
4 A1	3.880	0.049	-0.556	-1.476	-0.010	0.004
5 B1	3.827	0.050	-0.612	-1.501	-0.010	0.004
6 B1	3.933	0.049	-0.500	-1.452	-0.009	0.004
7 A1	3.913	0.055	-0.660	-1.529	-0.010	0.004
8 A1	3.880	0.049	-0.556	-1.476	-0.010	0.004
9 A1	3.880	0.049	-0.556	-1.476	-0.010	0.004
10 A1	3.880	0.049	-0.556	-1.476	-0.010	0.004
11 B1	6.087	0.102	-1.253	-1.888	-0.014	0.006
12 B1	6.182	0.101	-1.151	-1.844	-0.013	0.006

Елемент: 2 Переріз: 15 Зусилля або РСН							
1 A1	3.880	0.049	-1.270	-1.699	-0.012	0.004	
2 A1	5.572	0.085	-1.785	-1.951	-0.015	0.006	
3 A1	4.566	0.065	-1.513	-1.815	-0.013	0.005	
4 A1	3.880	0.049	-1.270	-1.699	-0.012	0.004	
5 B1	3.827	0.050	-1.338	-1.724	-0.012	0.004	
6 B1	3.933	0.049	-1.203	-1.675	-0.011	0.004	
7 A1	3.913	0.055	-1.398	-1.751	-0.012	0.004	
8 A1	3.880	0.049	-1.270	-1.699	-0.012	0.004	
9 A1	3.880	0.049	-1.270	-1.699	-0.012	0.004	
10 A1	3.880	0.049	-1.270	-1.699	-0.012	0.004	
11 B1	6.087	0.102	-2.152	-2.111	-0.017	0.006	
12 B1	6.182	0.101	-2.031	-2.067	-0.016	0.006	
Елемент: 2 Переріз: 16 Зусилля або РСН							
1 A1	3.880	0.049	-2.085	-1.922	-0.013	0.004	
2 A1	5.572	0.085	-2.713	-2.173	-0.017	0.006	
3 A1	4.566	0.065	-2.379	-2.037	-0.015	0.005	
4 A1	3.880	0.049	-2.085	-1.922	-0.013	0.004	
5 B1	3.827	0.050	-2.164	-1.946	-0.014	0.004	
6 B1	3.933	0.049	-2.007	-1.897	-0.013	0.004	
7 A1	3.913	0.055	-2.236	-1.974	-0.014	0.004	
8 A1	3.880	0.049	-2.085	-1.922	-0.013	0.004	
9 A1	3.880	0.049	-2.085	-1.922	-0.013	0.004	
10 A1	3.880	0.049	-2.085	-1.922	-0.013	0.004	
11 B1	6.087	0.102	-3.152	-2.334	-0.020	0.006	
12 B1	6.182	0.101	-3.011	-2.290	-0.019	0.006	
Елемент: 2 Переріз: 17 Зусилля або РСН							
1 A1	3.880	0.049	-3.000	-2.145	-0.015	0.004	
2 A1	5.572	0.085	-3.741	-2.396	-0.020	0.006	
3 A1	4.566	0.065	-3.346	-2.260	-0.017	0.005	
4 A1	3.880	0.049	-3.000	-2.145	-0.015	0.004	
5 B1	3.827	0.050	-3.089	-2.169	-0.016	0.004	
6 B1	3.933	0.049	-2.911	-2.120	-0.015	0.004	
7 A1	3.913	0.055	-3.175	-2.197	-0.016	0.004	
8 A1	3.880	0.049	-3.000	-2.145	-0.015	0.004	
9 A1	3.880	0.049	-3.000	-2.145	-0.015	0.004	
10 A1	3.880	0.049	-3.000	-2.145	-0.015	0.004	
11 B1	6.087	0.102	-4.253	-2.557	-0.023	0.006	
12 B1	6.182	0.101	-4.092	-2.513	-0.021	0.006	

Нормативні значення							
Comb	Seis	N	Mx	My	Qz	Mz	Qy
N, Qy, Qz - т; Mx, My, Mz - т*м							
Елемент: 2 Переріз: 1 Зусилля або РСН							
1 A2		3.527	0.045	-0.354	1.290	0.013	0.004
2 A2		4.937	0.074	0.537	1.081	0.018	0.005
3 B2		4.099	0.058	0.051	1.194	0.015	0.004
4 A2		3.527	0.045	-0.354	1.290	0.013	0.004
5 C2		3.517	0.045	-0.338	1.286	0.013	0.004
6 C2		3.537	0.045	-0.369	1.295	0.013	0.004
7 B2		3.550	0.049	-0.209	1.253	0.014	0.004

8 A2	3.527	0.045	-0.354	1.290	0.013	0.004
9 A2	3.527	0.045	-0.354	1.290	0.013	0.004
10 A2	3.527	0.045	-0.354	1.290	0.013	0.004
11 C2	5.394	0.088	1.002	0.967	0.020	0.005
12 C2	5.411	0.088	0.973	0.975	0.020	0.005
Елемент: 2 Переріз: 2 Зусилля або РСН						
1 A2	3.527	0.045	0.182	1.088	0.012	0.004
2 A2	4.937	0.074	0.978	0.878	0.016	0.005
3 B2	4.099	0.058	0.543	0.992	0.013	0.004
4 A2	3.527	0.045	0.182	1.088	0.012	0.004
5 C2	3.517	0.045	0.195	1.083	0.012	0.004
6 C2	3.537	0.045	0.168	1.092	0.012	0.004
7 B2	3.550	0.049	0.309	1.050	0.012	0.004
8 A2	3.527	0.045	0.182	1.088	0.012	0.004
9 A2	3.527	0.045	0.182	1.088	0.012	0.004
10 A2	3.527	0.045	0.182	1.088	0.012	0.004
11 C2	5.394	0.088	1.391	0.764	0.017	0.005
12 C2	5.411	0.088	1.366	0.773	0.017	0.005
Елемент: 2 Переріз: 3 Зусилля або РСН						
1 A2	3.527	0.045	0.625	0.885	0.010	0.004
2 A2	4.937	0.074	1.328	0.676	0.013	0.005
3 B2	4.099	0.058	0.944	0.789	0.011	0.004
4 A2	3.527	0.045	0.625	0.885	0.010	0.004
5 C2	3.517	0.045	0.637	0.881	0.010	0.004
6 C2	3.537	0.045	0.614	0.890	0.010	0.004
7 B2	3.550	0.049	0.736	0.848	0.010	0.004
8 A2	3.527	0.045	0.625	0.885	0.010	0.004
9 A2	3.527	0.045	0.625	0.885	0.010	0.004
10 A2	3.527	0.045	0.625	0.885	0.010	0.004
11 C2	5.394	0.088	1.690	0.562	0.015	0.005
12 C2	5.411	0.088	1.668	0.570	0.015	0.005
Елемент: 2 Переріз: 4 Зусилля або РСН						
1 A2	3.527	0.045	0.978	0.683	0.008	0.004
2 A2	4.937	0.074	1.586	0.473	0.011	0.005
3 B2	4.099	0.058	1.253	0.587	0.009	0.004
4 A2	3.527	0.045	0.978	0.683	0.008	0.004
5 C2	3.517	0.045	0.988	0.678	0.008	0.004
6 C2	3.537	0.045	0.968	0.687	0.008	0.004
7 B2	3.550	0.049	1.072	0.645	0.009	0.004
8 A2	3.527	0.045	0.978	0.683	0.008	0.004
9 A2	3.527	0.045	0.978	0.683	0.008	0.004
10 A2	3.527	0.045	0.978	0.683	0.008	0.004
11 C2	5.394	0.088	1.897	0.359	0.012	0.005
12 C2	5.411	0.088	1.879	0.368	0.012	0.005
Елемент: 2 Переріз: 5 Зусилля або РСН						
1 A2	3.527	0.045	1.240	0.480	0.006	0.004
2 A2	4.937	0.074	1.754	0.271	0.009	0.005
3 B2	4.099	0.058	1.472	0.384	0.008	0.004
4 A2	3.527	0.045	1.240	0.480	0.006	0.004
5 C2	3.517	0.045	1.248	0.476	0.006	0.004

6 C2	3.537	0.045	1.232	0.485	0.006	0.004
7 B2	3.550	0.049	1.317	0.443	0.007	0.004
8 A2	3.527	0.045	1.240	0.480	0.006	0.004
9 A2	3.527	0.045	1.240	0.480	0.006	0.004
10 A2	3.527	0.045	1.240	0.480	0.006	0.004
11 C2	5.394	0.088	2.013	0.157	0.010	0.005
12 C2	5.411	0.088	1.999	0.165	0.010	0.005
Елемент: 2 Переріз: 6 Зусилля або РСН						
1 A2	3.527	0.045	1.411	0.278	0.005	0.004
2 A2	4.937	0.074	1.830	0.068	0.007	0.005
3 B2	4.099	0.058	1.599	0.182	0.006	0.004
4 A2	3.527	0.045	1.411	0.278	0.005	0.004
5 C2	3.517	0.045	1.416	0.273	0.005	0.004
6 C2	3.537	0.045	1.405	0.282	0.005	0.004
7 B2	3.550	0.049	1.471	0.240	0.005	0.004
8 A2	3.527	0.045	1.411	0.278	0.005	0.004
9 A2	3.527	0.045	1.411	0.278	0.005	0.004
10 A2	3.527	0.045	1.411	0.278	0.005	0.004
11 C2	5.394	0.088	2.038	-0.046	0.007	0.005
12 C2	5.411	0.088	2.028	-0.037	0.007	0.005
Елемент: 2 Переріз: 7 Зусилля або РСН						
1 A2	3.527	0.045	1.490	0.075	0.003	0.004
2 A2	4.937	0.074	1.815	-0.134	0.004	0.005
3 B2	4.099	0.058	1.635	-0.021	0.004	0.004
4 A2	3.527	0.045	1.490	0.075	0.003	0.004
5 C2	3.517	0.045	1.494	0.071	0.003	0.004
6 C2	3.537	0.045	1.486	0.080	0.003	0.004
7 B2	3.550	0.049	1.534	0.038	0.003	0.004
8 A2	3.527	0.045	1.490	0.075	0.003	0.004
9 A2	3.527	0.045	1.490	0.075	0.003	0.004
10 A2	3.527	0.045	1.490	0.075	0.003	0.004
11 C2	5.394	0.088	1.972	-0.248	0.005	0.005
12 C2	5.411	0.088	1.965	-0.240	0.005	0.005
Елемент: 2 Переріз: 8 Зусилля або РСН						
1 A2	3.527	0.045	1.478	-0.127	0.001	0.004
2 A2	4.937	0.074	1.709	-0.337	0.002	0.005
3 B2	4.099	0.058	1.580	-0.223	0.002	0.004
4 A2	3.527	0.045	1.478	-0.127	0.001	0.004
5 C2	3.517	0.045	1.480	-0.132	0.001	0.004
6 C2	3.537	0.045	1.477	-0.123	0.001	0.004
7 B2	3.550	0.049	1.505	-0.165	0.001	0.004
8 A2	3.527	0.045	1.478	-0.127	0.001	0.004
9 A2	3.527	0.045	1.478	-0.127	0.001	0.004
10 A2	3.527	0.045	1.478	-0.127	0.001	0.004
11 C2	5.394	0.088	1.815	-0.451	0.003	0.005
12 C2	5.411	0.088	1.812	-0.442	0.003	0.005
Елемент: 2 Переріз: 9 Зусилля або РСН						
1 A2	3.527	0.045	1.376	-0.330	-0.000	0.004
2 A2	4.937	0.074	1.512	-0.539		0.005
3 B2	4.099	0.058	1.434	-0.426	-0.000	0.004

4 A2	3.527	0.045	1.376	-0.330	-0.000	0.004
5 C2	3.517	0.045	1.375	-0.334	-0.000	0.004
6 C2	3.537	0.045	1.376	-0.325	-0.000	0.004
7 B2	3.550	0.049	1.385	-0.367	-0.000	0.004
8 A2	3.527	0.045	1.376	-0.330	-0.000	0.004
9 A2	3.527	0.045	1.376	-0.330	-0.000	0.004
10 A2	3.527	0.045	1.376	-0.330	-0.000	0.004
11 C2	5.394	0.088	1.567	-0.653		0.005
12 C2	5.411	0.088	1.567	-0.645	0.000	0.005
Елемент: 2 Переріз: 10 Зусилля або РСН						
1 A2	3.527	0.045	1.182	-0.532	-0.002	0.004
2 A2	4.937	0.074	1.224	-0.742	-0.002	0.005
3 B2	4.099	0.058	1.196	-0.628	-0.002	0.004
4 A2	3.527	0.045	1.182	-0.532	-0.002	0.004
5 C2	3.517	0.045	1.179	-0.537	-0.002	0.004
6 C2	3.537	0.045	1.184	-0.528	-0.002	0.004
7 B2	3.550	0.049	1.175	-0.570	-0.002	0.004
8 A2	3.527	0.045	1.182	-0.532	-0.002	0.004
9 A2	3.527	0.045	1.182	-0.532	-0.002	0.004
10 A2	3.527	0.045	1.182	-0.532	-0.002	0.004
11 C2	5.394	0.088	1.227	-0.856	-0.002	0.005
12 C2	5.411	0.088	1.231	-0.847	-0.002	0.005
Елемент: 2 Переріз: 11 Зусилля або РСН						
1 A2	3.527	0.045	0.897	-0.735	-0.004	0.004
2 A2	4.937	0.074	0.845	-0.944	-0.004	0.005
3 B2	4.099	0.058	0.868	-0.831	-0.004	0.004
4 A2	3.527	0.045	0.897	-0.735	-0.004	0.004
5 C2	3.517	0.045	0.892	-0.739	-0.004	0.004
6 C2	3.537	0.045	0.901	-0.730	-0.004	0.004
7 B2	3.550	0.049	0.873	-0.772	-0.004	0.004
8 A2	3.527	0.045	0.897	-0.735	-0.004	0.004
9 A2	3.527	0.045	0.897	-0.735	-0.004	0.004
10 A2	3.527	0.045	0.897	-0.735	-0.004	0.004
11 C2	5.394	0.088	0.797	-1.058	-0.005	0.005
12 C2	5.411	0.088	0.804	-1.050	-0.005	0.005
Елемент: 2 Переріз: 12 Зусилля або РСН						
1 A2	3.527	0.045	0.520	-0.937	-0.005	0.004
2 A2	4.937	0.074	0.374	-1.147	-0.007	0.005
3 B2	4.099	0.058	0.449	-1.033	-0.006	0.004
4 A2	3.527	0.045	0.520	-0.937	-0.005	0.004
5 C2	3.517	0.045	0.514	-0.942	-0.006	0.004
6 C2	3.537	0.045	0.527	-0.933	-0.005	0.004
7 B2	3.550	0.049	0.480	-0.975	-0.006	0.004
8 A2	3.527	0.045	0.520	-0.937	-0.005	0.004
9 A2	3.527	0.045	0.520	-0.937	-0.005	0.004
10 A2	3.527	0.045	0.520	-0.937	-0.005	0.004
11 C2	5.394	0.088	0.275	-1.261	-0.007	0.005
12 C2	5.411	0.088	0.286	-1.252	-0.007	0.005
Елемент: 2 Переріз: 13 Зусилля або РСН						
1 A2	3.527	0.045	0.053	-1.140	-0.007	0.004

2 A2	4.937	0.074	-0.187	-1.349	-0.009	0.005
3 B2	4.099	0.058	-0.062	-1.236	-0.008	0.004
4 A2	3.527	0.045	0.053	-1.140	-0.007	0.004
5 C2	3.517	0.045	0.045	-1.144	-0.007	0.004
6 C2	3.537	0.045	0.061	-1.135	-0.007	0.004
7 B2	3.550	0.049	-0.004	-1.177	-0.007	0.004
8 A2	3.527	0.045	0.053	-1.140	-0.007	0.004
9 A2	3.527	0.045	0.053	-1.140	-0.007	0.004
10 A2	3.527	0.045	0.053	-1.140	-0.007	0.004
11 C2	5.394	0.088	-0.338	-1.463	-0.010	0.005
12 C2	5.411	0.088	-0.323	-1.455	-0.010	0.005
Елемент: 2 Переріз: 14 Зусилля або РСН						
1 A2	3.527	0.045	-0.505	-1.342	-0.009	0.004
2 A2	4.937	0.074	-0.840	-1.552	-0.011	0.005
3 B2	4.099	0.058	-0.664	-1.438	-0.010	0.004
4 A2	3.527	0.045	-0.505	-1.342	-0.009	0.004
5 C2	3.517	0.045	-0.516	-1.347	-0.009	0.004
6 C2	3.537	0.045	-0.495	-1.338	-0.009	0.004
7 B2	3.550	0.049	-0.579	-1.380	-0.009	0.004
8 A2	3.527	0.045	-0.505	-1.342	-0.009	0.004
9 A2	3.527	0.045	-0.505	-1.342	-0.009	0.004
10 A2	3.527	0.045	-0.505	-1.342	-0.009	0.004
11 C2	5.394	0.088	-1.042	-1.666	-0.012	0.005
12 C2	5.411	0.088	-1.023	-1.657	-0.012	0.005
Елемент: 2 Переріз: 15 Зусилля або РСН						
1 A2	3.527	0.045	-1.155	-1.545	-0.011	0.004
2 A2	4.937	0.074	-1.584	-1.754	-0.013	0.005
3 B2	4.099	0.058	-1.357	-1.641	-0.012	0.004
4 A2	3.527	0.045	-1.155	-1.545	-0.011	0.004
5 C2	3.517	0.045	-1.167	-1.549	-0.011	0.004
6 C2	3.537	0.045	-1.143	-1.540	-0.010	0.004
7 B2	3.550	0.049	-1.246	-1.582	-0.011	0.004
8 A2	3.527	0.045	-1.155	-1.545	-0.011	0.004
9 A2	3.527	0.045	-1.155	-1.545	-0.011	0.004
10 A2	3.527	0.045	-1.155	-1.545	-0.011	0.004
11 C2	5.394	0.088	-1.837	-1.868	-0.015	0.005
12 C2	5.411	0.088	-1.815	-1.860	-0.015	0.005
Елемент: 2 Переріз: 16 Зусилля або РСН						
1 A2	3.527	0.045	-1.896	-1.747	-0.012	0.004
2 A2	4.937	0.074	-2.419	-1.957	-0.016	0.005
3 B2	4.099	0.058	-2.141	-1.843	-0.014	0.004
4 A2	3.527	0.045	-1.896	-1.747	-0.012	0.004
5 C2	3.517	0.045	-1.910	-1.752	-0.012	0.004
6 C2	3.537	0.045	-1.881	-1.743	-0.012	0.004
7 B2	3.550	0.049	-2.003	-1.785	-0.013	0.004
8 A2	3.527	0.045	-1.896	-1.747	-0.012	0.004
9 A2	3.527	0.045	-1.896	-1.747	-0.012	0.004
10 A2	3.527	0.045	-1.896	-1.747	-0.012	0.004
11 C2	5.394	0.088	-2.723	-2.071	-0.017	0.005
12 C2	5.411	0.088	-2.697	-2.062	-0.017	0.005

Елемент: 2 Переріз: 17 Зусилля або РСН							
1 A2	3.527	0.045	-2.727	-1.950	-0.014	0.004	
2 A2	4.937	0.074	-3.345	-2.159	-0.018	0.005	
3 B2	4.099	0.058	-3.016	-2.046	-0.016	0.004	
4 A2	3.527	0.045	-2.727	-1.950	-0.014	0.004	
5 C2	3.517	0.045	-2.744	-1.954	-0.014	0.004	
6 C2	3.537	0.045	-2.711	-1.945	-0.014	0.004	
7 B2	3.550	0.049	-2.852	-1.987	-0.014	0.004	
8 A2	3.527	0.045	-2.727	-1.950	-0.014	0.004	
9 A2	3.527	0.045	-2.727	-1.950	-0.014	0.004	
10 A2	3.527	0.045	-2.727	-1.950	-0.014	0.004	
11 C2	5.394	0.088	-3.700	-2.273	-0.020	0.005	
12 C2	5.411	0.088	-3.671	-2.265	-0.019	0.005	

АРМАТУРА Підбір арматури												
AU1	AU2	AU3	AU4	AS1	AS2	AS3	AS4	%	Asw1	Asw2	Т.нетрив	Т.трив.
Переріз: 1 Несиметричне армування												
1.24	1.24	1.21	1.21	0.03	0.03	0.03	0.03	0.28	0.51	0.51	0.36	0.29
0.79	0.79	0.40	0.40	0.03	0.03	0.03	0.03	0.14				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48		
Переріз: 2 Несиметричне армування												
1.66	1.66	1.06	1.06	0.03	0.03	0.03	0.03	0.31	0.51	0.51	0.31	0.29
0.94	0.94	0.25	0.25	0.03	0.03	0.03	0.03	0.14				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48		
Переріз: 3 Несиметричне армування												
2.06	2.06	0.92	0.92	0.03	0.03	0.03	0.03	0.34	0.51	0.51	0.32	0.30
0.98	0.98	0.20	0.20	0.03	0.03	0.03	0.03	0.14				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48		
Переріз: 4 Несиметричне армування												
2.16	2.16	0.92	0.92	0.03	0.03	0.03	0.03	0.35	0.51	0.51	0.32	0.29
1.08	1.08	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.13				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48		
Переріз: 5 Несиметричне армування												
2.16	2.16	0.92	0.92	0.03	0.03	0.03	0.03	0.35	0.51	0.51	0.32	0.29
1.08	1.08	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.13				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48		
Переріз: 6 Несиметричне армування												
2.16	2.16	0.92	0.92	0.03	0.03	0.03	0.03	0.35	0.51	0.51	0.32	0.30
1.08	1.08	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.13				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48		
Переріз: 7 Несиметричне армування												
2.16	2.16	0.92	0.92	0.03	0.03	0.03	0.03	0.35	0.51	0.51	0.32	0.30
1.08	1.08	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.13				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48		
Переріз: 8 Несиметричне армування												
2.16	2.16	0.92	0.92	0.03	0.03	0.03	0.03	0.35	0.51	0.51	0.32	0.29
0.99	0.99	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48		
Переріз: 9 Несиметричне армування												
1.80	1.80	0.56	0.56	0.03	0.03	0.03	0.03	0.27	0.51	0.51	0.31	0.28
0.99	0.99	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48		
Переріз: 10 Несиметричне армування												
2.16	2.16	0.99	0.99	0.03	0.03	0.03	0.03	0.36	0.51	0.51	0.29	0.28
0.81	0.81	0.18	0.18	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12				
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48		

				Переріз: 11		Несиметричне армування							
2.07	2.07	0.94	0.94	0.03	0.03	0.03	0.03	0.34	0.51	0.51	0.32	0.29	
0.72	0.72	0.22	0.22	0.03	0.03	0.03	0.03	0.11					
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48			
				Переріз: 12		Несиметричне армування							
1.42	1.42	1.07	1.07	0.03	0.03	0.03	0.03	0.28	0.51	0.51	0.33	0.30	
0.52	0.52	0.44	0.44	0.03	0.03	0.03	0.03	0.11					
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48			
				Переріз: 13		Несиметричне армування							
1.15	1.15	1.42	1.42	0.03	0.03	0.03	0.03	0.29	0.51	0.51	0.30	0.30	
0.52	0.52	0.61	0.61	0.03	0.03	0.03	0.03	0.13					
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48			
				Переріз: 14		Несиметричне армування							
1.02	1.02	2.06	2.06	0.03	0.03	0.03	0.03	0.35	0.51	0.51	0.29	0.29	
0.21	0.21	0.80	0.80	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12					
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48			
				Переріз: 15		Несиметричне армування							
0.92	0.92	2.16	2.16	0.03	0.03	0.03	0.03	0.35	0.51	0.51	0.32	0.29	
0.02	0.02	1.08	1.08	0.03	0.03	0.03	0.03	0.13					
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48			
				Переріз: 16		Несиметричне армування							
0.92	0.92	2.34	2.34	0.03	0.03	0.03	0.03	0.37	0.51	0.51	0.30	0.28	
0.02	0.02	1.26	1.26	0.03	0.03	0.03	0.03	0.15					
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48			
				Переріз: 17		Несиметричне армування							
0.83	0.83	2.61	2.61	0.03	0.03	0.03	0.03	0.39	0.51	0.51	0.32	0.29	
0.02	0.02	1.62	1.62	0.03	0.03	0.03	0.03	0.19					
* 0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03		0.48	0.48			

#### У таблиці результатів армування

У таблиці результатів армування

AU1 - арматура кутова нижня (ліворуч) [см2];

AU2 - арматура кутова нижня (праворуч) [см2];

AU3 - арматура кутова верхня (ліворуч) [см2];

AU4 - арматура кутова верхня (праворуч) [см2];

AS1 - арматура нижня [см2];

AS2 - арматура верхня [см2];

AS3 - арматура бічна (ліворуч) [см2];

AS4 - арматура бічна (праворуч) [см2];

% - відсоток армування;

Asw1 - арматура поперечна вертикальна [см2/м];

Asw2 - арматура поперечна горизонтальна [см2/м];

T.кр - ширина нетривалого розкриття тріщин [мм];

T.дл - ширина тривалого розкриття тріщин [мм].

