МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

магістр
(рівень вищої освіти)

на тему Комп'ютерне моделювання та розрахунок залізобетонних конструкцій житлового будинку

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1924-мбг-дн
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Міське будівництво та господарство
(назва освітньої програми)
Виноградов В.В.
(ініціали та прізвище)

Керівник проф., д.т.н, Банах В.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент проф., к.арх, Осиченко Г. О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код та назва)
Освітня програма Міське будівництво та господарство

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
«01» 07 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Виноградову Владиславу Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Комп'ютерне моделювання та розрахунок залізобетонних конструкцій житлового будинку

керівник роботи проф., д.т.н, Банах В.А.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «10» 09 2025 року № 1303-с .

1 Строк подання студентом роботи 01.02.2026

2 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливість розвинення проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об`єкт досліджень, предмет досліджень, передбачувані методи виконання досліджень

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду монолітного домобудування з визначенням переваг та недоліків технології, а також порівняльний аналіз функціональних можливостей сучасних програмних комплексів (SCAD Office, LIRA-SAPR, МОНОМАХ) для розрахунку будівельних конструкцій.Аналіз напружено-деформованого стану каркаса будівлі та виконання розрахунку армування монолітної плити перекриття

типового поверху з побудовою ізополів переміщень і розробкою схеми розташування основної та додаткової арматури.

4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація із результатами аналітичних обґрунтувань наукового напряму досліджень, результатами експериментальних досліджень, результати розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень

5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Банах В.А.		
2	Банах В.А.		
3	Банах В.А.		

6 Дата видачі завдання 01.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	01.11	
2	Розділ 1	15.11	
3	Розділ 2	01.12	
4	Розділ 3	15.12	
5	Розробка графічної частини	05.01	
6	Оформлення роботи	20.01	
7	Попередній захист	01.02	

Студент _____ Виноградов В.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) _____ Банах В.А.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Гребенюк І.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Виноградов Владислав Володимирович. Комп’ютерне моделювання та розрахунок залізобетонних конструкцій житлового будинку.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник В.А. Банах. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра міського будівництва і архітектури, 2026.

У магістерській роботі досліджено напружено-деформований стан просторового каркаса 16-поверхового житлового будинку та технологію влаштування монолітних перекриттів шляхом комп’ютерного моделювання у програмному комплексі «МОНОМАХ» та порівняльного аналізу сучасного програмного забезпечення.

Встановлено, що проєктування висотних будівель зі складною конфігурацією в плані вимагає відмови від спрощених розрахункових схем, оскільки вони не дозволяють повною мірою врахувати перерозподіл зусиль у нерозрізних системах, що може призвести до недостатньої несучої здатності в зонах концентрації напружень.

Визначено, що використання методу скінченних елементів дозволяє виконати детальний аналіз переміщень і зусиль у елементах каркаса та оптимізувати армування плити перекриття, застосовуючи раціональне поєднання основних сіток і зон додаткового підсилення.

Доведено, що запропоновані конструктивні рішення та розроблені технологічні рекомендації щодо монтажу опалубки й бетонування забезпечують необхідну міцність, жорсткість та експлуатаційну надійність несучих конструкцій запроєктованої будівлі.

Ключові слова: МОНОЛІТНЕ БУДІВНИЦТВО, ЗАЛІЗОБЕТОННИЙ КАРКАС, КОМП’ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, АРМУВАННЯ ПЕРЕКРИТТЯ, ВИСОТНА БУДІВЛЯ.

ABSTRACT

Vynohradov Vladyslav Volodymyrovych. Computer Modeling and Calculation of Reinforced Concrete Structures of a Residential Building.

Master's qualification thesis for the degree of Master in specialty 192 – Construction and Civil Engineering, supervisor V.A. Banakh. Yu.M. Potebnia Engineering Educational and Scientific Institute of ZNU, Department of Urban Construction and Architecture, 2026.

The master's thesis investigates the stress-strain state of the spatial frame of a 16-story residential building and the technology of monolithic floor slab construction through computer modeling in the "MONOMAKH" software complex and a comparative analysis of modern software.