\* (1\*, 2\*, 3\*) - арматури від кручення.

\* (1\*, 2\*, 3\*) Поперечна арматура від кручення - площа перерізу замкненого зовнішнього контуру.

Для норм СП 63.13330.2012/2018 арматура від кручення видається для кожної грані перерізу.

(Підібрана арматура від кручення не входить у результати повної арматури.)

+ - арматура підібрана з урахуванням вогнестійкості

^ - арматура підібрана по сполученням прогресуючого руйнування

Рядок 1 - повна арматура, підібрана по I і II групам граничних станів, від крутіння...

Рядок 2 - арматура, підібрана по I групі граничних станів

Рядок \* - арматура від кручення

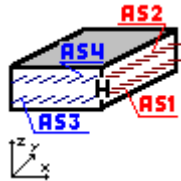
Рядок + - арматура підібрана з урахуванням вогнестійкості

\*\* - Стержень змінного перерізу

CY, CZ - Координати центру перерізу, щодо якого розставлені арматурні стрижні.

Результат підбору арматури для монолітних стін в осях Б-1-2 першого поверху  
(С4) (приведені результати армування для 10 елементів стіни)

ЛАРМ-САПР 2024 - локальний режим армування  
Проект - 05112025\_15341  
Проект ЛІРА-САПР: 05112025  
ДБН В.2.6.-98:2009

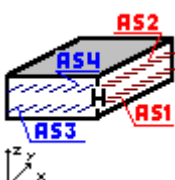
<b>Елемент 1</b>	
Елемент N = 1 Елемент в ЛІРА-САПР N = 15341 Модуль армування: Оболонка	
	
Товщина пластини - 30.0 ( см ) Відстань до центру ваги арматури: знизу = 3.5 зверху = 3.5 ( см ) Відстань до центру ваги арматури: знизу = 2 зверху = 2 ( Y ) ( см ) Індеси матеріалів: загальні 2, бетон 1, арматура 1 Розрахунок по теорії Вуда Клас бетону - С30/35 Клас поздовжньої арматури X - А400С Клас поздовжньої арматури X - А400С Клас поперечної арматури - А240С Максимальний діаметр 32.00 мм	

<b>ЗУСИЛЛЯ, СПОЛУЧЕННЯ (РСН (розрахункові сполучення навантажень))</b>										
No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx, Ny, Txy - т/м <sup>2</sup> ; Mx, My, Mxy - (т*м)/м; Qx, Qy - т/м.										
Елемент: 1 Зусилля або РСН										
1	A1		-8.109	-40.546	3.777	-0.003	-0.032	-0.001	0.126	0.137
2	A1		-9.653	-48.266	2.418	-0.004	-0.037	0.002	0.672	0.253
3	A1		-8.827	-44.137	3.157	-0.004	-0.035	0.000	0.362	0.188
4	A1		-8.109	-40.546	3.777	-0.003	-0.032	-0.001	0.126	0.137
5	B1		-8.119	-40.595	3.746	-0.003	-0.038	-0.001	0.014	0.142
6	B1		-8.100	-40.498	3.809	-0.003	-0.026	0.000	0.238	0.133
7	A1		-8.451	-42.253	3.524	-0.003	-0.033	-0.000	0.185	0.152
8	A1		-8.109	-40.546	3.777	-0.003	-0.032	-0.001	0.126	0.137
9	A1		-8.109	-40.546	3.777	-0.003	-0.032	-0.001	0.126	0.137
10	A1		-8.109	-40.546	3.777	-0.003	-0.032	-0.001	0.126	0.137
11	B1		-10.538	-52.691	1.671	-0.005	-0.046	0.002	0.809	0.310
12	B1		-10.521	-52.604	1.727	-0.005	-0.034	0.003	1.010	0.302

<b>Нормативні значення</b>										
No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx, Ny, Txy - т/м <sup>2</sup> ; Mx, My, Mxy - (т*м)/м; Qx, Qy - т/м.										
Елемент: 1 Зусилля або РСН										
1	A2		-7.372	-36.860	3.434	-0.003	-0.029	-0.000	0.115	0.125
2	A2		-8.659	-43.293	2.302	-0.004	-0.034	0.001	0.570	0.221
3	B2		-7.971	-39.853	2.917	-0.003	-0.031	0.000	0.311	0.167

4	A2	-7.372	-36.860	3.434	-0.003	-0.029	-0.000	0.115	0.125
5	C2	-7.374	-36.869	3.428	-0.003	-0.031	-0.001	0.094	0.126
6	C2	-7.370	-36.851	3.440	-0.003	-0.028	-0.000	0.135	0.124
7	B2	-7.616	-38.079	3.253	-0.003	-0.030	-0.000	0.157	0.135
8	A2	-7.372	-36.860	3.434	-0.003	-0.029	-0.000	0.115	0.125
9	A2	-7.372	-36.860	3.434	-0.003	-0.029	-0.000	0.115	0.125
10	A2	-7.372	-36.860	3.434	-0.003	-0.029	-0.000	0.115	0.125
11	C2	-9.354	-46.770	1.724	-0.004	-0.037	0.002	0.743	0.265
12	C2	-9.351	-46.754	1.735	-0.004	-0.035	0.002	0.780	0.263

АРМАТУРА Підбір арматури										
AS1	AS2	AS3	AS4	% X	% Y	% X+Y	Asw1	Asw2	Т.нетрив.	Т.трив.
1.50	1.50	1.50	1.50	0.10	0.10	0.20	0.05	-		0.10
1.50	1.50	1.50	1.50							

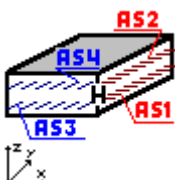
Елемент 2
Елемент N = 2
Елемент в ЛІРА-САПР N = 15342
Модуль армування: Оболонка

Товщина пластини - 30.0 ( см )
Відстань до центру ваги арматури: знизу = 3.5 зверху = 3.5 ( см )
Відстань до центру ваги арматури: знизу = 2 зверху = 2 ( Y ) ( см )
Індекси матеріалів: загальні 2, бетон 1, арматура 1
Розрахунок по теорії Вуда
Клас бетону - C30/35
Клас поздовжньої арматури X - A400C
Клас поздовжньої арматури Y - A400C
Клас поперечної арматури - A240C
Максимальний діаметр 32.00 мм

ЗУСИЛЛЯ, СПОЛУЧЕННЯ (РСН (розрахункові сполучення навантажень))										
No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx, Ny, Txy - т/м2; Mx, My, Mxy - (т*м)/м; Qx, Qy - т/м.										
Елемент: 2 Зусилля або РСН										
1	A1		2.915	-39.720	11.172	-0.201	-0.057	0.015	0.516	0.299
2	A1		1.868	-48.555	5.655	-0.201	-0.059	0.016	0.520	0.292
3	A1		2.446	-43.836	8.626	-0.202	-0.058	0.015	0.519	0.297
4	A1		2.915	-39.720	11.172	-0.201	-0.057	0.015	0.516	0.299
5	B1		2.918	-39.819	10.937	-0.206	-0.062	0.014	0.530	0.312
6	B1		2.912	-39.621	11.406	-0.196	-0.053	0.016	0.501	0.285
7	A1		2.754	-41.688	10.055	-0.203	-0.058	0.015	0.520	0.301
8	A1		2.915	-39.720	11.172	-0.201	-0.057	0.015	0.516	0.299
9	A1		2.915	-39.720	11.172	-0.201	-0.057	0.015	0.516	0.299
10	A1		2.915	-39.720	11.172	-0.201	-0.057	0.015	0.516	0.299
11	B1		1.357	-53.679	2.424	-0.208	-0.064	0.015	0.540	0.305
12	B1		1.352	-53.501	2.847	-0.199	-0.056	0.017	0.514	0.281

Нормативні значення
---------------------

No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx,Ny,Txy - т/м2; Mx,My,Mxy - (т*м)/м; Qx,Qy - т/м.										
<b>Елемент: 2 Зусилля або РСН</b>										
1	A2		2.650	-36.109	10.156	-0.183	-0.052	0.014	0.469	0.271
2	A2		1.778	-43.472	5.559	-0.183	-0.053	0.014	0.473	0.266
3	B2		2.260	-39.539	8.035	-0.183	-0.053	0.014	0.471	0.270
4	A2		2.650	-36.109	10.156	-0.183	-0.052	0.014	0.469	0.271
5	C2		2.650	-36.127	10.113	-0.183	-0.053	0.013	0.471	0.274
6	C2		2.649	-36.091	10.199	-0.182	-0.051	0.014	0.466	0.269
7	B2		2.535	-37.515	9.358	-0.184	-0.052	0.014	0.472	0.273
8	A2		2.650	-36.109	10.156	-0.183	-0.052	0.014	0.469	0.271
9	A2		2.650	-36.109	10.156	-0.183	-0.052	0.014	0.469	0.271
10	A2		2.650	-36.109	10.156	-0.183	-0.052	0.014	0.469	0.271
11	C2		1.367	-47.473	3.123	-0.186	-0.055	0.014	0.480	0.269
12	C2		1.366	-47.440	3.201	-0.184	-0.053	0.014	0.475	0.264

<b>АРМАТУРА Підбір арматури</b>										
AS1	AS2	AS3	AS4	% X	% Y	% X+Y	Asw1	Asw2	Т.нетрив.	Т.трив.
1.80	2.10	1.50	1.50	0.13	0.10	0.23	0.05	-		0.23
1.50	1.50	1.50	1.50							

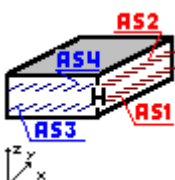
<b>Елемент 3</b>										
Елемент N = 3										
Елемент в ЛІРА-САПР N = 15343										
Модуль армування: Оболонка										
										
Товщина пластини - 30.0 ( см )										
Відстань до центру ваги арматури: знизу = 3.5 зверху = 3.5 ( см )										
Відстань до центру ваги арматури: знизу = 2 зверху = 2 ( Y ) ( см )										
Індекси матеріалів: загальні 2, бетон 1, арматура 1										
Розрахунок по теорії Вуда										
Клас бетону - C30/35										
Клас поздовжньої арматури X - A400C										
Клас поздовжньої арматури X - A400C										
Клас поперечної арматури - A240C										
Максимальний діаметр 32.00 мм										

<b>ЗУСИЛЛЯ, СПОЛУЧЕННЯ (РСН (розрахункові сполучення навантажень))</b>										
No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx,Ny,Txy - т/м2; Mx,My,Mxy - (т*м)/м; Qx,Qy - т/м.										
<b>Елемент: 3 Зусилля або РСН</b>										
1	A1		0.752	-41.563	10.798	-0.159	-0.029	-0.008	0.119	0.037
2	A1		0.242	-48.536	5.419	-0.165	-0.030	-0.006	0.131	0.033
3	A1		0.526	-44.822	8.311	-0.163	-0.030	-0.007	0.124	0.035
4	A1		0.752	-41.563	10.798	-0.159	-0.029	-0.008	0.119	0.037
5	B1		0.753	-41.578	10.578	-0.164	-0.031	-0.010	0.120	0.041
6	B1		0.751	-41.547	11.017	-0.155	-0.027	-0.006	0.117	0.034
7	A1		0.680	-43.165	9.692	-0.162	-0.029	-0.008	0.121	0.037
8	A1		0.752	-41.563	10.798	-0.159	-0.029	-0.008	0.119	0.037

9	A1	0.752	-41.563	10.798	-0.159	-0.029	-0.008	0.119	0.037
10	A1	0.752	-41.563	10.798	-0.159	-0.029	-0.008	0.119	0.037
11	B1	0.000	-52.576	2.258	-0.174	-0.033	-0.007	0.139	0.034
12	B1	-0.002	-52.548	2.652	-0.167	-0.029	-0.004	0.136	0.027

Нормативні значення										
No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx,Ny,Txy - т/м2; Mx,My,Mxy - (т*м)/м; Qx,Qy - т/м.										
Елемент: 3 Зусилля або РСН										
1	A2		0.684	-37.784	9.816	-0.145	-0.026	-0.007	0.108	0.034
2	A2		0.259	-43.595	5.333	-0.150	-0.027	-0.005	0.118	0.030
3	B2		0.495	-40.500	7.744	-0.148	-0.027	-0.007	0.113	0.032
4	A2		0.684	-37.784	9.816	-0.145	-0.026	-0.007	0.108	0.034
5	C2		0.684	-37.787	9.776	-0.146	-0.027	-0.008	0.108	0.034
6	C2		0.684	-37.781	9.856	-0.144	-0.026	-0.007	0.108	0.033
7	B2		0.633	-38.929	9.026	-0.147	-0.027	-0.007	0.109	0.033
8	A2		0.684	-37.784	9.816	-0.145	-0.026	-0.007	0.108	0.034
9	A2		0.684	-37.784	9.816	-0.145	-0.026	-0.007	0.108	0.034
10	A2		0.684	-37.784	9.816	-0.145	-0.026	-0.007	0.108	0.034
11	C2		0.064	-46.781	2.946	-0.154	-0.028	-0.005	0.124	0.029
12	C2		0.064	-46.776	3.019	-0.153	-0.028	-0.005	0.123	0.028

АРМАТУРА Підбір арматури										
AS1	AS2	AS3	AS4	% X	% Y	% X+Y	Asw1	Asw2	Т.нетрив.	Т.трив.
1.50	1.50	1.50	1.50	0.10	0.10	0.20	0.05	-		0.29
1.50	1.50	1.50	1.50							

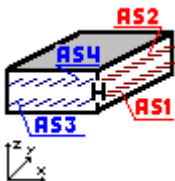
Елемент 4										
Елемент N = 4										
Елемент в ЛІРА-САПР N = 15344										
Модуль армування: Оболонка										
										
Товщина пластини - 30.0 ( см )										
Відстань до центру ваги арматури: знизу = 3.5 зверху = 3.5 ( см )										
Відстань до центру ваги арматури: знизу = 2 зверху = 2 ( Y ) ( см )										
Індекси матеріалів: загальні 2, бетон 1, арматура 1										
Розрахунок по теорії Вуда										
Клас бетону - С30/35										
Клас поздовжньої арматури X - А400С										
Клас поздовжньої арматури Y - А400С										
Клас поперечної арматури - А240С										
Максимальний діаметр 32.00 мм										

ЗУСИЛЛЯ, СПОЛУЧЕННЯ (РСН (розрахункові сполучення навантажень))										
No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx,Ny,Txy - т/м2; Mx,My,Mxy - (т*м)/м; Qx,Qy - т/м.										
Елемент: 4 Зусилля або РСН										
1	A1		1.131	-48.829	11.445	-0.006	-0.024	0.013	0.372	0.046
2	A1		0.499	-55.384	5.813	-0.003	-0.023	0.012	0.379	0.042
3	A1		0.857	-51.907	8.853	-0.005	-0.024	0.013	0.376	0.045

4	A1	1.131	-48.829	11.445	-0.006	-0.024	0.013	0.372	0.046
5	B1	1.132	-48.811	11.196	-0.006	-0.026	0.011	0.381	0.044
6	B1	1.130	-48.846	11.695	-0.006	-0.022	0.015	0.363	0.049
7	A1	1.063	-50.380	10.332	-0.007	-0.024	0.013	0.376	0.046
8	A1	1.131	-48.829	11.445	-0.006	-0.024	0.013	0.372	0.046
9	A1	1.131	-48.829	11.445	-0.006	-0.024	0.013	0.372	0.046
10	A1	1.131	-48.829	11.445	-0.006	-0.024	0.013	0.372	0.046
11	B1	0.224	-59.208	2.535	-0.002	-0.024	0.010	0.394	0.038
12	B1	0.222	-59.239	2.984	-0.002	-0.021	0.014	0.378	0.043

Нормативні значення										
No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx,Ny,Txy - т/м2; Mx,My,Mxy - (т*м)/м; Qx,Qy - т/м.										
Елемент: 4 Зусилля або РСН										
1	A2		1.028	-44.390	10.405	-0.006	-0.022	0.012	0.338	0.042
2	A2		0.502	-49.853	5.711	-0.003	-0.021	0.011	0.344	0.039
3	B2		0.800	-46.955	8.245	-0.004	-0.022	0.012	0.342	0.041
4	A2		1.028	-44.390	10.405	-0.006	-0.022	0.012	0.338	0.042
5	C2		1.028	-44.386	10.359	-0.006	-0.022	0.012	0.340	0.042
6	C2		1.028	-44.393	10.451	-0.006	-0.022	0.012	0.337	0.043
7	B2		0.979	-45.498	9.610	-0.006	-0.022	0.012	0.341	0.042
8	A2		1.028	-44.390	10.405	-0.006	-0.022	0.012	0.338	0.042
9	A2		1.028	-44.390	10.405	-0.006	-0.022	0.012	0.338	0.042
10	A2		1.028	-44.390	10.405	-0.006	-0.022	0.012	0.338	0.042
11	C2		0.279	-52.883	3.245	-0.002	-0.021	0.010	0.351	0.037
12	C2		0.279	-52.888	3.327	-0.002	-0.020	0.011	0.348	0.038

АРМАТУРА Підбір арматури										
AS1	AS2	AS3	AS4	% X	% Y	% X+Y	Asw1	Asw2	Т.нетрив.	Т.трив.
1.50	1.50	1.50	1.50	0.10	0.10	0.20	0.05	-		0.21
1.50	1.50	1.50	1.50							

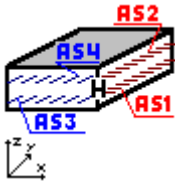
Елемент 5										
Елемент N = 5										
Елемент в ЛІРА-САПР N = 15345										
Модуль армування: Оболонка										
										
Товщина пластини - 30.0 ( см )										
Відстань до центру ваги арматури: знизу = 3.5 зверху = 3.5 ( см )										
Відстань до центру ваги арматури: знизу = 2 зверху = 2 ( Y ) ( см )										
Індекси матеріалів: загальні 2, бетон 1, арматура 1										
Розрахунок по теорії Вуда										
Клас бетону - С30/35										
Клас поздовжньої арматури X - А400С										
Клас поздовжньої арматури Y - А400С										
Клас поперечної арматури - А240С										
Максимальний діаметр 32.00 мм										

**ЗУСИЛЛЯ, СПОЛУЧЕННЯ (РСН (розрахункові сполучення навантажень))**

No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx,Ny,Txy - т/м <sup>2</sup> ; Mx,My,Mxy - (т*м)/м; Qx,Qy - т/м.										
<b>Елемент: 5 Зусилля або РСН</b>										
1	A1		0.646	-46.661	12.559	-0.015	0.006	0.017	0.269	0.012
2	A1		0.060	-53.665	6.651	-0.013	0.006	0.016	0.282	0.014
3	A1		0.388	-49.953	9.836	-0.014	0.006	0.017	0.276	0.013
4	A1		0.646	-46.661	12.559	-0.015	0.006	0.017	0.269	0.012
5	B1		0.636	-46.657	12.312	-0.015	0.005	0.016	0.276	0.013
6	B1		0.656	-46.666	12.806	-0.015	0.007	0.018	0.263	0.010
7	A1		0.570	-48.331	11.380	-0.016	0.006	0.017	0.273	0.012
8	A1		0.646	-46.661	12.559	-0.015	0.006	0.017	0.269	0.012
9	A1		0.646	-46.661	12.559	-0.015	0.006	0.017	0.269	0.012
10	A1		0.646	-46.661	12.559	-0.015	0.006	0.017	0.269	0.012
11	B1		-0.221	-57.775	3.213	-0.014	0.006	0.015	0.296	0.017
12	B1		-0.202	-57.783	3.657	-0.013	0.007	0.017	0.285	0.014

Нормативні значення										
No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx,Ny,Txy - т/м <sup>2</sup> ; Mx,My,Mxy - (т*м)/м; Qx,Qy - т/м.										
<b>Елемент: 5 Зусилля або РСН</b>										
1	A2		0.587	-42.419	11.417	-0.014	0.006	0.016	0.245	0.011
2	A2		0.099	-48.255	6.494	-0.012	0.006	0.015	0.256	0.013
3	B2		0.372	-45.162	9.149	-0.013	0.006	0.015	0.250	0.012
4	A2		0.587	-42.419	11.417	-0.014	0.006	0.016	0.245	0.011
5	C2		0.585	-42.418	11.372	-0.014	0.005	0.015	0.246	0.011
6	C2		0.589	-42.420	11.463	-0.014	0.006	0.016	0.244	0.010
7	B2		0.533	-43.612	10.575	-0.014	0.006	0.015	0.247	0.011
8	A2		0.587	-42.419	11.417	-0.014	0.006	0.016	0.245	0.011
9	A2		0.587	-42.419	11.417	-0.014	0.006	0.016	0.245	0.011
10	A2		0.587	-42.419	11.417	-0.014	0.006	0.016	0.245	0.011
11	C2		-0.121	-51.505	3.899	-0.012	0.006	0.014	0.263	0.014
12	C2		-0.117	-51.506	3.981	-0.012	0.006	0.015	0.261	0.014

АРМАТУРА Підбір арматури										
AS1	AS2	AS3	AS4	% X	% Y	% X+Y	Asw1	Asw2	Т.нетрив.	Т.трив.
1.50	1.50	1.50	1.50	0.10	0.10	0.20	0.05	-		0.23
1.50	1.50	1.50	1.50							

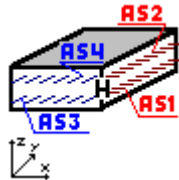
<b>Елемент 6</b>
Елемент N = 6 Елемент в ЛІРА-САПР N = 15346 Модуль армування: Оболонка

Товщина пластини - 30.0 ( см ) Відстань до центру ваги арматури: знизу = 3.5 зверху = 3.5 ( см ) Відстань до центру ваги арматури: знизу = 2 зверху = 2 ( Y ) ( см ) Індекси матеріалів: загальні 2, бетон 1, арматура 1 Розрахунок по теорії Вуда Клас бетону - C30/35

Клас поздовжньої арматури X - A400C  
Клас поздовжньої арматури X - A400C  
Клас поперечної арматури - A240C  
Максимальний діаметр 32.00 мм

ЗУСИЛЛЯ, СПОЛУЧЕННЯ (РСН (розрахункові сполучення навантажень))										
No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx,Ny,Txy - т/м2; Mx,My,Mxy - (т*м)/м; Qx,Qy - т/м.										
Елемент: 6 Зусилля або РСН										
1	A1		-0.072	-46.121	12.550	-0.021	0.005	0.016	0.256	-0.004
2	A1		-0.294	-52.851	6.829	-0.021	0.005	0.015	0.277	-0.002
3	A1		-0.164	-49.293	9.911	-0.021	0.005	0.015	0.266	-0.003
4	A1		-0.072	-46.121	12.550	-0.021	0.005	0.016	0.256	-0.004
5	B1		-0.074	-46.102	12.317	-0.021	0.004	0.014	0.263	-0.003
6	B1		-0.070	-46.140	12.783	-0.020	0.005	0.017	0.249	-0.004
7	A1		-0.083	-47.766	11.398	-0.022	0.005	0.015	0.261	-0.003
8	A1		-0.072	-46.121	12.550	-0.021	0.005	0.016	0.256	-0.004
9	A1		-0.072	-46.121	12.550	-0.021	0.005	0.016	0.256	-0.004
10	A1		-0.072	-46.121	12.550	-0.021	0.005	0.016	0.256	-0.004
11	B1		-0.378	-56.834	3.493	-0.023	0.004	0.013	0.296	-0.000
12	B1		-0.375	-56.868	3.913	-0.022	0.005	0.016	0.284	-0.002

Нормативні значення										
No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx,Ny,Txy - т/м2; Mx,My,Mxy - (т*м)/м; Qx,Qy - т/м.										
Елемент: 6 Зусилля або РСН										
1	A2		-0.065	-41.928	11.409	-0.019	0.004	0.014	0.233	-0.003
2	A2		-0.250	-47.536	6.642	-0.019	0.004	0.014	0.250	-0.002
3	B2		-0.142	-44.572	9.210	-0.019	0.004	0.014	0.241	-0.003
4	A2		-0.065	-41.928	11.409	-0.019	0.004	0.014	0.233	-0.003
5	C2		-0.066	-41.924	11.366	-0.019	0.004	0.014	0.234	-0.003
6	C2		-0.065	-41.931	11.452	-0.019	0.004	0.014	0.231	-0.003
7	B2		-0.073	-43.103	10.586	-0.019	0.004	0.014	0.236	-0.003
8	A2		-0.065	-41.928	11.409	-0.019	0.004	0.014	0.233	-0.003
9	A2		-0.065	-41.928	11.409	-0.019	0.004	0.014	0.233	-0.003
10	A2		-0.065	-41.928	11.409	-0.019	0.004	0.014	0.233	-0.003
11	C2		-0.318	-50.690	4.121	-0.020	0.004	0.013	0.262	-0.001
12	C2		-0.318	-50.696	4.199	-0.020	0.004	0.013	0.259	-0.001

АРМАТУРА Підбір арматури										
AS1	AS2	AS3	AS4	% X	% Y	% X+Y	Asw1	Asw2	Т.нетрив.	Т.трив.
1.50	1.50	1.50	1.50	0.10	0.10	0.20	0.05	-		0.30
1.50	1.50	1.50	1.50							

Елемент 7
Елемент N = 7 Елемент в ЛІРА-САПР N = 15347 Модуль армування: Оболонка


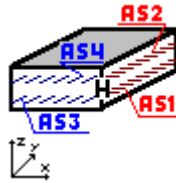
Товщина пластини - 30.0 ( см )  
 Відстань до центру ваги арматури: знизу = 3.5 зверху = 3.5 ( см )  
 Відстань до центру ваги арматури: знизу = 2 зверху = 2 ( Y ) ( см )  
 Індеси матеріалів: загальні 2, бетон 1, арматура 1  
 Розрахунок по теорії Вуда  
 Клас бетону - С30/35  
 Клас поздовжньої арматури X - А400С  
 Клас поздовжньої арматури X - А400С  
 Клас поперечної арматури - А240С  
 Максимальний діаметр 32.00 мм

ЗУСИЛЛЯ, СПОЛУЧЕННЯ (РСН (розрахункові сполучення навантажень))										
No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx,Ny,Txy - т/м2; Mx,My,Mxy - (т*м)/м; Qx,Qy - т/м.										
Елемент: 7 Зусилля або РСН										
1	A1		0.239	-41.393	11.219	-0.146	-0.022	0.004	0.227	0.014
2	A1		0.165	-47.921	5.900	-0.158	-0.024	0.006	0.253	0.006
3	A1		0.211	-44.454	8.756	-0.152	-0.023	0.005	0.239	0.010
4	A1		0.239	-41.393	11.219	-0.146	-0.022	0.004	0.227	0.014
5	B1		0.244	-41.393	11.002	-0.149	-0.023	0.003	0.232	0.014
6	B1		0.234	-41.394	11.435	-0.142	-0.021	0.005	0.222	0.013
7	A1		0.246	-42.934	10.110	-0.149	-0.022	0.004	0.233	0.012
8	A1		0.239	-41.393	11.219	-0.146	-0.022	0.004	0.227	0.014
9	A1		0.239	-41.393	11.219	-0.146	-0.022	0.004	0.227	0.014
10	A1		0.239	-41.393	11.219	-0.146	-0.022	0.004	0.227	0.014
11	B1		0.154	-51.735	2.757	-0.170	-0.026	0.005	0.273	0.002
12	B1		0.145	-51.737	3.147	-0.163	-0.024	0.008	0.264	0.001

Нормативні значення										
No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx,Ny,Txy - т/м2; Mx,My,Mxy - (т*м)/м; Qx,Qy - т/м.										
Елемент: 7 Зусилля або РСН										
1	A2		0.217	-37.630	10.199	-0.132	-0.020	0.004	0.206	0.012
2	A2		0.156	-43.070	5.767	-0.143	-0.022	0.005	0.228	0.006
3	B2		0.194	-40.181	8.146	-0.137	-0.021	0.004	0.217	0.009
4	A2		0.217	-37.630	10.199	-0.132	-0.020	0.004	0.206	0.012
5	C2		0.218	-37.630	10.159	-0.133	-0.020	0.003	0.207	0.012
6	C2		0.216	-37.631	10.239	-0.132	-0.020	0.004	0.206	0.012
7	B2		0.222	-38.731	9.407	-0.135	-0.020	0.004	0.210	0.011
8	A2		0.217	-37.630	10.199	-0.132	-0.020	0.004	0.206	0.012
9	A2		0.217	-37.630	10.199	-0.132	-0.020	0.004	0.206	0.012
10	A2		0.217	-37.630	10.199	-0.132	-0.020	0.004	0.206	0.012
11	C2		0.143	-46.084	3.393	-0.150	-0.023	0.006	0.241	0.002
12	C2		0.141	-46.084	3.464	-0.148	-0.023	0.006	0.239	0.002

АРМАТУРА Підбір арматури										
AS1	AS2	AS3	AS4	% X	% Y	% X+Y	Asw1	Asw2	Т.нетрив.	Т.трив.
1.50	1.50	1.50	1.50	0.10	0.10	0.20	0.05	-		0.27
1.50	1.50	1.50	1.50							

Елемент 8										
Елемент N = 8										
Елемент в ЛІРА-САПР N = 15348										
Модуль армування: Оболонка										



Товщина пластини - 30.0 ( см )  
 Відстань до центру ваги арматури: знизу = 3.5 зверху = 3.5 ( см )  
 Відстань до центру ваги арматури: знизу = 2 зверху = 2 ( Y ) ( см )  
 Індеси матеріалів: загальні 2, бетон 1, арматура 1  
 Розрахунок по теорії Вуда  
 Клас бетону - C30/35  
 Клас поздовжньої арматури X - A400C  
 Клас поздовжньої арматури Y - A400C  
 Клас поперечної арматури - A240C  
 Максимальний діаметр 32.00 мм

### ЗУСИЛЛЯ, СПОЛУЧЕННЯ (РСН (розрахункові сполучення навантажень))

No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx, Ny, Txy - т/м <sup>2</sup> ; Mx, My, Mxy - (т*м)/м; Qx, Qy - т/м.										
Елемент: 8 Зусилля або РСН										
1	A1		-0.136	-53.598	12.047	0.164	0.032	0.003	0.335	0.010
2	A1		-0.606	-60.422	6.391	0.171	0.033	0.002	0.341	0.009
3	A1		-0.333	-56.815	9.451	0.167	0.032	0.002	0.338	0.010
4	A1		-0.136	-53.598	12.047	0.164	0.032	0.003	0.335	0.010
5	B1		-0.147	-53.581	11.785	0.168	0.031	0.001	0.342	0.010
6	B1		-0.126	-53.615	12.309	0.161	0.032	0.004	0.328	0.010
7	A1		-0.166	-55.255	10.959	0.165	0.032	0.002	0.338	0.010
8	A1		-0.136	-53.598	12.047	0.164	0.032	0.003	0.335	0.010
9	A1		-0.136	-53.598	12.047	0.164	0.032	0.003	0.335	0.010
10	A1		-0.136	-53.598	12.047	0.164	0.032	0.003	0.335	0.010
11	B1		-0.795	-64.453	3.123	0.178	0.034	0.000	0.352	0.008
12	B1		-0.777	-64.483	3.595	0.172	0.034	0.004	0.340	0.009

### Нормативні значення

No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx, Ny, Txy - т/м <sup>2</sup> ; Mx, My, Mxy - (т*м)/м; Qx, Qy - т/м.										
Елемент: 8 Зусилля або РСН										
1	A2		-0.124	-48.725	10.952	0.149	0.029	0.002	0.305	0.009
2	A2		-0.515	-54.412	6.239	0.155	0.030	0.002	0.309	0.008
3	B2		-0.288	-51.406	8.789	0.152	0.029	0.002	0.307	0.009
4	A2		-0.124	-48.725	10.952	0.149	0.029	0.002	0.305	0.009
5	C2		-0.126	-48.722	10.903	0.150	0.029	0.002	0.306	0.009
6	C2		-0.122	-48.728	11.000	0.149	0.029	0.003	0.303	0.009
7	B2		-0.145	-49.909	10.175	0.150	0.029	0.002	0.307	0.009
8	A2		-0.124	-48.725	10.952	0.149	0.029	0.002	0.305	0.009
9	A2		-0.124	-48.725	10.952	0.149	0.029	0.002	0.305	0.009
10	A2		-0.124	-48.725	10.952	0.149	0.029	0.002	0.305	0.009
11	C2		-0.664	-57.603	3.785	0.159	0.031	0.002	0.315	0.008
12	C2		-0.661	-57.609	3.872	0.158	0.031	0.002	0.312	0.008

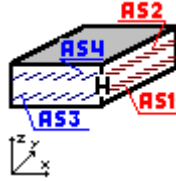
### АРМАТУРА Підбір арматури

AS1	AS2	AS3	AS4	% X	% Y	% X+Y	Asw1	Asw2	Т.нетрив.	Т.трив.
1.80	1.50	1.50	1.50	0.11	0.10	0.21	0.05	-		0.25

1.50 1.50 1.50 1.50

**Елемент 9**

Елемент N = 9  
 Елемент в ЛІРА-САПР N = 15349  
 Модуль армування: Оболонка



Товщина пластини - 30.0 ( см )  
 Відстань до центру ваги арматури: низу = 3.5 зверху = 3.5 ( см )  
 Відстань до центру ваги арматури: низу = 2 зверху = 2 ( Y ) ( см )  
 Індокси матеріалів: загальні 2, бетон 1, арматура 1  
 Розрахунок по теорії Вуда  
 Клас бетону - С30/35  
 Клас поздовжньої арматури X - А400С  
 Клас поздовжньої арматури X - А400С  
 Клас поперечної арматури - А240С  
 Максимальний діаметр 32.00 мм

**ЗУСИЛЛЯ, СПОЛУЧЕННЯ (РСН (розрахункові сполучення навантажень))**

No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx, Ny, Txy - т/м2; Mx, My, Mxy - (т*м)/м; Qx, Qy - т/м.										
Елемент: 9 Зусилля або РСН										
1	A1		-0.067	-52.654	12.947	0.142	0.036	0.011	0.298	0.018
2	A1		-0.519	-59.403	7.119	0.151	0.037	0.011	0.309	0.018
3	A1		-0.261	-55.844	10.270	0.146	0.037	0.011	0.304	0.018
4	A1		-0.067	-52.654	12.947	0.142	0.036	0.011	0.298	0.018
5	B1		-0.084	-52.621	12.694	0.145	0.036	0.010	0.305	0.019
6	B1		-0.050	-52.687	13.200	0.138	0.036	0.013	0.290	0.017
7	A1		-0.110	-54.325	11.821	0.143	0.036	0.011	0.301	0.018
8	A1		-0.067	-52.654	12.947	0.142	0.036	0.011	0.298	0.018
9	A1		-0.067	-52.654	12.947	0.142	0.036	0.011	0.298	0.018
10	A1		-0.067	-52.654	12.947	0.142	0.036	0.011	0.298	0.018
11	B1		-0.725	-63.411	3.760	0.158	0.038	0.009	0.324	0.019
12	B1		-0.695	-63.470	4.216	0.152	0.038	0.011	0.311	0.017

**Нормативні значення**

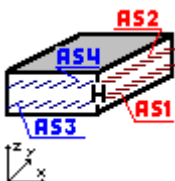
No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx, Ny, Txy - т/м2; Mx, My, Mxy - (т*м)/м; Qx, Qy - т/м.										
Елемент: 9 Зусилля або РСН										
1	A2		-0.061	-47.867	11.770	0.129	0.033	0.010	0.271	0.017
2	A2		-0.438	-53.491	6.913	0.136	0.034	0.010	0.280	0.016
3	B2		-0.223	-50.525	9.539	0.132	0.033	0.010	0.275	0.016
4	A2		-0.061	-47.867	11.770	0.129	0.033	0.010	0.271	0.017
5	C2		-0.064	-47.861	11.723	0.130	0.033	0.010	0.272	0.017
6	C2		-0.058	-47.873	11.817	0.128	0.033	0.010	0.269	0.016
7	B2		-0.092	-49.061	10.966	0.130	0.033	0.010	0.273	0.017
8	A2		-0.061	-47.867	11.770	0.129	0.033	0.010	0.271	0.017
9	A2		-0.061	-47.867	11.770	0.129	0.033	0.010	0.271	0.017
10	A2		-0.061	-47.867	11.770	0.129	0.033	0.010	0.271	0.017

11	C2	-0.595	-56.672	4.383	0.141	0.035	0.009	0.288	0.016
12	C2	-0.589	-56.683	4.467	0.139	0.035	0.010	0.286	0.016

АРМАТУРА Підбір арматури										
AS1	AS2	AS3	AS4	% X	% Y	% X+Y	Asw1	Asw2	Т.нетрив.	Т.трив.
2.10	1.50	1.50	1.50	0.12	0.10	0.22	0.05	-		0.24
1.50	1.50	1.50	1.50							

**Елемент 10**

Елемент N = 10  
Елемент в ЛІРА-САПР N = 15350  
Модуль армування: Оболонка



Товщина пластини - 30.0 ( см )  
Відстань до центру ваги арматури: знизу = 3.5 зверху = 3.5 ( см )  
Відстань до центру ваги арматури: знизу = 2 зверху = 2 ( Y ) ( см )  
Індекси матеріалів: загальні 2, бетон 1, арматура 1  
Розрахунок по теорії Вуда  
Клас бетону - C30/35  
Клас поздовжньої арматури X - A400C  
Клас поздовжньої арматури X - A400C  
Клас поперечної арматури - A240C  
Максимальний діаметр 32.00 мм

ЗУСИЛЛЯ, СПОЛУЧЕННЯ (РСН (розрахункові сполучення навантажень))										
No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx, Ny, Txy - т/м <sup>2</sup> ; Mx, My, Mxy - (т*м)/м; Qx, Qy - т/м.										
Елемент: 10 Зусилля або РСН										
1	A1		-0.159	-51.507	13.380	0.119	0.031	0.011	0.259	0.008
2	A1		-0.526	-58.272	7.470	0.130	0.034	0.011	0.280	0.008
3	A1		-0.316	-54.714	10.665	0.124	0.032	0.011	0.269	0.008
4	A1		-0.159	-51.507	13.380	0.119	0.031	0.011	0.259	0.008
5	B1		-0.173	-51.465	13.134	0.122	0.031	0.010	0.267	0.009
6	B1		-0.146	-51.549	13.626	0.116	0.030	0.012	0.252	0.007
7	A1		-0.193	-53.219	12.233	0.121	0.031	0.011	0.265	0.008
8	A1		-0.159	-51.507	13.380	0.119	0.031	0.011	0.259	0.008
9	A1		-0.159	-51.507	13.380	0.119	0.031	0.011	0.259	0.008
10	A1		-0.159	-51.507	13.380	0.119	0.031	0.011	0.259	0.008
11	B1		-0.691	-62.323	4.068	0.138	0.036	0.009	0.299	0.009
12	B1		-0.667	-62.399	4.512	0.132	0.035	0.012	0.286	0.007

Нормативні значення										
No	Comb	Seis	Nx	Ny	Txy	Mx	My	Mxy	Qx	Qy
Nx, Ny, Txy - т/м <sup>2</sup> ; Mx, My, Mxy - (т*м)/м; Qx, Qy - т/м.										
Елемент: 10 Зусилля або РСН										
1	A2		-0.145	-46.825	12.164	0.108	0.028	0.010	0.236	0.007
2	A2		-0.450	-52.462	7.239	0.117	0.030	0.010	0.253	0.007
3	B2		-0.276	-49.497	9.901	0.112	0.029	0.010	0.244	0.007
4	A2		-0.145	-46.825	12.164	0.108	0.028	0.010	0.236	0.007
5	C2		-0.147	-46.817	12.118	0.109	0.028	0.010	0.237	0.007

6	C2	-0.142	-46.832	12.209	0.107	0.028	0.010	0.234	0.007
7	B2	-0.169	-48.048	11.345	0.109	0.028	0.010	0.239	0.007
8	A2	-0.145	-46.825	12.164	0.108	0.028	0.010	0.236	0.007
9	A2	-0.145	-46.825	12.164	0.108	0.028	0.010	0.236	0.007
10	A2	-0.145	-46.825	12.164	0.108	0.028	0.010	0.236	0.007
11	C2	-0.577	-55.679	4.671	0.122	0.032	0.009	0.264	0.007
12	C2	-0.572	-55.693	4.752	0.121	0.032	0.010	0.262	0.007

АРМАТУРА Підбір арматури										
AS1	AS2	AS3	AS4	% X	% Y	% X+Y	Asw1	Asw2	Т.нетрив.	Т.трив.
2.10	1.50	1.50	1.50	0.12	0.10	0.22	0.05	-		0.25
1.50	1.50	1.50	1.50							

## РОЗДІЛ 3. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

### 3.1 Розробка технологічної картки на влаштування монолітної плити перекриття типового поверху

Технологічна карта розроблена на виконання робіт із влаштування монолітної плити перекриття та колон типового поверху 3-поверхової торгівельної будівлі “Аполлон” у м. Запоріжжя в щитовій опалубці.

До складу робіт, передбачених технологічною картою, входить:

- монтаж опалубки плити перекриття типового поверху;
- виконання арматурних робіт;
- бетонування плити перекриття та колон;
- демонтаж опалубки після набору міцності бетону.

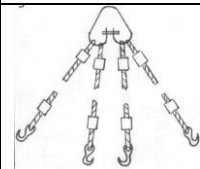
Відомість обсягів робіт та побудований календарний графік представлений у графічній частині роботи.

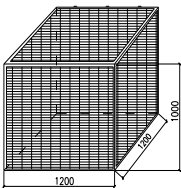
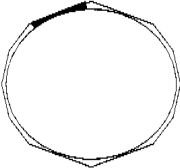
#### 3.1.1 Вибір монтажних пристроїв

Підбір монтажних пристроїв здійснюється за довідковими посібниками на основі даних про габаритні розміри та масу конструктивних елементів будівлі.

Перелік обраних типів монтажних пристроїв наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Відомість монтажних робіт

Найменування пристосувань	Ескіз	Вантажопід'їзд-смість, т	Маса, кг	Розрахункова висота, м	Призначення
1	2	3	4	5	6
Строп чотирьохгилковий		6,3	48	3	Подача щитів опалубки, бетоної суміші в бадьях

Ящик металевий		0,15	75	1,0	Подача елементів опалубки, витратних матеріалів
Універсальний строп.		2,5	5	-	Подача металевих конструкцій, арматури в пучках, пиломатеріал, переміщення опалубки перекриття

Як основний механізм для виконання монтажних-бетонних робіт приймається стріловий кран, який підбирається за такими основними параметрами:

- мінімально допустима довжина стріли;
- необхідний розрахунковий виліт гака ( $R_{\text{тр}}$ );
- необхідна висота підйому гака;
- необхідна вантажопідйомність крана.

Розрахунок параметрів для підбору крана

1) Необхідний виліт гака  $R_{\text{тр}}=a+B+c=1,0+16,0+5,0=22,0$  м

2) Мінімально необхідна висота підйому гака

Беремо:

перевищення монтажного горизонту (верх перекриття/даху) над рівнем стоянки крана:  $h_1=17,6$  м

запас за висотою:  $h_2=1,0$  м

висота стропування:  $h_3=0,5$  м

Тоді:  $H_{\text{кр}}=h_1+h_2+h_3=17,6+1,0+0,5=19,1$  м

3) Мінімально допустима довжина стріли (геометрична оцінка)

$$L_{\text{стр}}^{\text{min}}=(R_{\text{тр}}^2+H_{\text{кр}}^2)^{1/2}=29,1 \text{ м.}$$

Висновок: стріла 30 м — достатня з запасом.

4) Необхідна вантажопідйомність у заданому вильоті

Для найважчого циклу приймаємо контрольне навантаження (приклад):

- баддя  $1,0 \text{ м}^3$  з бетоном:  $\sim 2,7 \text{ т}$  (бетон  $\sim 2,4\text{--}2,5 \text{ т}$  + маса бадді  $\sim 0,25\text{--}0,30 \text{ т}$ );

- такелаж/стропи:  $\sim 0,15 \text{ т}$ .

Разом орієнтовно:  $Q_{\text{кр}} \geq 2,8\text{--}3,0 \text{ т}$  при  $R \approx 22 \text{ м}$ .

Попередньо прийнятий кран КС-8362 зі стрілою  $30 \text{ м}$  підходить:

- забезпечує геометрію  $L_{\text{стр}} \geq 29,1 \text{ м}$

- за вантажною характеристикою має забезпечити не менше  $\approx 3 \text{ т}$  на вильоті  $\sim 22 \text{ м}$

### 3.1.2 Методи виконання робіт

До початку монтажу дрібнощитової опалубки при будівництві 3-поверхової торгівельної монолітної будівлі “Аполлон” у м. Запоріжжя повинні бути виконані такі підготовчі роботи:

- проведено геодезичну розбивку осей стін та колон;
- виконано нівелювання поверхні перекриття для забезпечення рівномірного спирання елементів опалубки;
- здійснено розмітку положення стін відповідно до робочих креслень проекту;
- на поверхні перекриття нанесено фарбою ризики, що фіксують робоче положення опалубки;
- підготовлено та перевірено монтажне оснащення, інвентар, вантажозахоплювальні пристрої;
- очищено основу від сміття, пилу та залишків будівельних матеріалів.