It has been established that the design of high-rise buildings with a complex plan configuration requires abandoning simplified calculation models, as they do not allow for fully accounting for the redistribution of forces in continuous systems, which can lead to insufficient load-bearing capacity in stress concentration zones.

It has been determined that the use of the finite element method allows for a detailed analysis of displacements and forces in the frame elements and optimization of the floor slab reinforcement by applying a rational combination of main reinforcement meshes and zones of additional reinforcement.

It has been proven that the proposed structural solutions and developed technological recommendations regarding formwork installation and concreting ensure the necessary strength, stiffness, and operational reliability of the load-bearing structures of the designed building.

Keywords: MONOLITHIC CONSTRUCTION, REINFORCED CONCRETE FRAME, COMPUTER MODELING, FINITE ELEMENT METHOD, SLAB REINFORCEMENT, HIGH-RISE BUILDING.

ЗМІСТ

	ВСТУП	8
Розділ 1	ОГЛЯД ВІТЧИЗНЯНОГО ТА ЗАРУБІЖНОГО ДОСВІДУ МОНОЛІТНОГО БУДІВНИЦТВА	12
1.1	Монолітне будівництво: історія та перспективи	12
1.2	Монолітні перекриття: встановлення опалубки, армування та бетонування	17
1.3	Будівлі та умови, в яких застосовуються монолітні плити перекриття	17
1.4	Підготовчі роботи	18
1.5	Вибір та розрахунок опалубки	30
1.6	Бетонування плити перекриття	38
1.7	Висновки до розділу 1	42
Розділ 2	АНАЛІЗ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ	44
2.1	AutoCAD Structural Detailing	45
2.2	Autodesk Revit Structure	47
2.3	Allplan 2025 Engineering	49
2.4	SCAD Office	53
2.5	Програмний комплекс ЛІРА-САПР	55
2.6	Програмний комплекс МОНОМАХ	57
2.7	STAAD.Pro	59
2.8	Autodesk Robot Structural Analysis Professional	61
2.9	Висновки до розділу 2	62
Розділ 3	РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНИЙ	63
3.1	Вихідні дані для проєктування	63
3.2	Конструктивні рішення	64
3.3	Розрахунок каркаса будівлі	65
3.4	Аналіз роботи каркаса будівлі за різних видів навантажень	69
3.5	Аналіз роботи плити 3-го поверху будівлі при різних видах	

навантаження 78
3.6 Перегляд розрахункового армування у графічному та цифровому вигляді 82
3.7 Висновки до розділу 3 86
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ 88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 89

ВСТУП

Актуальність дослідження. Монолітне будівництво — це метод зведення будівель, при якому основним матеріалом конструкцій є монолітний залізобетон. Основна особливість монолітного будівництва полягає в тому, що місцем виготовлення матеріалу для монолітних будівель є безпосередньо будівельний майданчик. Застосування монолітного залізобетону дозволяє реалізовувати різноманіття архітектурних форм, а також скоротити витрати сталі на 7–20 % і бетону до 12 %. Однак при цьому зростають енерговитрати, особливо в зимовий період, та підвищується трудомісткість робіт на будівельному майданчику.

В останні десятиліття в Україні, поряд зі збірним домобудуванням де виготовлення основних несучих конструкцій здійснюється на домобудівних комбінатах та заводах залізобетонних виробів, почав активно впроваджуватися та домінувати метод монолітного домобудування. Він дозволяє виготовляти конструкції (стіни, перекриття, колони, сходові марші тощо) безпосередньо на будмайданчику під час зведення будівлі. Для цього застосовуються різні типи сучасних опалубних систем.

За кордоном (США, Англія, Франція, Туреччина та ін.) обсяг будівель із монолітного бетону становить 60–80 % від загального обсягу будівництва. В Україні частка монолітного та монолітно-каркасного будівництва постійно зростає і на сьогодні є основною технологією при зведенні висотних житлових комплексів та комерційної нерухомості у великих містах.

Техніко-економічний аналіз показує, що в ряді випадків монолітний залізобетон є ефективнішим за витратами металу, сумарною трудомісткістю та приведеними витратами.