Опалубка повинна надходити на будівельний майданчик у повному комплекті, технічно справною, готовою до монтажу без необхідності доробок чи ремонтів.

Після надходження елементи опалубки розміщують у зоні дії баштового крана для зручності подачі до місця встановлення. Всі деталі повинні зберігатися в транспортному положенні, розсортовані за марками та типорозмірами.

Зберігання здійснюється під навісом або в умовах, що унеможливають пошкодження та деформацію елементів. Щити опалубки укладають у штабелі висотою не більше 1,2 м на дерев'яних прокладках із забезпеченням стійкості штабеля.

Монтаж і демонтаж дрібнощитової опалубки виконуються вручну та з використанням баштового крана. Для переміщення щитів, балок і стійок застосовуються інвентарні стропи та допоміжні пристрої, передбачені технологічною картою.

Дрібнощитова опалубка складається з основних щитів із водостійкої фанери розміром 2500×1250 мм, додаткових щитів, несучих балок, телескопічних стійок, замкових і з'єднувальних елементів.

Монтаж опалубки балок та плит перекриття здійснюється у такій послідовності:

Щити днища балки укладають на оголовки телескопічних стійок або на інвентарні ліси, попередньо встановлені та вирівняні по висоті.

Після цього монтують бокові щити опалубки та фіксують їх за допомогою спеціальних замків і розпірок.

Перевіряють геометричні параметри опалубки, вертикальність та горизонтальність поверхонь.

Після завершення монтажу виконується контроль надійності кріплень і готовності опалубки до армування та бетонування.

Монтаж опалубки при будівництві 3-поверхової торгівельної монолітної будівлі "Аполлон" у м. Запоріжжя слід виконувати відповідно до вимог ДБН В.2.6-160:2010 "Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення", ДСТУ-Н Б В.2.6-212:2016 "Настанова з

виконання бетонних і залізобетонних робіт” та ДБН А.3.2-2-2009 “Охорона праці і промислова безпека в будівництві”.

Монтаж опалубки починають із розміщення напрямних телескопічних стійок, які вирівнюють за допомогою нівеліра або лазерного рівня. На оголовки стійок укладають основні несучі балки, що сприймають навантаження від другорядних балок і щитів опалубки.

Відстань між основними балками приймається 1,5–1,8 м, між другорядними — 1,5 м, що забезпечує жорсткість та рівномірне спирання палуби.

Після встановлення балок по другорядних елементах укладають щитову палубу опалубки, забезпечуючи максимально ефективне використання стандартних щитів розміром 2500×1250 мм.

Проміжки між щитами заповнюють додатковими елементами, а щілини — смугами з плоского шиферу або монтажною піною для герметизації.

Для забезпечення стійкості конструкції балки розкріплюють дерев'яними клинами. Після укладання палуби під основні балки встановлюють додаткові стояки — не менше двох на проліт. Після завершення монтажу опалубку обов'язково перевіряють лазерним нівеліром на горизонтальність та правильність положення.

Стан опалубки контролюється безперервно під час бетонування. У випадку появи деформацій, прогинів або розкриття швів необхідно негайно посилити конструкцію додатковими кріпленнями та виправити дефектні місця.

Демонтаж опалубки дозволяється проводити після досягнення бетоном розрахункової міцності, визначеної проектом (зазвичай не менше 70 % від марочної).

Зняття щитів здійснюють вручну за допомогою спеціальних гаків, не допускаючи пошкодження бетонної поверхні. Використання кранів для відриву щитів заборонено згідно з вимогами ДБН В.2.6-98:2009.

Після демонтажу опалубки необхідно:

- виконати візуальний огляд елементів;

- очистити поверхні від залишків бетону;
- змастити палуби та перевірити гвинтові з'єднання;
- провести сортування елементів за марками та типорозмірами.

Арматурні роботи виконують відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.6-2:2009 “Бетонні та залізобетонні конструкції. Вимоги до арматурних виробів” та ДБН В.2.6-160:2010.

Перед початком монтажу арматури необхідно:

- перевірити відповідність опалубки проектним розмірам і якість її встановлення;
- оформити акт приймання опалубки (згідно з ДСТУ-Н Б А.3.1-5:2013);
- підготувати такелажне оснащення, інструмент та зварювальне обладнання;
- очистити арматуру від іржі, мастил та бруду;
- закрити отвори у перекриттях тимчасовими щитами або огороженнями.

Арматуру, що надходить на майданчик, розміщують на стелажах, розсортовану за марками, діаметрами та довжинами. Сітки зберігають у рулонах у вертикальному положенні, а каркаси — у штабелях висотою не більше 1,5 м. Подача здійснюється баштовим краном, встановлення — вручну.

Після розмітки положення арматури на палубі виконують монтаж згідно з проектом розділу КЖ.

Перетини арматурних стрижнів з'єднують в'язальним дротом у шаховому порядку.

Стики арматури розташовують у розбіг на 1,2–1,5 м з перекриттям не менше 0,5 м, а для забезпечення захисного шару бетону встановлюють фіксатори з кроком 0,8–1,0 м.

Після монтажу арматури проводиться її приймання комісією з оформленням акта на приховані роботи.

Контролюють відповідність діаметра, кількості, кроку та положення стрижнів проєктним даним, а також якість стиків та вузлів.

Бетонні роботи виконують згідно з вимогами ДБН В.2.6-160:2010, ДСТУ Б В.2.7-43:2006 “Суміші бетонні. Загальні технічні умови” та ДСТУ-Н Б В.2.6-212:2016.

Перед укладанням бетонної суміші необхідно:

- перевірити правильність установки опалубки та арматури;
- усунути дефекти та щілини в опалубці;
- перевірити наявність фіксаторів захисного шару бетону;
- прийняти акти на приховані роботи;
- очистити опалубку й арматуру від сміття та пилу;
- перевірити справність механізмів, вібраторів, насосів та інструментів.

Бетонну суміш доставляють автобетонозмішувачами, подають стаціонарним бетононасосом.

Укладання та ущільнення проводять глибинними вібраторами з кроком перестановки не більше 1,5 радіуса дії. Торкання вібратора до арматури не допускається.

Вібрування припиняють після появи цементного молока на поверхні бетону.

Під час бетонування необхідно уникати заповнення форми з країв, щоб не допустити зсуву або перекидання опалубки.

Догляд за бетоном здійснюється шляхом підтримання вологості та температури відповідно до вимог ДБН В.2.6-98:2009.

Ходіння по бетону та встановлення опалубки допускається лише після досягнення міцності не менше 15 кгс/см<sup>2</sup> (1,5 МПа).

Контроль якості бетонних і арматурних робіт здійснюють відповідно до ДСТУ Б А.3.1-5:2016 “Організація будівельного виробництва. Контроль якості виконання будівельних робіт”.

На об'єкті ведеться журнал бетонних робіт. Під час приймання конструкцій визначають:

- міцність, морозостійкість і водонепроникність бетону (за потреби);
- якість поверхні конструкцій;
- відповідність проектним розмірам, положенню отворів і закладних деталей;
- правильність виконання деформаційних швів.

Під час виконання робіт зі встановлення опалубки, укладання бетонної суміші, демонтажу опалубки та інших операцій, пов'язаних із зведенням монолітних залізобетонних конструкцій у процесі будівництва 3-поверхової торгівельної монолітної будівлі “Аполлон” у м. Запоріжжя, необхідно забезпечити безпеку працівників від небезпеки, що виникає внаслідок тимчасової нестійкості елементів споруди, опалубки та підтримуючих конструкцій.

Усі роботи повинні виконуватися кваліфікованими працівниками, допущеними до будівельно-монтажних робіт у встановленому порядку. Вони мають пройти відповідний інструктаж і перевірку знань з питань охорони праці. Виконання робіт здійснюється під керівництвом та постійним наглядом відповідального виробника робіт, який контролює дотримання технологічних вимог і правил безпеки.

На опалубці забороняється розміщувати обладнання, інструменти та матеріали, не передбачені проектом виконання робіт, а також перебування осіб, які безпосередньо не беруть участі у процесі монтажу або бетонування. Такі вимоги відповідають положенням ДБН А.3.2-2-2009 “Охорона праці і промислова безпека в будівництві”, ДСТУ EN 13374:2017 “Тимчасові огороження. Вимоги до експлуатації та випробувань” та Правил охорони праці під час виконання будівельно-монтажних робіт (НПАОП 45.2-7.02-12).

Безпека виконання робіт забезпечується правильним вибором технологічного оснащення, підготовкою робочих місць, застосуванням засобів індивідуального та колективного захисту працівників. Особливу увагу

необхідно приділяти стійкості опалубки, підтримуючих елементів і риштувань, а також організації робочих місць для уникнення падіння з висоти чи падіння предметів.

Під час монтажу елементів опалубки, що переміщуються краном, слід запобігати їх розгойдуванню за допомогою гнучких відтяжок. Не допускається одночасне виконання робіт на кількох ярусах по одній вертикалі без улаштування захисних настилів або навісів. При переміщенні краном вантажів відстань між зовнішніми габаритами вантажу та конструкціями має становити не менше одного метра по горизонталі і не менше пів метра по вертикалі.

Усі отвори в перекриттях повинні бути закриті щитами або огорожені на висоту не менше одного метра. Робочі настили для бетонування мають бути обладнані поручнями висотою не менше 1,1 м, проміжною горизонтальною дошкою та бортовою дошкою. Поверхня настилів повинна регулярно очищатися від залишків бетону та сміття.

Монтаж щитів або панелей опалубки за допомогою крана необхідно виконувати обережно, забезпечуючи надійне закріплення елементів. Відчіплювати опалубні секції від стропа дозволяється лише після їх встановлення на дерев'яні прокладки або у проектне положення та закріплення до перекриття. Забороняється перебування працівників під піднятим вантажем чи в зоні його можливого падіння.

Перед початком робіт необхідно розробити та затвердити інструкцію з охорони праці, провести цільовий інструктаж і забезпечити робітників засобами індивідуального захисту — касками, запобіжними поясами, спецвзуттям та рукавицями. Робочі місця повинні бути добре освітлені відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018 “Природне і штучне освітлення”. У зимовий період слід передбачити заходи з обігріву бетону та запобігання обмерзанню опалубки згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-212:2016.

Дотримання зазначених вимог охорони праці та техніки безпеки при виконанні монолітних робіт на об'єкті “Аполлон” забезпечує безпечні умови

праці, попереджує виникнення аварійних ситуацій і травматизму, а також гарантує збереження цілісності конструкцій під час будівництва.

### 3.1.3 Розрахунок потреби в будівельних матеріалах

Підрахунок матеріалів був виконаний на основі автоматичного підрахунку у програмі САПФІР на базі сформованого каркасу будівлі.



Рисунок 3.1 – Каркас будівлі у ПК САПФІР

Таблиця 3.1 – Відомість матеріалів

Матеріал	Площа, м <sup>2</sup>	Об'єм, м <sup>3</sup>	Маса, т
Підвальний поверх			
Залізобетон колон	272.16	36.288	90.72
Залізобетон стін	915,26	262.176	655.44
Залізобетон ф плит	988.68	593.208	1483.02
Залізобетон плит	720.13	137.066	342.665
Залізобетон балок	208.8	20.88	52.2
1-й поверх			
Залізобетон колон	272.16	36.288	90.72

Залізобетон стін	480,254	142.58	356.451
Залізобетон плит	709.33	134.906	337.265
Залізобетон балок	208.8	20.88	52.2
2-й поверх			
Залізобетон колон	272.16	36.288	90.72
Залізобетон стін	500.575	148,676	371.691
Залізобетон плит	709.33	134.906	337.265
Залізобетон балок	208.8	20.88	52.2
3-й поверх			
Залізобетон колон	380.64	50.752	126.88
Залізобетон стін	500.575	148.676	371.691
Залізобетон плит	780.93	149.226	373.065
Залізобетон балок	208.8	20.88	52.2
Рівень покрівлі			
Залізобетон стін	297.52	86.881	217.204
Залізобетон плит	8.19	1.638	4.095

### **3.1.4 Розрахунок потреби у воді для потреб будівництва та визначення діаметра труб тимчасового водопроводу**

Постійні та тимчасові мережі водопостачання на будівельному майданчику призначені для забезпечення виробничих, господарсько-побутових і протипожежних потреб у процесі спорудження 3-поверхової торгівельної монолітної будівлі “Аполлон” у м. Запоріжжя. Водопостачання є необхідною складовою інженерного забезпечення будівництва, оскільки воно гарантує безперебійну роботу технологічного обладнання, виконання бетонних, штукатурних та інших “мокрих” процесів, а також належні санітарно-побутові умови для працівників.

Параметри тимчасових мереж водопостачання визначаються у певній послідовності, що передбачає: розрахунок загальної потреби у воді, вибір джерел водопостачання, розроблення принципової схеми розташування водопровідних мереж і розрахунок діаметрів трубопроводів. Для розрахунків і

проектування тимчасових систем водопостачання слід керуватися вимогами ДБН В.2.5-74:2013 “Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди”, ДБН А.3.2-2-2009 “Охорона праці і промислова безпека в будівництві”, а також ДСТУ-Н Б В.2.5-32:2011 “Настанова з проектування внутрішнього водопроводу”.

Загальна потреба у воді для будівельного майданчика визначається як сума витрат на виробничі, господарсько-побутові та протипожежні потреби. Ця витрата приймається як розрахунковий показник для визначення пропускної здатності тимчасових водопровідних ліній. Розрахунки виконуються з урахуванням добової та годинної нерівномірності споживання води, кількості працюючих у найнапруженішу зміну, технологічного графіка бетонування та інших робіт, що потребують використання води.

Витрата води на виробничі потреби визначається на підставі календарного плану виконання робіт, норм витрати води на конкретні технологічні процеси та кількості споживачів у найбільш завантажений період. При цьому враховуються коефіцієнти годинної нерівномірності та неврахованих втрат води. Для встановлення максимальної витрати води на виробничі потреби складається графік водоспоживання в різні періоди зведення споруди, що дозволяє визначити пікове навантаження на систему водопостачання.

Витрата води на господарсько-побутові потреби включає споживання води для пиття, миття, прибирання, а також для користування душовими установками. Її величина залежить від кількості працівників у зміну, тривалості користування душем і коефіцієнтів годинної нерівномірності. Як правило, для працівників будівельного майданчика приймається, що до 80% персоналу користується душем наприкінці робочої зміни.

Розрахункові дані витрати води на виробничі та господарсько-побутові потреби узагальнюються у таблиці, де наводяться максимальні та середні значення споживання для різних періодів будівництва. Ці дані використовуються для проектування тимчасової водопровідної мережі, визначення діаметрів трубопроводів і вибору джерела водопостачання, яке

може забезпечити необхідний напір та витрату води протягом усього періоду виконання будівельно-монолітних робіт.

Таким чином, правильно організована система водопостачання будівельного майданчика сприяє підвищенню ефективності виробничих процесів, дотриманню санітарно-гігієнічних вимог і забезпеченню протипожежної безпеки під час спорудження будівлі “Аполлон”.

Під час будівництва 3-поверхової торгівельної монолітної будівлі «Аполлон» у м. Запоріжжя система тимчасового водопостачання має забезпечувати три основні напрямки споживання води: виробничі, господарсько-побутові та протипожежні потреби.

Розрахунок проводився на період найбільшої інтенсивності робіт — у літні місяці, коли виконується бетонування, штукатурення, малярні роботи та догляд за залізобетонними конструкціями.

До виробничих споживачів води належать процеси приготування і укладання бетонної суміші, приготування розчину для кладки, виконання штукатурних і малярних робіт, улаштування бетонної підготовки та покрівлі, а також полив зелених насаджень і обмивання будівельного транспорту. Найбільша витрата води припадає на бетонні роботи — близько 75 000 л за зміну, що пояснюється значним обсягом приготування і укладання бетонної суміші. Інші процеси споживають у десятки разів менше: приготування розчину для кладки — близько 500 л, штукатурні роботи — менше 1 000 л, полив газонів і догляд за деревами — до 1 000 л. У результаті сумарна витрата води для виробничих потреб у піковий місяць (червень) становить близько 80 000 л за зміну, що відповідає середній витраті приблизно 5,15 л/с.

До господарсько-побутових потреб відносяться споживання води для пиття, прибирання, умивання та роботи душових установок для працівників. Розрахунки показали, що при чисельності близько 90 працівників у зміну витрата води на питні та санітарно-побутові потреби становить близько 2 200 л, а на роботу душових установок — приблизно 2 100 л. Сумарна середня витрата води для побутових потреб становить близько 1,0 л/с.

Отже, загальна розрахункова витрата води для будівельного майданчика без урахування пожежогасіння складає

$$Q = Q_{\text{вир}} + Q_{\text{поб}} = 5,15 + 1,01 = 6,16 \text{ л/с.}$$

Для подачі цієї кількості води обчислений діаметр трубопроводу становить близько 76 мм, що відповідає стандартному трубопроводу з умовним проходом Ø 80 мм за ДСТУ 8936:2019.

Додатково до розрахунків враховується витрата води на зовнішнє пожежогасіння, яка для будівлі з об'ємом до 200 тис. м<sup>3</sup> і II ступенем вогнестійкості приймається рівною 10 л/с згідно з вимогами ДБН В.2.5-74:2013 “Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди”.

З урахуванням пожежного навантаження загальна розрахункова витрата води для об'єкта становить

$$Q_{\text{заг}} = 16,16 \text{ л/с,}$$

а необхідний діаметр трубопроводу — близько 120 мм, що відповідає стандартному трубопроводу Ø 140 мм за ДСТУ 8936:2019.

Таким чином, для забезпечення всіх потреб будівництва — технологічних, санітарно-побутових та пожежних — приймається тимчасова водопровідна мережа з основною лінією діаметром 140 мм, підключеною до існуючих міських мереж або до тимчасового резервуара з насосною установкою. Така схема гарантує безперервне водопостачання будівельного майданчика протягом усього періоду зведення споруди.

### **3.1.5 Розрахунок споживання електричної енергії, підбір трансформаторного обладнання та визначення перерізу проводів для тимчасових електричних мереж будівельного майданчика.**

Під час будівництва 3-поверхової торгівельної монолітної будівлі «Аполлон» у м. Запоріжжя передбачається улаштування постійних і тимчасових мереж електропостачання. Їх призначення полягає у забезпеченні

енергією всіх споживачів будівельного майданчика — технологічного обладнання, електроінструментів, зварювальних апаратів, освітлювальних установок, побутових і допоміжних приміщень, а також зовнішнього освітлення території.

Проектування та монтаж електричних мереж здійснюються відповідно до вимог «Правил улаштування електроустановок» (ПУЕ), СНиП 3.05.06-85 “Електротехнічні пристрої”, ДБН В.2.5-23:2010 “Електрообладнання”, ДСТУ EN 50110-1:2014 “Експлуатація електроустановок” та інших чинних нормативних документів.

Параметри тимчасової електромережі визначаються послідовно:

- розраховується загальне електричне навантаження будівельного майданчика;
- вибирається джерело живлення (трансформаторна підстанція або існуючі мережі);
- розробляється схема розподілу споживачів і розташування електроустановок;
- визначається переріз проводів залежно від струмового навантаження та допустимої втрати напруги.

Основу електроспоживання становлять силові механізми і технологічне обладнання, серед яких — автобетонозмішувачі, розчинонасоси, вібратори, зварювальні апарати, лебідки та електропили. Максимальне навантаження припадає на період інтенсивних бетонних робіт у літні місяці, коли одночасно працює кілька одиниць техніки. За підсумками розрахунків сумарна встановлена потужність силових установок становить близько 205 кВт.

Додатково враховуються витрати електроенергії на внутрішнє та зовнішнє освітлення. Для внутрішніх приміщень (побутові кімнати, майстерні, склади) приймається орієнтовна потужність до 7 кВт, а для зовнішнього та охоронного освітлення території — близько 1 кВт. Таким чином, загальна освітлювальна потужність не перевищує 8 кВт.

Особливу групу споживачів становлять зварювальні апарати, які потребують підвищеної потужності. У розрахунках враховано три зварювальні трансформатори типу ТС-500 із сумарною потужністю близько 96 кВт.

З урахуванням усіх груп споживачів, коефіцієнтів попиту, потужності та втрат у мережі розрахункова загальна потреба електроенергії для будівельного майданчика становить приблизно 230–250 кВт. Для такого навантаження обрано комплектну трансформаторну підстанцію СКПТ-750 потужністю 750 кВт, що забезпечує необхідний резерв потужності, надійність живлення та можливість подальшого підключення додаткового обладнання.

Під час підбору перерізу проводів враховується сила струму в мережі, довжина ліній та допустима втрата напруги (не більше 6%). Для тимчасових повітряних ліній приймаються алюмінієві дроти мінімальним перерізом 16 мм<sup>2</sup>, що відповідає вимогам механічної міцності та електричної провідності. Нульовий провід вибирається того ж перерізу.

Напруга живлення для силових установок приймається 380/220 В, для освітлення — 220 В. Розподільчі щити обладнуються автоматичними вимикачами, захисними пристроями та заземленням згідно з вимогами ДБН В.2.5-27:2006 “Захист від блискавки і перенапруги” та ПУЕ, розділ 1.7 “Заземлення і захист від ураження електричним струмом”.

Отже, тимчасова система електропостачання будівельного майданчика будівлі «Аполлон» забезпечує надійне живлення всіх технологічних процесів, механізмів та освітлення, відповідає вимогам безпеки, має резерв потужності для пікових навантажень і гарантує стабільну роботу електрообладнання протягом усього періоду будівництва.

### **3.1.6 Визначення потреби в тепловій енергії та підбір джерел для тимчасового теплопостачання будівельного майданчика**

Для обігріву приміщень, що зводяться, а також службових, санітарно-побутових будівель і закритих складів під час будівництва 3-поверхової

торгівельної монолітної будівлі «Аполлон» у м. Запоріжжя, передбачається використання тимчасової системи теплопостачання.

Як основне джерело тепла застосовується повітрянагрівач типу МП-300, що працює на дизельному паливі. Цей агрегат призначений для автономного опалення будівель і споруд під час проведення будівельно-монтажних робіт у холодний період року. Він забезпечує рівномірний розподіл теплого повітря в приміщеннях і створює необхідний температурний режим для нормального виконання технологічних процесів, зокрема бетонування, штукатурення та оздоблення.

Повітрянагрівач МП-300 має теплопродуктивність у межах 1,26–2,1 ГДж/год і здатний ефективно обігрівати приміщення об'ємом до 15 000 м<sup>3</sup>. Це дозволяє застосовувати його як універсальний засіб тимчасового опалення для більшості виробничих і побутових будівель будівельного майданчика.

Застосування такого обладнання дає змогу забезпечити стабільну температуру в приміщеннях, попередити промерзання матеріалів та конструкцій, а також створити безпечні та комфортні умови праці для робітників у зимовий період.

### **3.2 Улаштування системи утеплення типу «мокрый фасад»**

Технологічна карта розроблена для виконання робіт із улаштування системи утеплення типу «мокрый фасад» на монолітних стінах будівлі з використанням мінераловатних плит товщиною 200 мм та армованого штукатурного шару товщиною близько 20 мм. Система призначена для забезпечення необхідного рівня теплозахисту, звукоізоляції та довговічності огорожувальних конструкцій, а також для надання фасаду привабливого зовнішнього вигляду.

Роботи виконуються згідно з вимогами чинних нормативних документів — ДБН В.2.6-33:2018 «Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією», ДСТУ Б В.2.6-36:2008 «Системи утеплення зовнішніх стін

будинків із зовнішнім штукатурним шаром», а також з урахуванням вимог охорони праці, визначених ДБН А.3.2-2-2009.

Перед початком робіт проводиться підготовка фасадної поверхні: очищення від пилу, бруду, цементного нальоту, залишків мастил і сміття, а також перевірка рівності стін і усунення дефектів. Поверхня монолітних конструкцій повинна бути міцною, сухою і придатною для нанесення клеєвих сумішей. Роботи допускається виконувати лише при температурі навколишнього повітря від +5 до +30 °С та відносній вологості не більше 80%.

Процес улаштування утеплення виконується у кілька послідовних етапів. Спочатку встановлюють стартовий профіль уздовж нижньої частини фасаду, який забезпечує опору першому ряду плит і вирівнює горизонталь. Далі проводиться приклеювання теплоізоляційних плит із мінеральної вати на фасад за допомогою клейової суміші, що наноситься по периметру та точково в центрі плити. Після затвердіння клею, не раніше ніж через дві доби, виконують механічне кріплення плит дюбелями з розрахунку не менше п'яти штук на один квадратний метр поверхні.

На утеплену поверхню наноситься базовий армувальний шар. Для цього використовується лугостійка склосітка щільністю не менше 160 г/м<sup>2</sup>, яка вкладається у свіжий шар клейової штукатурної суміші з нахлестом не менше 10 см. Загальна товщина армованого шару становить близько 20 мм. Після висихання виконується ґрунтування поверхні та нанесення декоративного фінішного покриття — структурної або мінеральної штукатурки, а за необхідності додатково фарбування.

Матеріали, що застосовуються у системі, повинні бути сумісними між собою та належати до однієї сертифікованої системи утеплення. Мінераловатні плити мають бути фасадного типу, із щільністю не менше 135 кг/м<sup>3</sup>, низькою теплопровідністю та високою паропроникністю.

Під час виконання робіт особливу увагу слід приділяти дотриманню технологічних перерв, які забезпечують повне висихання та твердіння нанесених шарів, а також контролю якості виконання. На кожному етапі

проводиться візуальна перевірка рівності, суцільності шарів, відсутності щілин і виступів між плитами. Після завершення робіт оформлюються акти прихованих робіт і результати контролю фіксуються у відповідному журналі.

Фасадні роботи виконуються з дотриманням вимог техніки безпеки. Робітники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту — касками, рукавицями, захисними поясами, спецвзуттям. Роботи на висоті дозволяється проводити лише з інвентарних риштувань або люльок, що мають технічне посвідчення та пройшли перевірку. Не допускається виконання робіт під час дощу, сильного вітру чи при температурі нижче допустимої.

У результаті виконання зазначених робіт формується енергоефективна фасадна система, що поєднує високу теплоізоляційну здатність, міцність та естетичність, забезпечуючи комфортний мікроклімат у приміщеннях і тривалий термін експлуатації огорожувальних конструкцій.

### **3.3 Будівельний генеральний план**

Під час будівництва 3-поверхової торгівельної монолітної будівлі «Аполлон» у м. Запоріжжя для забезпечення нормальних умов праці, відпочинку та побуту персоналу необхідно передбачити розміщення тимчасових службових і санітарно-побутових приміщень. Їх площі визначаються з урахуванням чисельності працівників, структури персоналу, демографічних показників і чинних нормативів, передбачених ДБН В.2.2-28:2010 “Будинки і споруди. Адміністративні та побутові будівлі”, СНиП III-4-80 “Техника безопасности в строительстве” та ДСанПіН 3.3.2.007-98 “Гігієнічні вимоги до обладнання та утримання будівель і приміщень”.

Чисельність працівників, що залучаються до будівництва, визначається за календарними планами робіт і графіками руху трудових ресурсів. У розрахунках приймається найбільш чисельна зміна, яка зазвичай є першою, з урахуванням збільшення на 5% для учнів і практикантів. Після аналізу графіків максимальна чисельність робітників на будівництві становить близько 134 осіб,

у тому числі з урахуванням усіх категорій персоналу — 108 осіб у середньому на зміну.

Структура персоналу визначається відповідно до типових показників для житлово-цивільного будівництва: робітники — 85%, інженерно-технічні працівники (ІТП) — 8%, службовці — 5%, молодший обслуговуючий персонал і охорона — 2%, учні та практиканти — до 4 осіб. Таким чином, розрахункова кількість персоналу становить:

- робітників — близько 90 осіб;
- ІТП — 7 осіб;
- службовців — 5 осіб;
- МОП і охорона — 2 особи;
- учнів і практикантів — 4 особи.

У найбільш завантажену зміну (першу) працює близько 81 особи, що становить приблизно 70% від загальної чисельності. Серед них частка жінок складає 30%, а чоловіків — 70%, що відповідає типовій структурі трудових колективів у будівельній галузі.

Виходячи з отриманих даних, визначаються потреби у службово-побутових приміщеннях:

- адміністративно-побутові приміщення (контора, кімната відпочинку, гардероб, сушарня, їдальня або буфет);
- санітарно-гігієнічні приміщення (умивальні, душові, туалети);
- службові приміщення для ІТП та охорони;
- медпункт і пункт обігріву (у холодний період року).

Площі кожного приміщення визначаються з урахуванням нормативів на одного працівника. Наприклад, для контори — 4–6 м<sup>2</sup> на особу ІТП, для роздягальні — 0,8–1,2 м<sup>2</sup> на робітника, для душової — 1 сітка на 8–10 осіб, для умивальні — 1 кран на 10 осіб, для туалету — 1 кабіна на 15 чоловіків або 10 жінок.

Такі розрахунки дозволяють забезпечити мінімально необхідні умови праці, санітарно-гігієнічні вимоги та зручність персоналу під час будівництва об'єкта. Тимчасові побутові споруди можуть бути збірно-щитового або контейнерного типу з утепленням та підведенням комунікацій, що дозволяє швидко їх монтувати, експлуатувати протягом будівництва і демонтувати після завершення робіт.

Таким чином, система тимчасових службових і побутових приміщень на будівництві будівлі «Аполлон» забезпечує комфортні умови для працівників, сприяє підвищенню продуктивності праці та відповідає вимогам чинних нормативів щодо охорони праці та гігієни виробництва.

### 3.2 - Склад тимчасових будівель та споруд

Найменування будівель та споруд	Розрахункова чисельність персоналу		Норма на 1 чол		Розрахункова потреба у м <sup>2</sup>	розміри, м, площа, м <sup>2</sup>
	Усього	% одночасно . використання	Од. змін.	Кількість		
<b>1. Об'єкти службового призначення</b>						
Контора начальника дільниці	12	50	м <sup>2</sup>	4	24	3*9, 27
Будівля для проведення технічного навчання	81	100	м <sup>2</sup>	0,2	16,2	3*6, 18
Будівля для проведення занять з ТВ	81	100	м <sup>2</sup>	0,2	60,75	18x3, 54
<b>2. Об'єкти санітарно-побутового призначення</b>						
Вбиральня (дружин/чоловік)	81	30/70	м <sup>2</sup>	0,3	17,5/ 39,2	18*3 54
Будівля для відпочинку та обігріву робітників	81	100	м <sup>2</sup>	0,8	88	18x3 – 2 112
Душова (дружин/чоловік)	81	30/70	м <sup>2</sup>	0,43	10,75/ 24,08	3*9 – 2 54
Умивальна (дружин/чоловік)	81	30/70	м <sup>2</sup>	0,02	0,5/ 1,12	3*6, 18
Сушарка для одягу та взуття	81	100	м <sup>2</sup>	0,1	8,1	
Вбиральня (дружин/чоловік)	81	30/70	м <sup>2</sup>	0,07	1,75/ ,92	
Роздавальна	81	75	м <sup>2</sup>	0,6	33,6	3*12, 36
<b>3. Об'єкти різного призначення</b>						
Майстерні спеціалізовані			м <sup>2</sup>		173	3*6 – 10 180

На стадії розроблення проекту виконання робіт (ПВР) для будівництва 3-поверхової торгівельної монолітної будівлі «Аполлон» у м. Запоріжжя передбачається організація приоб'єктних складів для тимчасового зберігання будівельних матеріалів, напівфабрикатів, деталей, конструкцій та обладнання. Наявність таких складів забезпечує безперервність будівельного процесу,

зменшує простої механізмів і гарантує раціональне використання матеріальних ресурсів.

Розміри та площа кожного виду складу визначаються на підставі обсягів матеріалів, що надходять на об'єкт, тривалості їх зберігання, способу постачання та норм запасу. При розрахунках ураховуються коефіцієнти нерівномірності надходження і споживання матеріалів, а також коефіцієнт використання складських площ, який враховує наявність проходів, проїздів і допоміжних зон.

Для більшості матеріалів норма запасу приймається в межах кількох днів або однієї зміни, залежно від ритмічності постачання. Якщо певний матеріал витрачається швидше, ніж за встановлений термін зберігання, площу складу визначають виходячи з потреби у зберіганні всього обсягу одночасно.

На основі графіка надходження та використання будівельних матеріалів визначаються максимальні значення площ складів, що одночасно використовуються в період пікового навантаження. Для розміщення на будівельному генеральному плані приймається найбільша розрахункова площа кожного виду складу.

У результаті розрахунків встановлено, що для потреб будівництва передбачається розміщення кількох типів складських приміщень:

- закриті склади — для зберігання матеріалів, що потребують захисту від атмосферних впливів (цемент, фарби, електрообладнання);

- закриті опалювані склади — для зберігання матеріалів, чутливих до температури (лаки, мастики, полімерні вироби);

- відкриті склади — для важких і великогабаритних елементів (арматура, збірні залізобетонні вироби);

- склади під навісом — для дерев'яних матеріалів, металопрокату та конструкцій, що потребують захисту від опадів, але допускають зберігання при коливаннях температури.

За підсумковими даними площі, необхідні для зберігання матеріалів, складають орієнтовно:

- закриті склади — близько 36 м<sup>2</sup>;
- закриті опалювані склади — близько 39 м<sup>2</sup>;
- відкриті склади — близько 60 м<sup>2</sup>;
- склади під навісом — близько 35 м<sup>2</sup>.

Таке співвідношення дозволяє забезпечити оптимальні умови зберігання різних типів матеріалів, скоротити транспортні витрати на їх доставку до місця використання та підвищити ефективність організації будівельного процесу. Розміщення складів на генеральному плані об'єкта здійснюється у зоні дії баштового крана, з урахуванням зручності під'їзду автотранспорту, безпеки руху та мінімізації внутрішньомайданчикових перевезень.

До початку будівництва 3-поверхової торгівельної монолітної будівлі «Аполлон» у м. Запоріжжя повинні бути виконані підготовчі заходи, які створюють умови для подальшого зведення об'єкта та організації безперервного будівельного процесу.

Передусім здійснюється створення і закріплення опорної геодезичної мережі, що забезпечує точність розбивочних робіт та контроль положення конструкцій під час будівництва. Ця мережа є базою для всіх подальших вимірювань і виконується спеціалізованими геодезичними організаціями під контролем замовника.

Далі проводиться встановлення тимчасових адміністративно-побутових і складських споруд — це пересувні або збірно-щиткові будівлі для розміщення контори, побутових приміщень, роздягалень, душових, складів і майданчиків для зберігання матеріалів та конструкцій. Їх розміщують у межах будівельного майданчика з урахуванням вимог пожежної безпеки, санітарних норм та зручності користування.

На підготовчому етапі також прокладаються тимчасові інженерні мережі — водопровід, електропостачання, тепlopостачання, дренажні системи. Вони необхідні для забезпечення потреб будівельного виробництва, роботи

механізмів і створення побутових умов для працівників. Одночасно здійснюються заходи з протипожежного захисту: встановлюються вогнегасники, резервуари з водою, обладнуються пожежні гідранти та під'їзди для пожежної техніки.

Після завершення підготовчих заходів виконуються роботи нульового циклу, які включають:

Планування будівельного майданчика — вирівнювання території, розчищення від рослинності, влаштування дренажів.

Улаштування тимчасових підкранових колій або доріг для забезпечення роботи баштового чи стрілового крана.

Влаштування фундаментів під основні конструкції будівлі відповідно до проектної документації.

Монтаж підземної частини будівлі — стін, колон, плит перекриття підвальних приміщень.

Під час роботи будівельних машин поблизу котлованів дотримуються вимоги безпеки, встановлені нормами. Зокрема, відстань від подошви укусу до найближчої опори машини має бути не меншою ніж 3,25 м, що запобігає зсувам ґрунту. Зворотне засипання котлованів проводиться бульдозером, а у важкодоступних місцях — вручну.

Монтаж конструкцій здійснюється з використанням стрілового крана КС-8362, який забезпечує підйом і переміщення елементів будівлі з урахуванням їх ваги та геометрії. На основі розрахованих обсягів робіт і прийнятої технологічної схеми зведення складається мережевий графік, що відображає послідовність і тривалість усіх процесів.

Мережевий графік поділяє будівництво на основні етапи:

- підготовчий період;
- зведення підземної частини;
- зведення надземної частини.

Для кожного етапу визначається трудомісткість, кількість виконавців і терміни. Розраховується також коефіцієнт нерівномірності руху робочих, що

показує співвідношення середньої кількості робітників за добу до максимальної. За результатами розрахунків середня чисельність працівників на об'єкті становить близько 60 осіб на добу, при максимальному навантаженні — 90–100 осіб. Загальна трудомісткість усіх робіт — близько 10,5 тис. люд.-годин, а загальна тривалість будівництва за критичним шляхом — 170 днів.

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ В БУДІВНИЦТВІ

### 4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів на будівельному майданчику.

Під час виконання будівельно-монтажних робіт на об'єкті працівники постійно перебувають під впливом шкідливих і небезпечних виробничих факторів, що можуть негативно позначатися на їхньому здоров'ї, працездатності та безпеці. Такі фактори поділяються на дві основні групи — шкідливі, які здатні спричиняти захворювання або погіршення самопочуття, та небезпечні, що можуть призвести до травмування або летальних випадків.

До шкідливих виробничих факторів належать несприятливі мікрокліматичні умови, підвищений рівень шуму та вібрації, запиленість повітря, неправильне освітлення, надмірні фізичні навантаження та психоемоційна напруга. Невідповідна температура або вологість повітря, опади чи протяги можуть викликати застудні захворювання, зниження імунітету та втрату концентрації уваги. Недостатнє або нерівномірне освітлення призводить до перевтоми очей, головного болю, погіршення зору та підвищення ризику нещасних випадків.

Постійний шум від роботи механізмів — бетонозмішувачів, вібраторів, компресорів, насосів — негативно впливає на нервову систему та слух, викликаючи дратівливість, стомлення та розлади сну. Вібрація, що передається через інструменти та обладнання, порушує роботу судин, нервової системи й опорно-рухового апарату, спричиняючи головний біль і зниження працездатності. Пил, який утворюється під час земляних, бетонних та оздоблювальних робіт, може викликати алергічні реакції, захворювання органів дихання, подразнення очей і шкіри. Надмірні фізичні навантаження, тривала статична робота або одноманітність дій також призводять до перевтоми, зниження концентрації уваги і підвищення ризику травматизму.

До небезпечних факторів належать умови, що безпосередньо можуть призвести до травм. Це — падіння з висоти, обвалення матеріалів або конструкцій, ураження електричним струмом, контакт із гарячими або охолодженими поверхнями, рухомими частинами машин і механізмів. Найбільш небезпечними зонами на будівельному майданчику є ділянки роботи підйомних механізмів, місця монтажу конструкцій, проходи між рухомими машинами та кранами. При виконанні робіт у таких умовах необхідно суворо дотримуватися вимог проєктної документації, технологічних карт і заходів безпеки.

До початку робіт усі працівники проходять вступний інструктаж з охорони праці, під час якого ознайомлюються з правилами поведінки на майданчику, умовами праці, небезпечними зонами, вимогами техніки безпеки, електробезпеки, пожежного захисту та надання першої допомоги. Виробничий інструктаж на робочому місці проводиться безпосереднім керівником робіт перед початком нового виду діяльності, а повторний — не рідше одного разу на три місяці.

Під час монтажу конструкцій і роботи кранів забезпечується перевірка технічного стану елементів, правильність стропування вантажів, стійкість риштувань та огорожень. Під час підйому вантажів краном заборонено перебування людей під стрілою або вантажем, а сам вантаж не залишають на гаку під час перерви. Рухомі частини машин повинні мати захисні кожухи або знімні огороження.

Особливу увагу приділяють безпеці робіт на висоті. При виконанні робіт вище 1,8 м працівники зобов'язані користуватись страхувальними поясами, запобіжними прив'язями або кріпленням до анкерних ліній. Робочі настили, риштування та люльки мають бути перевірені, надійно закріплені та обладнані поручнями висотою не менше 1,1 м. Для запобігання падінню предметів з висоти встановлюються захисні сітки або настили.

Електробезпека забезпечується шляхом заземлення, занулення, використання захисних вимикачів, ізоляції струмоведучих частин,

попереджувальних знаків і відповідних засобів індивідуального захисту — діелектричних рукавиць, калош, інструменту з ізольованими ручками.

Для захисту від шкідливих виробничих факторів застосовуються спеціальні заходи:

- від шуму — використання навушників або протишумних вкладишів, встановлення глушників на обладнанні;
- від вібрації — застосування віброзахисного спецодягу, віброізоляції основ механізмів і ручного інструменту;
- від пилу — використання респіраторів, захисних окулярів, своєчасне прибирання та зволоження робочих місць;
- для забезпечення нормального мікроклімату — організація обігріву або вентиляції, облаштування навісів, провітрювання побутових приміщень.

Роботи повинні виконуватися за графіком із передбаченими перервами на відпочинок, щоб уникнути перевтоми працівників. Під час організації робочих місць необхідно враховувати ергономічні вимоги — зручність положення тіла, правильне розташування інструментів і матеріалів.

Дотримання цих вимог охорони праці, техніки безпеки та виробничої гігієни є обов'язковою умовою для всіх учасників будівельного процесу. Вони гарантують зниження рівня травматизму, збереження здоров'я працівників і забезпечують безперебійну роботу будівництва.

## **4.2 Техніка безпеки при проведенні опалубних робіт**

Роботи з монтажу та демонтажу опалубки на будівельному майданчику проводяться з дотриманням вимог чинних нормативних документів, зокрема ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека в будівництві», а також технологічних карт і проекту виконання робіт. Усі операції виконуються під керівництвом відповідальної особи — майстра або виконроба, який контролює технічний стан опалубки, риштувань, механізмів і безпечну організацію праці.

Перед початком монтажу опалубку необхідно попередньо оглянути та перевірити на спеціально обладнаному майданчику. Огляд включає перевірку цілісності щитів, замків, кріплень і несучих елементів. До встановлення допускаються лише справні елементи без деформацій, тріщин або слідів корозії.

Під час монтажу забороняється скупчення людей на риштуваннях, настилах або самій опалубці. Одночасне виконання робіт на кількох ярусах по одній вертикалі дозволяється лише за наявності міжповерхових перекриттів, які забезпечують надійний захист від падіння предметів.

Установлення розбірно-переставної опалубки на висоті понад 1,5 м проводиться з інвентарних риштувань або помостів, обладнаних настилом і поручнями висотою не менше 1,1 м. Якщо роботи виконуються без риштувань, працівники повинні користуватись запобіжними поясами із карабінами, які надійно кріпляться до спеціально передбачених точок анкерування.

Перед початком кожної зміни майстер проводить огляд технічного стану риштувань і огорожень, перевіряє з'єднання, стійкість і правильність встановлення всіх елементів. Виявлені несправності усуваються до початку робіт.

Монтаж великих елементів опалубки, таких як Г- чи П-подібні секції, виконується за допомогою крана лише за умови, що вони утворюють стійку просторову систему. Під час підйому опалубні секції мають бути правильно строповані, щоб запобігти розгойдуванню або перекиданню елементів.

Розбирання опалубки здійснюється лише після того, як бетон набере проєктну міцність. Перед демонтажем перевіряють фактичну міцність бетону, відсутність тріщин і ослаблень конструкції, що можуть призвести до її деформації або обвалення. Особливо обережно виконуються роботи із зняття опалубки несучих конструкцій — колон, балок і перекриттів.

Під час демонтажу необхідно запобігати падінню елементів. Елементи зовнішніх стін перед початком зняття обов'язково стропуються. При

розбиранні об'ємно-переставної опалубки слід дотримуватися послідовності: після демонтажу однієї П-подібної секції встановлюються підпирні стійки, що забезпечують підтримку перекриття, і лише потім дозволяється знімати наступну секцію.

Готування та нанесення змашувальних матеріалів на поверхню опалубки виконується у спеціально відведеному місці з використанням засобів індивідуального захисту — спецодягу, рукавиць і захисних окулярів. Забороняється використовувати легкозайmistі або токсичні речовини без вентиляції чи погодження з технічною службою.

Роботи на висоті слід припиняти під час грози, сильного дощу, ожеледиці або при швидкості вітру понад 10–12 м/с (близько 6 балів). У цей період заборонено виконання монтажних і підйомних операцій, а також перебування працівників у зоні можливого падіння предметів.

Усі працівники, що беруть участь у встановленні або розбиранні опалубки, повинні пройти інструктаж з охорони праці, знати безпечні методи виконання робіт, правила користування інструментом, кранами та пристосуваннями. Дотримання цих вимог гарантує безпечне проведення опалубних робіт, запобігає травматизму та пошкодженню конструкцій під час зведення монолітних елементів будівлі.

### **4.3 Техніка безпеки при виробництві арматурних робіт**

На будівельному майданчику під час виконання робіт працівники перебувають під впливом різноманітних шкідливих і небезпечних виробничих факторів, які можуть призводити до зниження працездатності, розвитку професійних захворювань або травм. Для запобігання цим ризикам передбачено комплекс організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на створення безпечних умов праці.

До шкідливих факторів відносяться мікрокліматичні умови, рівень освітлення, шум, вібрація, запиленість повітря, фізичні навантаження та

психоемоційна напруга. Несприятливий мікроклімат — це надмірно висока або низька температура, підвищена вологість або сильний вітер, що можуть викликати простудні захворювання, перегрівання чи переохолодження організму. Недостатнє або неправильно організоване освітлення призводить до втоми, погіршення зору, неуважності та підвищення ризику нещасних випадків.

Шум, який створюють бетонозмішувачі, компресори, вібратори та інше обладнання, негативно впливає на нервову систему, спричиняючи стомлення, дратівливість і порушення сну. Вібрація, що передається через інструменти або машини, порушує роботу серцево-судинної та нервової систем, може спричинити втрату чутливості пальців, запаморочення та головний біль. Пил, що утворюється під час земляних, бетонних або оздоблювальних робіт, викликає алергічні реакції, захворювання дихальних шляхів, подразнення очей і шкіри.

Надмірні фізичні навантаження, тривала робота без відпочинку або монотонність дій призводять до швидкої втоми, що знижує увагу та збільшує ризик помилок. Для зменшення впливу цих факторів необхідно організовувати роботу за змінним графіком, передбачати короткі перерви та чергування видів діяльності.