Будівництво монолітних будівель порівняно зі збірним дозволяє знизити одноразові витрати на створення виробничої бази на 30–40 % відпадає необхідність у потужних заводах ЗБВ, ЗБК та ДБК, зменшити витрати сталі на 10–20 % за рахунок відсутності технологічної та монтажної арматури, властивої збірним конструкціям та енергетичні витрати — на 30 % відсутність процесів формування та пропарювання виробів на заводі.

Іншими перевагами монолітних будівель є можливість будівництва в сейсмічних районах що актуально для деяких регіонів України, наприклад, Одеської області, Карпатського регіону; робота в умовах, де відсутня виробнича база збірного залізобетону; зручність при реконструкції будівель, а також варто відзначити архітектурну виразність об'єктів, виконаних у монолітному варіанті.

Основними напрямами вдосконалення будівництва монолітних будівель є:

- мінімізація та технічне оснащення ручних процесів;
- застосування індустріальних технологічних опалубок;
- впровадження спеціалізованих високопродуктивних машин, механізмів та обладнання (сучасні бетонозмішувальні вузли та бетононасосні установки);
- широке застосування хімічних добавок у технології бетонування та використання ефективних будівельних матеріалів;
- інтенсифікація монолітних процесів та збільшення потужностей засобів ведення бетонних робіт;
- розробка та впровадження ефективних методів бетонування в зимових умовах (прогрів бетону, використання протиморозних добавок);
- підготовка висококваліфікованих кадрів для виконання монолітних робіт.

Комплексний технологічний процес будівництва монолітних будівель включає опалубні, арматурні та бетонні роботи. До основних процесів монолітних робіт належать: монтаж і демонтаж опалубки, встановлення, в'язка або зварювання арматури та укладання бетонної суміші.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є проведення комп’ютерного моделювання напружено-деформованого стану просторового каркаса багатоповерхового житлового будинку та виконання розрахунку його несучих залізобетонних конструкцій із застосуванням сучасних програмних комплексів на основі методу скінченних елементів.

Завдання дослідження:

1) Провести аналіз зведення житлових будинків за монолітною технологією;

2) Провести аналіз проєктування та влаштування монолітного перекриття;

3) Провести аналіз програмних комплексів у галузі моделювання та розрахунку залізобетонних несучих конструкцій;

4) Провести аналіз роботи каркаса будівлі при дії різних завантажень;

5) Провести аналіз роботи плити перекриття будівлі при дії різних завантажень.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є технологія зведення багатоповерхових будівель і споруд із застосуванням монолітного залізобетону.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є процеси проєктування, розрахунку та технологія влаштування монолітних залізобетонних плит перекриття в умовах сучасного будівництва.

Методи дослідження. Застосовується комплексна методика, що включає аналіз, узагальнення та систематизацію теоретичних і практичних праць за темою, офіційних документів, натурних досліджень, графоаналітичних побудов ідеальних моделей. Дослідження об'єктів

здійснювалося на основі архівних документів та спостережень.

Наукова новизна одержаних результатів. Уточнено напружено-деформований стан каркаса 16-поверхової односекційної будівлі складної конфігурації в умовах ґрунтів м. Харків із застосуванням ПК «МОНОМАХ». Виконано порівняльний аналіз розподілу зусиль у монолітній плиті перекриття при різних сполученнях навантажень, що дозволило оптимізувати схему армування (визначено зони додаткового посилення).

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено конструктивну схему та виконано повний розрахунок несучого каркаса 16-поверхового житлового будинку, що підтверджує надійність та безпеку експлуатації запроєктованої споруди. Наведено детальний алгоритм розрахунку та конструювання монолітної плити, який може бути використаний у реальному будівництві або навчальному процесі.

Особистий вклад дослідника. Особистий внесок автора полягає у створенні тривимірної скінченно-елементної моделі 16-поверхового будинку в ПК «МОНОМАХ» та проведенні розрахунку його каркаса, на основі чого розроблено схему армування плити перекриття та технологічні вказівки щодо виконання монолітних робіт.

Апробація результатів роботи. Результати роботи доповідалися на XVIII університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2025» з доповіддю «Програмне забезпечення для проектування будівельних конструкцій»[27].