До небезпечних факторів належать механічні дії рухомих предметів, машин і вантажів, падіння з висоти, обвалення матеріалів, ураження електричним струмом, опіки або переохолодження. Найбільшу небезпеку становлять ділянки монтажу конструкцій, робочі зони кранів, місця переміщення машин та матеріалів. Під час виконання робіт у таких зонах обов'язкове огороження, позначення попереджувальними знаками та суворе дотримання технологічної послідовності операцій.

Роботи на висоті понад 1,8 м дозволяється виконувати лише з використанням засобів захисту від падіння — страхувальних поясів, прив'язей, строп із карабінами, захисних поручнів або сіток безпеки. Робочі настили та риштування повинні бути обладнані огороженням висотою не менше 1,1 м і

перевірятись перед початком кожної зміни. Використання несправних конструкцій або тимчасових підмостків забороняється.

Роботи з установаження та демонтажу опалубки виконуються згідно з вимогами ДБН А.3.2-2-2009. Перед монтажем усі елементи опалубки перевіряються на міцність і справність. Монтаж допускається тільки зі справних риштувань або помостів, обладнаних поручнями. Скупчення людей на перекриттях або опалубці неприпустиме. Використання кранів для встановлення великих щитів або секцій допускається лише у випадку, коли вони утворюють стійку систему.

Демонтаж опалубки проводиться після досягнення бетоном проектної міцності з обов'язковою перевіркою на відсутність тріщин і пошкоджень. Елементи зовнішніх стін перед зняттям необхідно стропувати. При демонтажі об'ємно-переставної опалубки слід суворо дотримуватися черговості зняття секцій, а після демонтажу першої частини встановлювати підпирні стійки перекриттів. Роботи на висоті припиняють під час грози або вітру понад 6 балів.

Заходи електробезпеки передбачають заземлення, ізоляцію струмоведучих частин, застосування захисного відключення, використання діелектричних рукавиць і взуття, а також блокування небезпечних зон і встановлення попереджувальних знаків. Всі електроприлади повинні бути технічно справними, а роботи з їх обслуговування мають виконуватися тільки спеціально навченим персоналом.

Захист від шуму та вібрації забезпечується застосуванням малошумного обладнання, глушників, кожухів, віброізоляційних прокладок, спеціального віброзахисного взуття й рукавиць. Для роботи в умовах підвищеної запиленості працівники використовують респіратори, захисні окуляри, спецодяг та регулярно проводять вологе прибирання або зрошення робочих зон.

Оптимальний мікроклімат досягається за рахунок облаштування навісів, вентиляції, теплових гармат або охолоджувальних пристроїв, а також регулювання режиму праці залежно від погодних умов.

Дотримання вимог з охорони праці, техніки безпеки та санітарних норм на будівельному майданчику є обов'язковою умовою для всіх учасників робіт. Систематичний контроль за технічним станом обладнання, своєчасне проведення інструктажів і використання засобів індивідуального захисту дозволяють мінімізувати ризики травматизму, професійних захворювань і забезпечити безпечні умови праці на всіх етапах будівництва.

#### **4.4 Узагальнений розрахунок несучої здатності монолітної колони під дією температури 200 °С**

Колона прямокутного перерізу розмірами 0,8×0,4 м і висотою 4,2 м, виконана з монолітного бетону класу С30/35 з арматурою класу В500, працює переважно в умовах центрального стискання. Для такого типу елементів прийнято, що об'єм армування становить приблизно 1,5% від площі поперечного перерізу, що забезпечує достатню міцність і стійкість конструкції при експлуатації.

У звичайних умовах, при температурі навколишнього середовища до 20 °С, бетон класу С30/35 має розрахункову міцність на стиск близько 20 МПа, а арматура класу В500 — близько 435 МПа. У сумі несуча здатність такої колони становить орієнтовно 8,4 МН, що відповідає 8400 кН. Основний внесок у цю величину дає бетонна складова, а арматура забезпечує додаткову роботу при позацентровому стисканні, зменшенні тріщиноутворення та загальному підвищенні надійності елемента.

Під час нагрівання конструкції до температури близько 200 °С, наприклад, у разі локальної дії вогню або технологічного нагріву, фізико-механічні властивості матеріалів змінюються. Бетон поступово втрачає частину своєї міцності через випаровування вологи, розширення пор і мікротріщин, які знижують його модуль пружності та опір стиску. За даними досліджень і нормативів (Eurocode EN 1992-1-2), при температурі 200 °С бетон зберігає приблизно 90–95% своєї міцності.

Основна формула для визначення несучої здатності колони при центральному стисканні має вигляд:

$$N_{Rd} = A_c \cdot f_{cd, \theta} + A_s \cdot f_{yd, \theta} \quad (4.1)$$

де:

- $N_{Rd}$  — розрахункова несуча здатність колони, кН;
- $A_c$  — площа бетонного перерізу, м<sup>2</sup>;
- $f_{cd, \theta}$  — розрахункова міцність бетону на стиск при температурі  $\theta$ , МПа;
- $A_s$  — площа робочої арматури, м<sup>2</sup>;
- $f_{yd, \theta}$  — розрахункова межа текучості арматури при температурі  $\theta$ , МПа.

Арматура при такій температурі ще не зазнає суттєвих структурних змін, тому її розрахункова міцність практично не знижується. Захисний шар бетону товщиною 20 мм відіграє важливу роль — він створює тепловий бар'єр, завдяки якому температура в арматурі залишається нижчою за температуру нагріву зовнішньої поверхні бетону, що додатково зменшує ризик втрати міцності сталевих елементів.

У результаті нагрівання до 200 °С несуча здатність колони знижується незначно — приблизно на 4–5% від початкового значення. Якщо в звичайних умовах вона становила близько 8,4 МН, то при нагріванні цей показник зменшується до приблизно 8,1 МН. Зниження пояснюється переважно деградацією бетону, тоді як арматура продовжує працювати практично без змін.

Таким чином, при короткочасному впливі температури до 200 °С колона зберігає майже повну несучу здатність і залишається працездатною. Проте для довготривалих температурних впливів або більш високих температур (понад 300–400 °С) втрати міцності зростають істотно, і конструкція потребує перевірки на вогнестійкість.

У практичних умовах під час розрахунку колони також враховують додаткові чинники — позacentровість навантаження, можливе зниження жорсткості через тріщини та вплив повторних температурних циклів. Для

забезпечення надійності споруди рекомендується виконати додаткову перевірку стійкості колони та фактичного температурного поля по перерізу.

Загалом, колона з бетону С30/35 із захисним шаром 20 мм при нагріванні до 200 °С зберігає свою функціональність і може вважатися безпечною для подальшої експлуатації після охолодження, за умови відсутності видимих пошкоджень або тріщин у бетоні.

## РОЗДІЛ 5. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ

### 5.1 Аналіз засобів підвищення міцності та швидкості тужавіння бетону

Твердіння бетону — це складний фізико-хімічний процес, у результаті якого внаслідок взаємодії цементу з водою утворюються нові сполуки, що забезпечують формування структури та міцності матеріалу. Процес набору міцності можливий лише за певних умов. Нормальними умовами твердіння бетону вважають температуру  $(20\pm 2)$  °C та відносну вологість повітря не нижче 90 %. За таких параметрів бетон порівняно швидко зміцнюється: уже через 7–14 діб його міцність досягає 60–70 % від марочної. При достатній вологості повітря зростання міцності продовжується протягом тривалого часу, а для орієнтовного визначення міцності у різному віці застосовують спеціальні розрахункові формули.

На ефективність твердіння впливають не лише температурно-вологісні умови, але й структурні та технологічні фактори, що визначають щільність і довговічність бетону. Як зазначають Гудь і Крамар [14], ефективність бетону включає такі складові, як напружено-деформований стан, експлуатаційні властивості та довговічність. Підвищення рухливості бетонних сумішей покращує структуру, однак надмірна рухливість може викликати усадочні деформації та схильність до тріщиноутворення при висиханні.

Важливими чинниками, що впливають на міцність і довговічність, є пористість та водоцементне співвідношення (В/Ц). Зменшення капілярної пористості підвищує морозостійкість і знижує проникність бетону, що безпосередньо впливає на термін служби конструкції. Водночас підвищення активності цементу може призвести до надмірного тепловиділення та появи внутрішніх напружень, які сприяють утворенню мікротріщин і зниженню довговічності конструкцій

Отже, для забезпечення оптимального твердіння бетону необхідно не

лише дотримуватися сприятливих температурно-вологісних умов, але й раціонально підбирати склад суміші, регулюючи вміст цементу, воду, тип пластифікатора, а також контролюючи пористість і тепловиділення під час твердіння. Це дозволяє досягти високої міцності, довговічності та стійкості бетону до зовнішніх впливів.

Одним із ключових факторів, що визначають міцність бетону, є водоцементне відношення (В/Ц). Мінімальна кількість води, необхідна для початку гідратації цементу (приблизно 25 % від його маси), не забезпечує достатньої пластичності суміші. Тому для зручності укладання її кількість зазвичай підвищують до 40–70 %. Водночас надлишок води негативно впливає на структуру бетону — вона стає більш пористою, що призводить до зниження міцності. Недостатнє ж В/Ц відношення не забезпечує належного ущільнення суміші, що також погіршує механічні властивості матеріалу. З практичної точки зору не рекомендується зменшувати водоцементне відношення нижче 0,20, оскільки це може ускладнити формування щільної структури бетону.

Важливу роль у забезпеченні міцності відіграє зчеплення цементного каменю із заповнювачем. При високій адгезії між цими складовими відбувається рівномірний розподіл напружень, і бетон демонструє вищу міцність. У такому випадку заповнювачі беруть активну участь у роботі матеріалу, створюючи ефект «армування» бетону. Якщо ж зчеплення недостатнє, руйнування відбувається вже при незначних навантаженнях, а потенціал міцності як цементної матриці, так і заповнювачів не реалізується повною мірою.

На міцність бетону суттєво впливають температурно-вологісні умови твердіння. Зниження вологості повітря призводить до випаровування води з поверхні бетону, що може викликати його зневоднення, появу усадкових тріщин і уповільнення або навіть припинення процесу гідратації цементу. Низькі температури також зменшують хімічну активність води, внаслідок чого процес набору міцності сповільнюється.

Як зазначає Троян В.В. [15], ефективність бетону є комплексним поняттям, яке включає реологічні, експлуатаційні властивості та довговічність матеріалу. Водоцементне відношення прямо впливає на пористість бетону, що визначає його морозостійкість, проникність і тривалість служби. Вчений пропонує використовувати коефіцієнт конструктивної якості (ККЯ) як показник, що характеризує співвідношення між пористістю, В/Ц, ступенем гідратації цементу та міцністю. Зі зростанням ККЯ зменшується В/Ц і загальний вміст води в суміші, що сприяє зниженню усадкових деформацій і тріщиноутворення. Крім того, для оцінки ефективності бетону вводиться коефіцієнт ефективності (Кеф), який враховує активність цементу та його кількість. Підвищення Кеф свідчить про досягнення високої міцності бетону при мінімальному саморозігріві, що є показником технологічної досконалості суміші [15].

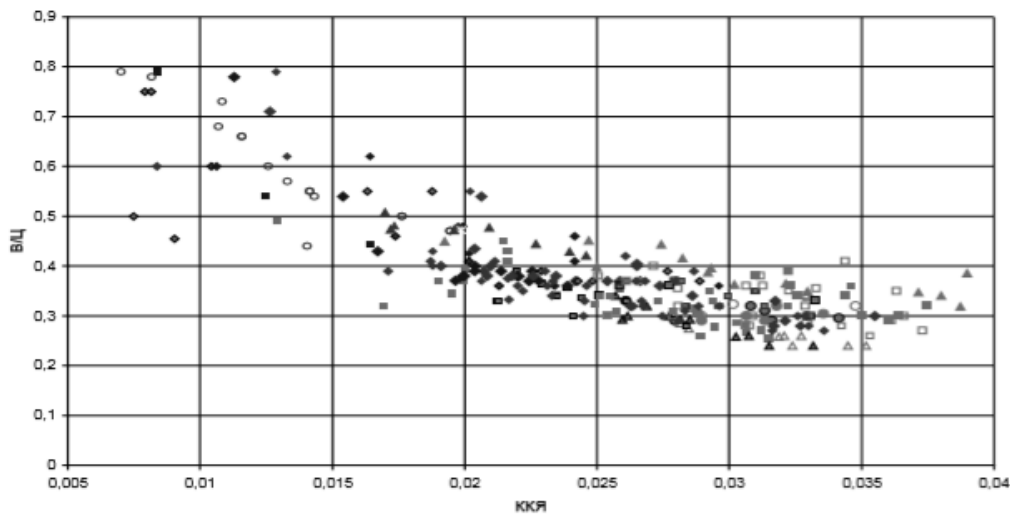


Рисунок 5.1 - Залежність між В/Ц відношенням і ККЯ бетону [15]

Отже, оптимізація водоцементного відношення, забезпечення належного зчеплення цементного каменю з заповнювачем і контроль температурно-вологісних умов твердіння є визначальними факторами формування довговічного та міцного бетону. Використання таких показників, як ККЯ та Кеф, дозволяє кількісно оцінювати ефективність складу та прогнозувати його експлуатаційні властивості.

Науково встановлено, що процес твердіння бетону значною мірою залежить від температурних умов навколишнього середовища. При температурі близько  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  бетон продовжує повільно набирати міцність завдяки наявності в порах бетонного масиву певної кількості води, що не замерзає, і бере участь у повільній гідратації цементу. Коли температура знижується до  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , гідратаційні процеси практично припиняються, що означає повну зупинку набору міцності. Таким чином, температура є визначальним фактором у формуванні структури бетону на початкових етапах твердіння.

Залежність набору міцності бетону від зовнішньої температури має характерну нелінійну форму. У зоні низьких температур (від  $-10$  до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) спостерігається різке зменшення швидкості гідратації цементу, через що бетон твердне дуже повільно. У діапазоні температур від  $0$  до  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  процес твердіння активізується, і при температурі  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  досягаються оптимальні умови для гідратації — бетон набирає повну (нормовану) 28-добову міцність. Подальше підвищення температури понад  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$  може призвести до надто швидкого випаровування води, що негативно впливає на довговічність та рівномірність структури бетону.



Рисунок 5.2 - Залежності відносної міцності бетону від зовнішньої температури

На графіку залежності відносної міцності бетону від зовнішньої температури видно, що:

- при  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  процес гідратації зупиняється, і бетон майже не твердне;

- при  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  відбувається повільне твердження, міцність становить близько 20 % від еталонної;
- при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  бетон досягає приблизно 40 % міцності;
- при  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  — 100 % (оптимальні умови твердіння);
- при  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$  спостерігається незначне зниження міцності внаслідок прискореного випаровування води.

Таким чином, для забезпечення ефективного набору міцності бетону необхідно підтримувати умови твердіння поблизу  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  і не допускати тривалого впливу низьких температур, за яких процес гідратації уповільнюється або припиняється повністю.

Одним із сучасних і ефективних засобів підвищення міцності бетону є використання дисперсного армування – введення в бетонну суміш коротких волокон (фібри) різного походження: сталевих, полімерних, базальтових чи комбінованих. Як зазначають Зятюк Ю.Ю. та Поліщук О.М. [16], застосування фібробетону сприяє значному збільшенню міцності при стиску та розтязі на згин, підвищує тріщиностійкість, зносостійкість та довговічність матеріалу.

Встановлено, що комбіноване армування сталевими та поліпропіленовими волокнами створює синергетичний ефект: сталева фібра забезпечує високу несучу здатність, тоді як поліпропіленова зменшує ризик мікротріщин, знижує водопроникність і підвищує стійкість у агресивному середовищі [16].

Оптимальним виявлено співвідношення 80–100 кг сталеві фібри та 2–3 кг поліпропіленові на  $1\text{ м}^3$  суміші, що забезпечує найбільший приріст міцності без надмірного ускладнення структури бетону.

З точки зору механізму дії, волокна відіграють роль мікроарматури, яка обмежує розвиток тріщин і сприяє більш рівномірному розподілу напружень у бетонному тілі. Це дозволяє зменшити крихкість руйнування й покращити післяруйнівну несучу здатність, що особливо важливо для конструкцій, які працюють під динамічними або циклічними навантаженнями.

До додаткових засобів прискорення тужавіння та набору міцності бетону,

що можуть поєднуватися з фіброармуванням, належать:

- використання швидкотверднучих цементів (наприклад, портландцементів з підвищеним вмістом  $C_3S$ );
- введення хімічних активаторів твердіння (нітратів кальцію, натрію, поташу, лужних карбонатів);
- термообробка бетону (пропарювання, електропрогрів або ІЧ-нагрівання);
- застосування мінеральних добавок (мікрокремнезему, золи виносу, метакаоліну), які активують гідратацію та ущільнюють структуру.

Комбінація цих заходів дозволяє досягти підвищення міцності на 15–25 % у ранні терміни твердіння та суттєво зменшити ризик утворення усадочних тріщин. Застосування фібробетонів, за даними дослідження Зятюка та Поліщука, робить можливим виготовлення більш тонких та легких конструкцій без втрати міцності, що особливо актуально для дорожніх і промислових покриттів [16].

У широкому спектрі засобів підвищення міцності та прискорення тужавіння бетону особливе місце займають хімічні прискорювачі та дисперсне армування металевими волокнами. Зокрема, дослідження [17] показало, що при співвідношенні  $W/C = 0,3$  і  $F/C = 0,8$  застосування прискорювача та металевих волокон забезпечує найвищі показники міцності; автори звертають увагу на те, що волокна на ранній стадії працюють скоріше як заповнювачі, ніж як армування, і що ефективність армування визріває після розвитку матриці.

Додатково методика [18] підтверджує, що тип прискорювача суттєво впливає на мікроструктуру бетону: вибір лужного, без-лужного чи фторованого прискорювача змінює утворення гелю C-S-H та, відповідно, ранню міцність та кінцеву міцність.

Крім того, інтеграція прискорювача з волокнами, як досліджено у роботі [19], виявляє синергію: волокна зменшують усадку, покращують адгезію ремонтної суміші до існуючого бетону на 7-15 %, тоді як прискорювач забезпечує потрібну ранню міцність, але може негативно вплинути на міцність

через 28 днів — втручання волокнами частково коригує цей ефект.

Таким чином, в аналізі засобів підвищення міцності і швидкості тужавіння бетону доцільно виділити не лише тип і дозування прискорювача, але й поєднання із армуванням та взаємодію із складом бетону (водоцементне, заповнювач, домішки). Одночасно доцільно звертати увагу на потенційні ризики — зниження міцності на пізніх віках, адгезійні проблеми, усадкові тріщини — які відзначені у [17, 20].

## **5.2 Аналіз систем опалубок на міцнісні характеристики бетону та прискорення тужавіння бетону**

Сучасні системи опалубки слід розглядати не лише як форму для укладання бетону, а як активний елемент технології, що впливає на режим тверднення й набір міцності. Зокрема, дослідження Vatin N. та співавт. [21] виявило, що конструкція опалубки з теплоізоляцією сприяє прискоренню набору міцності збірних елементів за рахунок утримування тепла гідратації. При цьому оглядова робота Li W. та співавт. [22] підкреслює, що матеріал опалубки (дерево, метал, тканина) має суттєвий вплив на тепловідвід, а відтак на швидкість тужавіння — металева опалубка з високою теплопровідністю може уповільнювати процес. Також дослідження Mohseni S.H. та співавт. [23] показує, що текстура поверхні опалубки, тип розділового агента та адгезія між бетоном і формою впливають на мікроструктуру поверхневого шару бетону та на збірну міцність. Нарешті, дослідження Tong Y. та співавт. [24] демонструє: система «сталевий опалубок + зовнішня PU-ізоляція» підвищує 7-денну міцність на ~17.6 %, але 28-денну — лише на 0.8 %, що свідчить про те, що підхід впливає переважно на швидкість, а не на кінцевий рівень міцності. Таким чином, аналіз систем опалубки має включати параметри-матеріал опалубки, шарова структура, режим теплообміну, а також вплив на ранню міцність і довготривалу якість бетону.

### 5.3 Прискорення тужавіння та раннього тверднення бетону: хімічні основи, моделювання та вдосконалена опалубка

Тужавіння бетону обумовлене реакціями гідратації портландцементу – екзотермічними процесами утворення нових кристалічних та гелеобразних продуктів. Основні мінерали цементу реагують з водою за схемами:

Аліт ( $C_3S$ ):  $2C_3S + 6H \rightarrow C_3S_2H_3$  (гелевидний C-S-H) +  $3Ca(OH)_2 + Q$ , де виділяється тепло  $Q$ . Ця реакція йде швидко, забезпечуючи первинне тужавіння та ранню міцність. Кальцієвий гідроксид (CH) кристалізується у порах.

Беліт ( $C_2S$ ):  $2C_2S + 4H \rightarrow C_3S_2H_3 + Ca(OH)_2 + Q$ . Реакція повільніша (менше тепла), даючи пізніший приріст міцності.

Алюмінат ( $C_3A$ ) у присутності гіпсу утворює еткрингіт (голчасті кристали) за схемою  $C_3A + 3\bar{C}\bar{S}\bar{H}_2 + 26H \rightarrow C_6A\bar{S}_3H_{32}$ , що відповідає початковому схопленню. Ця реакція проходить швидко, також виділяючи тепло.

Ферит ( $C_4AF$ ) гідратується подібно до  $C_3A$ , утворюючи знешкоджені продукти (монокальцієві феритні гідрати).

У процесі гідратації з рідкої фази поступово випадають кристалічні гідрати ( $Ca(OH)_2$ , еткрингіт тощо) та ростуть гелеві утворення C-S-H, що заповнюють пори і зчеплюють зерна. Кристалізація продуктів гідратації зумовлює структуроутворення бетону – перехід від пластичного стану до твердого. Початок тужавіння (початкове схоплення) настає, коли з'являється перша безперервна просторова сітка кристалів C-S-H та еткрингіту, а кінець тужавіння (кінцеве схоплення) – коли ця сітка ущільнюється і бетон набуває мінімальної твердості.

Тепло гідратації прискорює реакції, стимулюючи утворення кристалічної структури. При нормальних умовах ( $\sim 20^\circ C$ ) цемент набирає  $\sim 50$ – $60\%$  проектної міцності за перші 7 діб, проте за нижчих температур реакції значно сповільнюються, а за від'ємних – практично зупиняються [25]. Навпаки, підвищення температури пришвидшує гідратацію (за правилом Арреніуса:

підвищення на кожні  $\sim 10^\circ\text{C}$  майже вдвічі збільшує початкову швидкість реакції). Таким чином, контроль температурно-вологісних умов є ключем до регулювання швидкості тужавіння.

Швидкість набору міцності бетону на ранніх стадіях залежить як від хімічного складу та рецептури суміші, так і від умов витримування:

- цементи з підвищеним вмістом  $\text{C}_3\text{S}$  та  $\text{C}_3\text{A}$  (наприклад, портландцемент швидкотверднучий) дають швидше тужавіння і вищу ранню міцність. Навпаки, цементи з високим вмістом  $\text{C}_2\text{S}$  твердіють повільніше. Спеціальні в'язучі (алюмінатні цементи, цементи типу III) можуть забезпечити надзвичайно швидкий набір міцності протягом доби;

- дрібніші зерна інтенсивніше реагують з водою (більша площа контакту), що скорочує час схоплення та прискорює розвиток міцності. Однак надмірно тонкий цемент може вимагати більше води і спричиняти усадочні деформації;

- зниження В/Ц за рахунок суперпластифікаторів сприяє утворенню густішої матриці С-S-H і вищої ранньої міцності. При нижчому В/Ц в суміші менше надлишкової води, тому початкове схоплення може настати дещо раніше, а ризик утворення надлишкових пор зменшується. Високе В/Ц (надлишок води) уповільнює початкове тужавіння через довший час на випаровування та призводить до утворення пор, що знижують міцність;

- спеціальні прискорювачі тужавіння (наприклад, солі кальцію –  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , або натрію –  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaNO}_2$ ; комплексні прискорювачі на основі тіоціанатів, амінів тощо) значно скорочують час схоплення та прискорюють розвиток міцності у першу добу. Вони діють різними шляхами: підвищують розчинність цементних зерен, каталізують утворення зародків С-S-H, або знижують температуру замерзання порової води (антифризи для зимового бетону). Важливо дозувати такі добавки, щоб не погіршити довгострокову міцність і корозійну стійкість (наприклад, хлоридні прискорювачі можуть викликати корозію арматури);

- дрібнодисперсні добавки типу мікрокремнезему (SF) чи метакаоліну можуть прискорювати реакції (через пуцолановий ефект та заповнення пор), що

дещо підвищує ранню міцність. Проте деякі добавки (летюча зола) на ранніх стадіях, навпаки, уповільнюють тверднення, зміщуючи приріст міцності на пізніший термін;

- як зазначалося, підвищена температура сприяє швидкому тужаванню. Стандартна практика прогріву (парове або електропрогрівання) дозволяє досягати міцності 50–70% від марочної за 1–2 доби, залежно від режиму. При низьких температурах (нижче +5 °С) тужавіння сповільнюється; за від'ємних температур незатверділий бетон може замерзнути, руйнуючи структуру, тому необхідні заходи для прогріву/утеплення.

Таким чином, для максимально можливого прискорення тужавіння без втрати міцності слід оптимізувати склад (використати швидкотверднучий цемент, знизити В/Ц, додати безхлоридний прискорювач) і забезпечити сприятливий тепловологісний режим витримування. Далі розглянемо сучасні підходи саме до режиму тверднення через модифікацію опалубки, що дозволяють суттєво прискорити набір міцності бетону в першу добу.

Існуючі дослідження демонструють, що конструкція та матеріал опалубки можуть бути активним інструментом керування теплом і вологістю під час тверднення бетону [22]. Нижче виділено три напрями модернізації опалубок для прискореного тужавіння: (а) теплоізоляційні та з підігрівом форми, (б) проникні (тканинні) форми, (с) постійні інтегровані форми зі спеціальними режимами догляду. Кожен з цих підходів має свої типові показники ефективності та обмеження.

Одним із найпростіших способів прискорити твердження є утримання тепла гідратації бетонної суміші. Для цього опалубку виготовляють із матеріалів з низькою теплопровідністю або додають теплоізоляційні шари. Подвійна (багатошарова) опалубка – приклад такого рішення. Зокрема, дослідження [24] запропонувало двошарову систему: внутрішня сталева форма + зовнішній шар пінополіуретану (PU) товщиною 5 мм. В умовах значних добових коливань температур ця ізольована опалубка помітно підвищує температуру всередині бетону та збільшує 7-добову міцність на ~17% у

порівнянні зі звичайною сталевою формою [24]. Згідно з результатами, 7-денна міцність досягла  $\sim 73\%$  від 28-денної, тоді як у контролі цей показник був нижчим [24]. Натомість на 28-му добу різниця в міцності стала мінімальною [24]. Важливо, що подвійна опалубка пом'якшує температурні перепади без негативних наслідків: на відміну від парового прогріву, такий режим не погіршує порову структуру і не знижує підсумкову міцність бетону [24]. Іншими словами, утеплена опалубка забезпечує більш рівномірне прогрівання молодого бетону і не викликає внутрішніх напружень, здатних призвести до тріщин при охолодженні.

Дещо подібний підхід – інтеграція теплоізоляції в структуру крупнощитових (ганг) відбулась ще у 2016 році, так, застосовувались стандартні ганг-форм із наклеєними з зовнішнього боку жорсткими плитами PU ( $\approx 30$  мм). У реальних умовах житлового будівництва це зменшило тепловтрати через опалубку і дало змогу бетону швидше досягти потрібної ранньої міцності без додаткового обігріву. Сучасні дослідження порівнюють звичайну та утеплену ганг-опалубку при зимовому бетонуванні: результати показали, що утеплена форма спожила значно менше енергії для підтримання температури і мала нижчі тепловтрати з поверхні [26]. Тобто, ізоляція дає подвійний ефект – прискорює тужавіння за рахунок вищої внутрішньої температури та скорочує витрати енергії на прогрів.

Крім пасивного теплоутримання, перспективними є системи активного нагріву опалубки. Традиційно для прогрівання бетону застосовують пару, інфрачервоні нагрівачі або електропетлі всередині масиву, але ці методи мають недоліки (пересушування поверхні, нерівномірність прогріву, ризик газового отруєння при спаленні палива тощо [25]). Інноваційна альтернатива – індукційний нагрів. Метод, розроблений ще у 2020 році передбачає розміщення індукційних котушок зовні металевої опалубки, які безконтактно нагрівають саму форму за рахунок вихрових струмів [25]. Сталева опалубка тут слугує нагрівальним елементом, передаючи тепло бетону рівномірно по всій поверхні. Така система демонструє вищу ефективність нагріву та безпеки: енергія

спрямовано йде у форму, не витрачаючись на нагрів повітря чи водяної пари, і немає відкритого нагрівального елемента або полум'я [25]. Важливо, що індукційний нагрів легко програмувати – можна задати необхідний сценарій підвищення/утримання температури, щоб оптимально прискорити гідратацію без перегріву. Експерименти підтвердили, що метод ефективно забезпечує прискорене тверднення навіть при мінусових температурах: зразки бетону в умовах замерзання води набули міцності, достатньої для розпалубки, за регламентований час. Температурні поля при індукційному прогріві були більш рівномірними, ніж при традиційному прогріванні паром або ТЕНами, що знижує термічні напруження в конструкції. Отже, опалубка-індуктор дозволяє прискорити набір міцності контрольовано і безпечніше (немає ризику обпалити робітників чи виділити CO<sub>2</sub>). На практиці, щоправда, відзначено, що з ростом товщини елемента ефективність індукційного методу дещо знижується – велика маса бетону відводить тепло і потребує більше енергії. Тому індукційний прогрів доцільно застосовувати для відносно тонкостінних елементів або у комбінації з теплоізоляцією.

Окремо слід згадати електронагрівальні опалубки та обігрів в зимових умовах. Практичним рішенням є вмонтовані в сталеві форми електричні нагрівальні елементи (кабелі, стрічки) у поєднанні з утеплювачем. Дослідження Shi та ін. моделювало бетон при -10 °C з такими заходами: сталеві форми з електропідігрівом + укриття з мінераловатних матів. Було показано, що комбінація "утеплення + підігрів" дозволяє проводити бетонування при -10 °C без втрати якості: бетон набирає розпалубну міцність вчасно, а поверхневі шари не промерзають. Зокрема, порівняно з варіантом лише з утепленням, додатковий підігрів форми значно підвищив пікову температуру гідратації та швидкість прогрівання. Випробування на реальній конструкції (залізобетонна балка коробчастого перерізу) підтвердили, що за допомогою таких форм можна виконувати бетонні роботи в сильній холод, дотримуючись нормативних вимог до прогріву [27].

Типові показники та ризики для ізольованих/нагрівних форм: утеплення

опалубки дає змогу підняти температуру ядра бетону на 5–15 °С вище зовнішньої [27], прискорюючи початковий приріст міцності (на 10–20% у перші 1–3 доби, залежно від товщини утеплювача та умов). При цьому, як правило, на 28-му добу різниця в міцності нівелюється – правильно підібраний режим теплової обробки не шкодить кінцевому результату [24]. Проте агресивний прогрів (вище +60...70 °С у перші години) може призвести до зменшення довгострокової міцності через грубу кристалічну структуру. Теплові градієнти між поверхнею та ядром не повинні перевищувати ~20 °С, інакше є ризик утворення тріщин. Ізольовані форми пом'якшують ці градієнти; контрольований індукційний чи електронагрів дає можливість плавно підвищувати та знижувати температуру, уникаючи перегріву поверхні. Важливо також не пересушити бетон при нагріванні – тому часто підтримують вологість (вкриття плівкою, подача пари тощо) або застосовують термоматеріали, що зберігають вологу.

Інший напрям прискорення тужавіння – видалення надлишкової води з поверхневих шарів бетону за допомогою спеціальної проникної опалубки. Ідея полягає в тому, що якщо стінки форми пропускають воду, то частина «зайвої» води цементного тіста фільтрується назовні, знижуючи локальне водоцементне відношення у поверхневому шарі. Це призводить до утворення щільнішої приповерхневої структури цементного каменю, яка швидше твердне та набуває міцності [28].

Класичний приклад – тканинна опалубка з геотекстилю або іншої міцної синтетичної тканини. Ще в 1980-90-х встановлено, що бетон, відлитий у тканинні мішки або форми, має значно вищу якість поверхні: практично відсутні раковини, а верхній шар дуже щільний. Ще у 2001 році у дослідженнях можна було вже бачити, що тканинна форма діє як фільтр: вона вбирає воду, що виходить з бетону під тиском (блюдіння), завдяки чому фактичне W/C біля стінки знижується, а відтак підвищується міцність і довговічність покриття. Згідно з їхніми випробуваннями, бетон у тканинних формах мав на ~50% менший вміст порової води біля поверхні та вищу міцність цього шару в

порівнянні зі звичайною фанерною опалубкою [29].

Більш системні дослідження Delijani et al. (2015) показали, що для невеликих зразків ефект дуже відчутний: циліндри Ø150 мм, вилиті в проникні форми, мали на ~15% вищу середню міцність (на 28 діб) порівняно зі звичайними сталевими формами [30]. Це узгоджується з тим, що загальне В/Ц бетонів знизилося завдяки виходу води через тканину. Проте у більших елементах (колонах) вплив був локальним: міцність і властивості серцевини колони майже не змінилися, зате поверхневий шар (глибиною кілька сантиметрів) став набагато щільнішим та міцнішим. Отже, проникна опалубка «працює» переважно на поверхню, прискорюючи тверднення та покращуючи саме захисний шар бетону.

Практичні наслідки: швидше тужавіння поверхневих зон означає, що, по-перше, раніше досягається достатня міцність для розпалубки (форма знімається, а поверхня вже не кришиться), а по-друге, значно зростає довговічність покриття. Журнал Magazine of Concrete Research наводить дані, що бетон, відлито у контрольовану проникну опалубку, мав на ~50% менший коефіцієнт дифузії хлоридів та уповільнену карбонізацію завдяки щільнішому поверхневому цементному каменю [29]. Це критично для захисту арматури і компенсує потенційні ризики швидкого тверднення. Адже якщо бетон швидко втрачає воду, є небезпека усадки і утворення усадочних тріщин на поверхні. У випадку тканинної форми цей ризик мінімізується, бо тканина утримує частину води і забезпечує рівномірне висихання. Поверхня виходить твердішою, менш пористою і менш схильною до тріщиноутворення.

На сучасному ринку є готові рішення – так звані CPF-листові вкладиші (Controlled Permeability Formwork liners), які кріпляться зсередини до звичайної опалубки. Вони виконані з нетканого геотекстилю, що пропускає воду, але затримує цементне молоко. Застосування таких вкладишів дає аналогічний ефект покращення поверхневих характеристик. Наприклад, зазначається підвищення міцності на стиск ~10–15%, зменшення глибини проникнення води і хлоридів ~на 40–60% та майже архітектурну якість поверхні (відсутність

дефектів) [29].

Треба відзначити проникна опалубка не прискорює тверднення усього об'єму бетону – ефект помітний переважно до глибини ~30–50 мм від поверхні. Тому для масивних елементів це не зменшить час до розпалубки ядра або до навантаження конструкції, хоча поверхня стане готовою раніше. Також слід контролювати втрату води – у спекотних умовах може знадобитися додаткове зволоження, щоб бетон не пересихав у тканинній формі. Загалом же, технологія *permeable formwork* зарекомендувала себе як засіб підвищення якості та довговічності бетону, і побічно – прискорення «корисного» тужавіння покриття (яке можна раніше піддавати впливам, наприклад, вимогам до твердості при шліфуванні поверхні підлоги тощо).

### **5.3.1 Інтегровані постійні форми з керованим режимом тверднення**

До цього напряму відносяться сучасні рішення, коли сама опалубка стає частиною конструкції і водночас служить для оптимізації режиму догляду за бетоном. Приклад – постійна 3D-опалубка з текстильно-цементних композитів (TRCC), описана в дослідженні Lee et al. (2024). В цій роботі для елемента складної геометрії була виготовлена тонкостінна оболонка з тривимірного текстильно-армованого цементного композиту, яка залишалася прикріпленою до бетону після заливання. Така форма виконувала подвійну роль: надавала оптимізовану геометрію і водночас витримувала конструкцію при спеціальному режимі тверднення. Зокрема, після заливки бетону всю систему піддали прискореному витримуванню в умовах пропарювання (80 °C) протягом декількох циклів [31]. Результат – бетон набув однорідної високої ранньої міцності, а якість поверхні та контакт між постійною оболонкою і ядром були відмінними. Таким чином, поєднання інноваційного матеріалу опалубки (який лишається як частина конструкції) та контрольованого теплового впливу дало змогу отримати необхідні показники міцності та довговічності в стислі терміни. Це особливо актуально для елементів складної форми, які важко прогрівати

традиційно – постійна тонка форма слугує рівномірним провідником тепла і захистом від висихання.

Інший приклад інтегрованого підходу – цифрові (адаптивні) опалубки з підігрівом, що реагують на стан бетону. Сучасні огляди [32] відзначають появу "розумних" форм, оснащених сенсорами температури та вологості, гріючими елементами та навіть системами вакуумування. Такі форми можуть автоматично підтримувати оптимальний тепловологісний режим: підвищувати температуру в холод чи охолоджувати в спеку, відводити випари, регулювати тиск на бетон тощо. Матеріали для них використовуються різні – від рецикльованих пластиків до композитів з підігрівом. В огляді Li та ін. наведено, що на ранню міцність позитивно впливають перш за все термофізичні властивості форми (теплопровідність, теплоємність) та проникність (вміння форми відводити або утримувати воду). Наприклад, у перші години після заливки форма може працювати в герметичному режимі (запобігаючи втраті вологи і акумулюючи тепло гідратації), потім при потребі увімкнути нагрів до заданої температури, а після досягнення критичної міцності – перейти в вентиляційний режим, щоб зайва волога виходила і бетон дозрівав при нижчій вологості, поліпшуючи кінцеві характеристики.

У разі інтегрованих форм часто вдається досягти винятково високого ступеня гідратації в ранні терміни без шкоди для довгострокових властивостей. Парове або електропрогрівання в постійній оболонці може дати 70–80% марочної міцності за 1–3 доби (що придатно, наприклад, для розпалубки мостових балок чи натягування попередньо-напруженої арматури) [33]. Втім, як зазначалося, надто високі температури на старті можуть спричинити зниження 28-добової міцності – потрібен баланс. У випадку 3D-TRCC форми було показано, що правильний режим (цикл нагріву з плато  $\sim 80$  °C) не погіршив структуру: міцність на 28 діб залишилась високою, порівняно з контрольними зразками, а ризик мікротріщин знизився завдяки рівномірності прогріву.

Слід пам'ятати про баланс ранньої та пізньої міцності: не завжди приріст

на 1-й добі дає вигреш на 28-й. Різні автори відзначають, що неправильні режими можуть знижувати кінцеву міцність на 15–50%.

### 5.3.2 Математичне моделювання тверднення бетону

Для оцінки та прогнозування процесу тужавіння в різних умовах використовують як спрощені інженерні моделі, так і комплексні комп'ютерні моделі гідратації (термогідратаційні моделі). Спрощена модель (метод зрілості). Найбільш поширеним є підхід, що базується на понятті матурості (зрілості) бетону, тобто інтегрального врахування впливу часу і температури на розвиток міцності. У стандарті ASTM C1074 описано два основних варіанти: метод Nurse-Saul (температурно-часовий фактор) і метод еквівалентного віку (формула Арреніуса). Обидва припускають, що при підвищених температурах реакція гідратації йде швидше, і накопичена «зрілість» визначає міцність. Найпростіша формула Nurse-Saul виглядає:

$$M(t) = \sum (T_{\text{avg}} - T_0) \cdot \Delta t, \quad (5.1)$$

де  $T_{\text{avg}}$  – середня температура бетону за інтервал часу  $\Delta t$ , а  $T_0$  – порогова температура гідратації (звичайно беруть  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) [34].

Коли бетон охолоджується нижче  $T_0$ , йому не нараховується зрілість (процеси майже зупинені). Накопичена величина  $M(t)$  корелюється з міцністю за емпіричною кривою, яку встановлюють для даної бетонної суміші експериментально. Практично, цей метод дозволяє розрахувати еквівалентний вік бетону при стандартній температурі. Наприклад, 1 доба витримання при  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  може дати таку саму зрілість, як  $\sim 3$  доби при  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (залежно від активаційної енергії цементу). Формула еквівалентного віку за методом Арреніуса більш точна, вона враховує енергію активації реакції:

$$t_{\text{eq}} = \int \exp[-E_a/R \cdot (1/T(t) - 1/T_{\text{ref}})] dt, \quad (5.2)$$

де  $E_a$  – енергія активації (близько 40–45 кДж/моль для портландцементу),  $R$  – газова стала,  $T_{ref}$  – опорна температура (часто 20 °C) [35].

В результаті інтегрування отримуємо еквівалентний час  $t_{eq}$  при  $T_{ref}$ , який і використовується у формулі міцності. Саму залежність міцності від часу (або зрілості) часто виражають експоненційно або степеневу: напр.,

$$f_c(t) = f_{\{28\}} \cdot (t / (a + t))^b, \quad (5.3)$$

або логистичною кривою. Таким чином, спрощена модель дозволяє досить точно ( $\pm 10$ – $15\%$ ) передбачати міцність на ранніх етапах при будь-яких температурних історіях, якщо відомі параметри суміші. Вона широко використовується для визначення часу розпалубки чи припинення прогріву в реальних проектах.

Повноцінна термогідратаційна модель враховує детальніше всі аспекти: розвиток ступеня гідратації, виділення тепла, розподіл температури в конструкції, усадку та навіть транспорт вологи. Такі моделі, як правило, базуються на розв’язанні системи диференціальних рівнянь: рівняння теплопереносу (теплопровідності) з джерелом тепла – теплом гідратації, та кінетичного рівняння гідратації цементу. Останнє може мати вигляд функції Арреніуса з насиченням:

$$\frac{d\alpha}{dt} = A \cdot e^{-E_a/(RT)} \cdot f(\alpha), \quad (5.4)$$

де  $\alpha$  – ступінь гідратації (0...1),  $A$  – преекспоненціальний коефіцієнт,  $E_a$  – енергія активації,  $f(\alpha)$  – функція, що виражає уповільнення реакції при наближенні до завершення (наприклад,  $f(\alpha) = (\alpha_{\{max\}} - \alpha)$  для першого порядку або більш складна). При інтегруванні це рівняння дає кількість прореагувавшего цементу в часі, а через відомий питомий тепловиділ  $Q$  (наприклад  $\sim 500$  Дж/г для портландцементу) – генерує тепловий потік.

Цей потік підставляється в рівняння теплопереносу:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T + \rho Q \frac{d\alpha}{dt}, \quad (5.5)$$

де  $\rho$ ,  $c$ ,  $\lambda$  – щільність, теплоємність і теплопровідність матеріалу. Таким чином, модель поєднує тепловий і хімічний аспекти. На додачу можуть враховуватися граничні умови теплообміну з навколишнім середовищем (коефіцієнти конвекції для поверхонь), випаровування вологи, автогенні деформації при твердненні тощо. В комп'ютерному моделюванні (скінченно-елементному, наприклад) часто застосовують спрощення – так званий «еквівалентний» метод: замінюють детальне вирішення тепломасообміну на деякі ефективні коефіцієнти, отримані емпірично. Наприклад, Tong *et al.* в [24] порівнювали повну і еквівалентну симуляцію температурного поля бетону в подвійній опалубці; було показано, що еквівалентний підхід (з підбірним коефіцієнтом тепловіддачі замість явного моделювання шару PU) дає прийнятну точність при значно меншому обчислювальному навантаженні.

Для задачі – оцінки ефективності різних методів прискорення тужавіння – може бути використана така багатоаспектна модель. Вона дозволить, наприклад, порахувати оптимальну товщину утеплювача або потужність нагріву, щоб бетон набрав задану міцність за 24 години у різних умовах (восени, взимку тощо). Крім того, за допомогою моделі можна передбачити, чи не виникнуть надмірні градієнти температур або усадкові деформації. В простішому варіанті, достатньо використати метод зрілості: встановити експериментально залежність міцності від еквівалентного віку для даного бетону (наприклад, із прискорювачем) і далі, вимірюючи фактичну температуру в елементі, розраховувати, коли досягнуто потрібну розпалубну міцність. Це дуже практично для монолітного будівництва, де на міцність впливає температура зовнішнього повітря та заходи утеплення.

#### 5.4 Конструкція експериментальної опалубки для прискороного тужавіння

На основі проаналізованих даних можна запропонувати комплексне рішення опалубки, яке поєднує кілька методів прискорення тверднення без втрати якості. Цільові умови: важкий бетон каркасно-монолітного будівництва (клас міцності ~С30/35), бетонування в будь-який сезон (від +20 °С до -10 °С), необхідність досягти розпалубної міцності, скажімо, 50% від проектної, за 24 години.

Пропонована система – двошарова сталева опалубка з індукційним (або електричним) підігрівом і проникною вставкою на вкладиші.

1. Внутрішній шар - тонколистова сталева форма, на внутрішню поверхню якої закріплено змінний перфорований геотекстильний вкладиш. Цей вкладиш виконує роль контрольованої проникної мембрани (CPF liner), що прилягає до бетону. Його мета – видалити надлишок води з поверхні бетону в перші години після укладання. Отвори або пори геотекстилю підібрані так, щоб утримати цементне молоко, але пропустити воду. Після набору початкової міцності (кінець схоплення ~ через 6–8 годин) цей вкладиш можна зняти, або залишити ще на певний час для повільного висихання поверхні.

2. Зовнішній шар - оболонка з теплоізоляційного матеріалу товщиною ~20–30 мм, що охоплює сталеву форму ззовні. Можливе виконання у вигляді напівжорстких матів з пінополіуретану або мінеральної вати, закріплених на сталевих щитах. Цей шар мінімізує втрати тепла в довкілля і забезпечує рівномірне прогрівання бетону масиву. Особливо це важливо для елементів великого перерізу (колони 400×400 мм, плити тощо), де центр може охолоджуватися повільніше за грані.

3. Вбудований обігрів - вздовж внутрішньої поверхні сталеві опалубки прокладено індукційні котушки (можна змінного струму високої частоти) або гнучкі електричні нагрівальні стрічки під терморегулятором. Індукційна система переважна, бо не контактує напряму з бетоном і рівномірно гріє метал

по всій площі. Потужність установки розрахована так, щоб нагріти бетон до  $\sim 40\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом перших 3–5 годин після укладання (якщо зовні холодно). Температурний датчик (термопара) всередині бетону зв'язаний з контролером нагріву для дотримання заданого режиму (наприклад, не більше  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$  підйом, підтримка  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$  5 годин, потім поступове охолодження). При плюсовій температурі зовні підігрів може і не знадобитись – система буде працювати просто як утеплена форма, утримуючи тепло гідратації.

Принцип дії, одразу після заливки бетон у такій опалубці спочатку фільтрується через тканинний вкладиш – виходить вода, що піднімається на поверхню при вібруванні (блюдіння). Це запобігає утворенню водяної плівки і прискорює схоплення поверхневого шару (бетон не «пливе» під формою). Водночас вмикається режим термоса: утеплення зберігає тепло, виділене при гідратації цементу (а для важкого бетону класу С30/37 тепловиділення значне,  $\sim 50\text{--}60$  ккал/кг цементу за першу добу). Якщо температура довкілля низька або потрібно додатково розігнати реакцію – вмикається індукційний нагрів. Металева форма швидко (за 20–30 хв) прогривається до потрібної температури і гріє бетон з усіх боків. Це забезпечує рівномірний прогрів без пересушування: по-перше, тканинний вкладиш утримує цементний камінь вологим (вода виходить дуже обмежено, лише надлишок), по-друге, сталева форма не дає прямого інфрачервоного тепла, а нагріває через контакт, тому бетон не перегрівається локально.

Режим можна задати такий, щоб через 16–20 годин бетон досяг розпалубної міцності  $\sim 15$  МПа (для класу С30/37 це  $\sim 50\%$ ). Тоді наступного дня опалубку переставляють на нову захватку. Вкладиш при розпалубці, можливо, буде одноразовим (його можна зірвати з бетонної поверхні і утилізувати), або багаторазовим, залежно від типу матеріалу. Поверхня бетону залишиться тверда, з мінімумом пор і без пухкого цементного молока – можна одразу продовжувати роботи (наприклад, навантажувати або здійснювати гідроізоляцію/обробку).

Ромбінація утеплення і активного нагріву повинна дати сумарне

скорочення часу набору міцності на 30–50% порівняно зі звичайним доглядом. Тобто, якщо при +10 °С зовнішніх умов бетон набирає 15 МПа за ~3 доби, то в нашій системі він набере за ~1 добу. При цьому, за рахунок керованого режиму, 28-денна міцність не постраждає – навпаки, завдяки тканинній опалубці поверхня буде особливо міцною і щільною (очікуване підвищення міцності верхнього шару ~+15%, зниження проникності хлоридів ~вдвічі [29]). Важкий бетон із низьким В/Ц та прискорювачем у таких умовах може взагалі набрати близько 70% марочної міцності за 24 години без негативних наслідків, що відкриває можливість суттєво прискорити темпи монолітних робіт.

Для практичного підтвердження моделі варто виконати серію дослідів на зразках (наприклад, балки 150×150×600 мм) у різних умовах: (1) звичайна сталева опалубка при +20 °С (контроль), (2) подвійна ізольована опалубка без нагріву при +5 °С, (3) ізольована опалубка з індукційним підігрівом при -5 °С, (4) те саме + проникний вкладиш. Вимірювання температури всередині бетону, часу схоплення (віголовським приладом) та міцності (викреслюючи криві зрілості) покажуть ефективність кожного компонента. Очікується, що варіант (4) продемонструє найшвидше тужавіння і найкращу якість поверхні. Додатково, дослідження порової структури (наприклад, методом меркурій порометрії) на 28 добу підтвердить, що обрана комбінація методів не викликала збільшення пористості чи погіршення структури бетону (як це буває при перегріві без ізоляції [33]).

Для чисельного моделювання можна взяти три сценарії.

Сценарій 1. Базовий (без утеплення і нагріву). Звичайна сталева опалубка, температура навколишнього середовища +5 °С, без будь-яких теплоізоляційних або нагрівальних заходів. Через високу теплопровідність сталі й низьку температуру довкілля бетон майже не нагрівається — температура ядра повільно підвищується лише до ~10 °С завдяки теплу гідратації. Міцність через 24 год: ~3.5–4.0 МПа, недостатньо для безпечного зняття опалубки. Гідратація лише ~25–30% від повного потенціалу цементу — дуже уповільнений процес.

Сценарій 2. Утеплена опалубка (без підігріву). Сталева опалубка з 20–30

мм шару теплоізоляції (наприклад, пінополіуретан), температура зовнішнього середовища  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Утримується більше тепла гідратації — температура ядра підвищується до  $\sim 13\text{--}15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Міцність через 24 год:  $\sim 4.5\text{--}5.0\text{ МПа}$ , на межі мінімально припустимої розпалубної міцності. Гідратація досягає  $\sim 35\text{--}40\%$ .

Сценарій 3. Утеплена опалубка + індукційний підігрів. Та сама утеплена опалубка, але з керованим індукційним нагрівом: підняття температури ядра бетону до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  за перші 3 години, утримання ще  $\sim 5$  годин, далі поступове охолодження.

Ядро нагрівається до  $\sim 50\text{--}55\text{ }^{\circ}\text{C}$  і зберігає цю температуру протягом критичного періоду гідратації.

Міцність через 24 год, до  $15\text{--}17\text{ МПа}$  — тривале перевищення розпалубної межі з великим запасом.

Гідратація до  $70\text{--}80\%$  — тобто більшість цементу встигає гідратувати за добу.

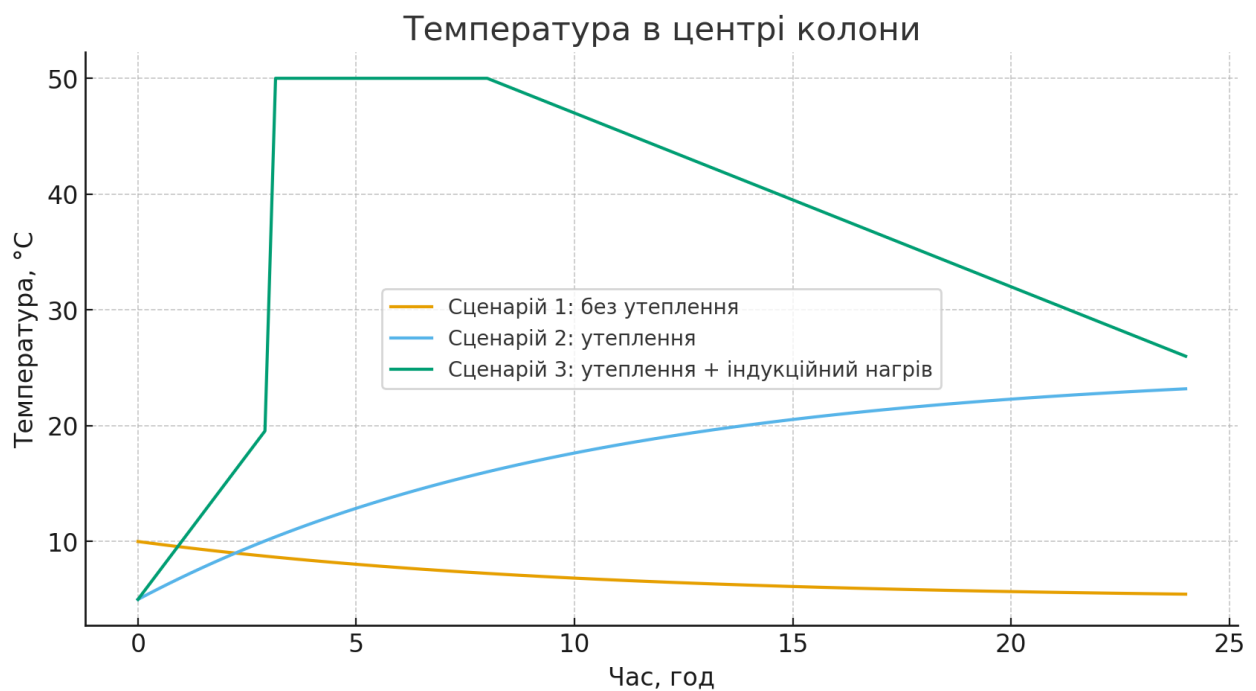


Рисунок 5.3 - Температура в центрі колони

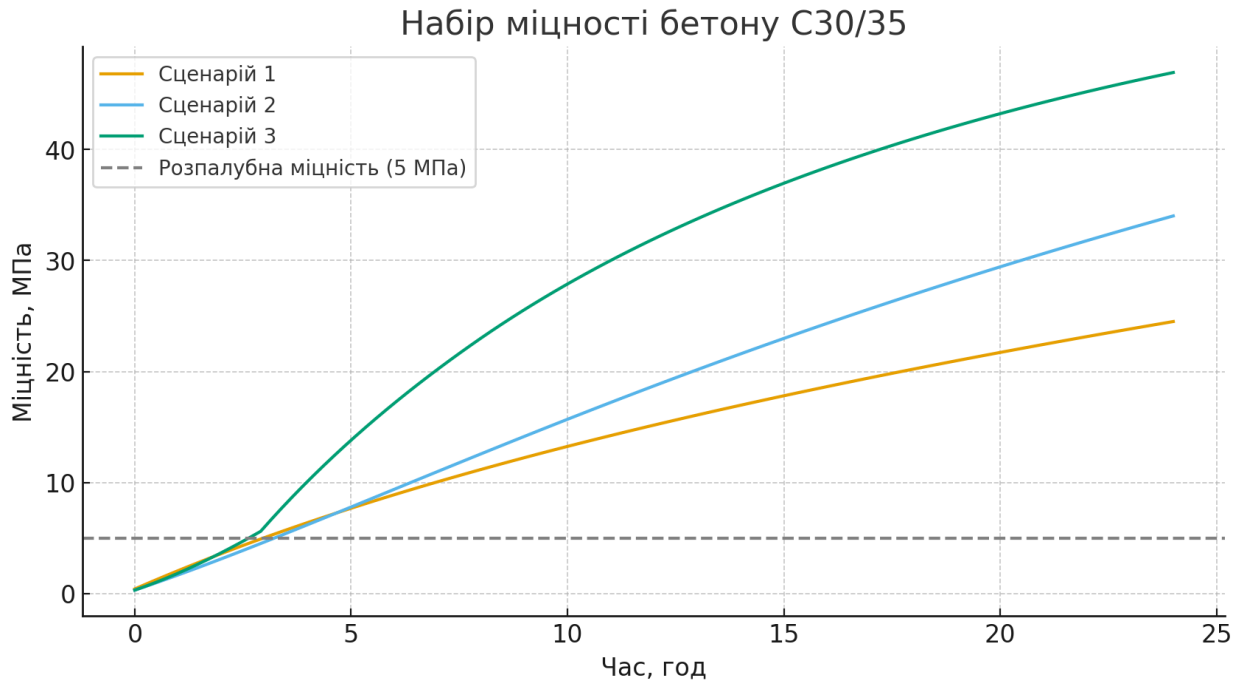


Рисунок 5.4 - Набір міцності бетону С30/35

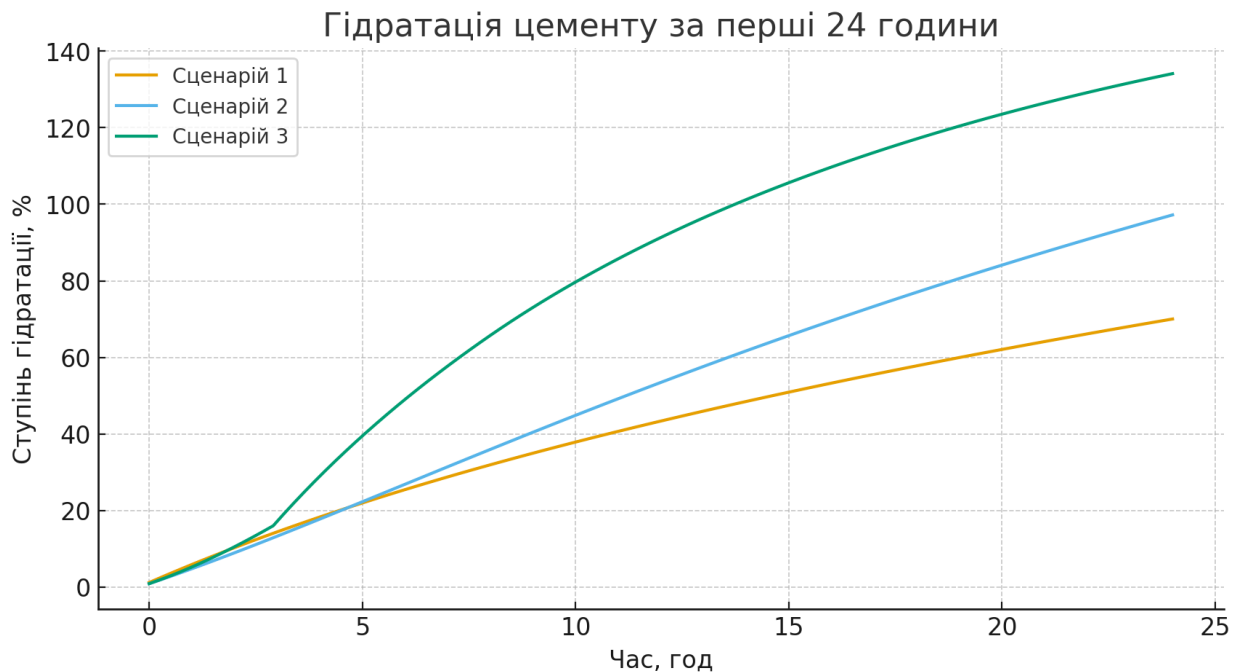


Рисунок 5.5 - Гідратація цементу за перші 24 години

Сценарій 3 може бути основою для конструкції експериментальної опалубки з вбудованим підігрівом та ізоляцією.

## ВИСНОВКИ

Резюмуючи, прискорення тужавіння бетону – багатоаспектне завдання, що включає хімію цементу, технологію догляду та конструктивні рішення опалубки. Хімічно процес тверднення можна прискорити підвищенням температури та використанням реагентів-прискорювачів, але робити це слід обережно, щоб не нашкодити довгостроковим властивостям. Сучасні дослідження підтверджують ефективність таких рішень, як утеплені та підігріті форми (дають суттєвий приріст ранньої міцності без втрат на 28 добу), проникні тканинні форми (покращують якість і міцність поверхні бетону) та інтегровані «розумні» опалубки (забезпечують оптимальний режим тверднення для складних конструкцій). Запропонована експериментальна конструкція опалубки поєднує ці підходи і теоретично здатна забезпечити набір 50% міцності за добу в будь-яких погодних умовах без втрати міцності на 28 добу. Математичне моделювання – як спрощене (метод зрілості), так і детальне (термогідратаційне) – служить інструментом для кількісної оцінки та оптимізації таких рішень. Головне – досягти потрібного прискорення комплексно, збалансовуючи тепло, вологу і хімію, тоді бетон набуде міцності швидко і залишиться довговічним.

Моделювання трьох типових умов тужавіння бетонної колони — базової (без утеплення), утепленої та утепленої з індукційним підігрівом — показало суттєві відмінності в температурному режимі, темпах гідратації цементу та наборі міцності протягом перших 24 годин.

Загальна картина моделювання тужавіння бетону у трьох різних сценаріях — базовому (без утеплення), утепленому, та утепленому з індукційним підігрівом — демонструє істотну різницю в поведінці бетонної суміші на ранніх стадіях. Однак слід усвідомлювати, що ці результати є теоретично змодельованими та базуються на ряді припущень і спрощень, які потребують глибшого аналізу й верифікації.

На практиці теплоємність бетону, ступінь тепловтрат через опалубку, та вплив пористості, вологи, товщини перетину істотно впливають на фактичну теплову динаміку. Без уточнення реальних характеристик бетону й опалубних матеріалів (зокрема поліуретану, сталі, стиків) навіть найточніша модель залишиться наближеною.

Індукційне нагрівання дозволяє досягти високої міцності вже за 12–24 години. Проте такий прогрів може викликати внутрішні напруження через різницю температур між ядром і поверхнею елемента. Якщо не врахувати ці ефекти — є ризик появи мікротріщин або довготривалого зниження міцності, особливо у великих або складних за формою елементах. Необхідно розрахувати термічні градієнти, провести FEM-аналіз та верифікувати безпечність таких режимів.

Моделювання не враховує, як прискорювачі, суперпластифікатори або мінеральні добавки реагують на температуру. Деякі прискорювачі втрачають ефективність або, навпаки, занадто активуються при нагріванні понад 40 °С. Щоб досягти оптимального ефекту прискорення без втрати якості бетону, потрібно визначити температуру стабільності обраної рецептури та підібрати режим прогріву відповідно до її складу.

Найголовніше — модель повинна бути верифікована у реальних умовах: з використанням температурних датчиків у бетоні, відбором контрольних зразків на міцність, фіксацією фактичних термінів тужавіння. Це дозволить визначити похибки моделі, підтвердити її застосовність у конкретному об'єкті та адаптувати до геометрії/масштабу реального будівництва.

Індукційні або інші види прогріву значно покращують темп набору міцності, але їх енерговитрати, вартість обладнання, час монтажу та надійність роботи в польових умовах потребують економічної оцінки. Порівняння з альтернативними способами (пропарювання, термомат, ПЧ-прогрів, теплові камери) дозволить обґрунтовано обрати технологію, яка найкраще підходить для конкретного об'єкта.

Таким чином, розглянута тематика потребує подальших більш детальних практичних досліджень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель;
2. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Зміна №1;
3. ДСТУ-Н Б В.2.6-190:2013 Настанова з розрахункової оцінки показників теплостійкості та теплосвоєння огорожувальних конструкцій;
4. ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель та споруд. Зміна № 1;
5. ДСТУ 8855:2019 Визначення класу наслідків (відповідальності);
6. ДБН В.2.2-25:2009 Будинки і споруди. Підприємства харчування (заклади ресторанного господарства);
7. ДБН В.2.2-23:2009 Будинки і споруди. Підприємства торгівлі. Зміна № 1;
8. ДБН В.2.2-23:2009 Будинки і споруди. Підприємства торгівлі;
9. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування. Зміна № 1;
10. ДБН В.1.2-14-2009 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. Зміна № 1;
11. ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування ;
12. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування. Зміна № 1;
13. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування. Зміна № 2;
14. Гудь І. Фактори впливу на міцність та ефективність бетону / Михайло Гудь, Галина Крамар, Іван Гудь // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до

100 річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті), 22-24 травня 2018. — Т. : ТНТУ, 2018. — С. 44–45.

15. Троян В. В. Аспекти ефективності бетонів для монолітних конструкцій // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2012. – Вип. 43. – С. 175–179.

16. Зятюк Ю. Ю., Поліщук О. М. Дослідження роботи фібробетону при використанні різних армуючих волокон // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. – Луцьк: ЛНТУ, 2025. – Вип. 23. – С. 105–113. – DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-10](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-10)

17. Sivakumar A., Sounthararajan V.M. “Mechanical and hardening properties of accelerator on the cement concrete composites containing metallic reinforcements” (Journal of Civil Engineering and Construction Technology, 2012, Vol. 3, No. 3, pp. 108–115. DOI: 10.5897/JCECT11.084

18. Su Y., et al. Effect of Accelerators on the Workability, Strength, and Microstructure of UHPC // Materials. — 2021. — № 15 (1).

19. Chen J.-X., Jia J., Zhu M., The Effects of Hardening Accelerator on Microstructure and Mechanical Performance of Fly-Ash Cement-Based Materials Using Response Surface Methodology // SSRN. — 2024.

20. Kos Z., et al. Influence of fibres and hardening accelerator on the concrete for rigid pavements // Journal of Materials and Concrete Research. — 2023.

21. Vatin N., Tamrazyan A., Koroteev D.D., Kharun M. Influence of formwork structure on heat treatment of precast concrete elements by solar energy. Engineering Journal. 2021; 25(2): 161–173. <https://engj.org/index.php/ej/article/view/4248/1078>

22. Li W., Lin X., Bao D.W., Xie Y.M. A review of formwork systems for modern concrete construction. Structures. 2022; 38: 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.01.089>

23. Mohseni S.H., Bahij S., Omary S., Feugeas F. Effect of formwork surface texture features on surface morphology, roughness parameters, and the demoulding force of cementitious materials. Journal of Civil and Environmental Engineering. 2022; 12(5)

24. Tong Y., Kong W., Duan Z., Ma L., Guo R., Wei Y. Effect of double-layer formwork curing on the early temperature field and properties of precast concrete components in environments with large diurnal temperature variations. *Low-Carbon Materials and Green Construction*. 2024. <https://link.springer.com/article/10.1007/s44242-024-00052-8>

25. Ahn C.-H., Lee J., Kim D.-J., Shin H.-O. Development of a Novel Concrete Curing Method Using Induction Heating System // *Applied Sciences*. — 2021. — Vol. 11, No. 1. — Article 236. — DOI: 10.3390/app11010236.

26. Lim M-K., Nam K-Y., Choi H. Protection and Heat Insulation Performance Comparison using Insulation Formwork in Winter // *International Journal of Concrete Structures and Materials*. — 2024. — Vol. 18. — Article 62. — DOI: 10.1186/s40069-024-00691-y

27. Shi T., Deng C., Zhao J., Ding P. Temperature field of concrete cured in winter conditions using thermal control measures // *Advances in Materials Science and Engineering*. — 2022. — Vol. 2022. — Article ID 7255601. — DOI: 10.1155/2022/7255601

28. Delijani F., West M., Svecova D. THE EVALUATION OF CHANGE IN CONCRETE STRENGTH DUE TO FABRIC FORMWORK // *Journal of Green Building*. — 2015. — Vol. 10, No. 2. — pp. 113-133. — DOI: 10.3992/jgb.10.2.113.

29. Orr J., Darby A., Ibell T., Evernden M. Durability enhancements using fabric formwork // *Magazine of Concrete Research*. — 2013. — Vol. 65, No. 20. — pp. 1236-1245. — DOI: 10.1680/mac.13.00120

30. Delijani F., West M., Svecova D. THE EVALUATION OF CHANGE IN CONCRETE STRENGTH DUE TO FABRIC FORMWORK // *Journal of Green Building*. — 2015. — Vol. 10, No. 2. — pp. 113-133. — DOI: 10.3992/jgb.10.2.113

31. Lee J., Kim H., Park S., et al. Application of 3D-TRCC permanent formwork with integrated reinforcement for accelerated construction of concrete elements // *Construction and Building Materials*. — 2024. — Vol. 413. — Article 1434. — DOI: 10.1016/S2214-5095(24)01143-4

32. Li W., Lin X., Bao D.–W., Xie Y. “A review of formwork systems for modern concrete construction” // Structures. — 2022. — Vol. 38. — P. 52-63. — DOI: 10.1016/j.istruc.2022.01.089

33. Mardani-Aghabaglou A., Özen S., Altun M. G. Effect of curing conditions during the first 24 hours after casting on the properties of mortar mixtures // Revista de la Construcción. — 2020. — Vol. 19, No. 1. — pp. 68-79. — DOI: 10.7764/rdlc.19.1.68-79

34. Giatec Scientific Inc. Concrete Maturity Calculation Methods. — Ottawa, 2019. — 1 online resource. — URL: <https://www.giatecscientific.com/education/concrete-maturity-calculation-methods/> (дата звернення: 09.11.2025).

35. Development Bureau, Hong Kong. Maturity Method for Estimation of Concrete Strength. — [online PDF] 2022. — Available at: [https://www.devb.gov.hk/filemanager/en/content\\_1332/06\\_Maturity%20Method%20for%20Estimation%20of%20Concrete%20Strength.pdf](https://www.devb.gov.hk/filemanager/en/content_1332/06_Maturity%20Method%20for%20Estimation%20of%20Concrete%20Strength.pdf) (Accessed: 09.11.2025).