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, основних висновків, списку використаних джерел, містить 92 сторінки, 41 рисунок, 7 таблиць, 40 найменування у списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1
ОГЛЯД ВІТЧИЗНЯНОГО ТА ЗАРУБІЖНОГО ДОСВІДУ МОНОЛІТНОГО БУДІВНИЦТВА

1.1 Монолітне будівництво: історія та перспективи

Висотні будівлі є візитівками багатьох міст світу. Країни, що збудували хмарочоси, належать до особливої спільноти новаторів у галузі архітектури та інженерної справи, і бути її учасником вельми престижно. Висотне будівництво динамічно розвивається. Тон йому задали ще в кінці XIX століття в США. У Європі перші висотні споруди з'явилися лише в 1950–60-х роках, із відставанням від Америки на півстоліття.

Для того щоб описати історію людства, потрібні часові орієнтири, що відзначають стрибок розвитку цивілізації. У Стародавньому світі такими історичними віхами стали сім чудес світу. До наших днів вони майже не збереглися, але пам'ять про них залишилася в історії, і доки людство живе, воно створює нові й нові дива інженерної та архітектурної думки.

У наш урбаністичний час такими «маяками» можуть бути монолітні споруди: вони мають довгу історію та перевірену часом надійність. Поширена думка, що монолітне домобудування — це нове слово в будівництві, і початок використання цієї технології припадає на 90-ті роки XX століття. Це не так.

Грунтуючись на історичних фактах, можна стверджувати, що монолітне будівництво давно себе зарекомендувало, і можна не сумніватися, що у цієї технології велике майбутнє. З перемінним успіхом вона пробивала собі шлях в Україні (варто згадати хоча б харківський Держпром — перший радянський хмарочос із монолітного залізобетону) і зараз активно використовується в багатоповерховому будівництві.

Стародавній Рим. Цікавою є історія розвитку монолітного будівництва. Перший і найвідоміший приклад споруди з використанням цього методу датується 118–120 рр. н.е. У Римі зберігся чудовий пам'ятник епохи

імператора Адріана — храм усіх богів — Пантеон (зодчий Аполлодор), значення якого в історії мистецтва величезне. В історію будівництва він увійшов як приклад новаторського підходу, що набагато випередив свій час.

Римляни першими почали застосовувати в будівництві бетон. З нового матеріалу споруджувалися великі монолітні конструкції, здатні перекривати широкі прольоти, — так у римській архітектурі з'явилися куполи та склепіння. Будівельна конструкція, завдяки новій монолітній технології, набула естетики.

Україна. Історія та розвиток технологій. На початку XX століття у зв'язку з пошуком нових форм були відкриті унікальні можливості бетону, і традиційна естетика архітектурної композиції змінилася естетикою конструктивізму. Бетон, а згодом і залізобетон, із використанням опалубки давав можливість архітектору творити як скульптору, «ліпити» раніше небачені форми.

Саме Україна стала одним із світових центрів розвитку конструктивізму та передових технологій залізобетону у 20–30-х роках XX століття. Яскравим прикладом є будівля Держпрому (Будинок Державної промисловості) у Харкові (1925–1928 рр.). Це перший у світі хмарочос, виконаний із монолітного залізобетону.

Його зведення стало справжнім інженерним подвигом: унікальна просторова система рам та перекриттів була розрахована та втілена в життя, коли подібних аналогів у Європі ще не існувало.

У цей же період активно впроваджувалися монолітні конструкції у промисловому та гідротехнічному будівництві. Грандіозним проєктом стало будівництво ДніпроГЕС у Запоріжжі (1927–1932 рр.), де було укладено рекордні обсяги монолітного бетону. Ці об'єкти довели універсальність монолітного будівництва, дозволяючи змінювати звичні форми та створювати новий архітектурний вигляд країни.

Висотне будівництво та повоєнна відбудова. Після Другої світової війни перед архітекторами постало завдання відбудови міст та створення нових архітектурних домінант. У Києві, Харкові та інших містах почали проєктувати

будівлі підвищеної поверховості, використовуючи досвід висотного будівництва (зокрема, американських хмарочосів та радянських висоток).

Знаковим проєктом стала відбудова вулиці Хрещатик у Києві. Тут застосовувалися передові на той час технології, включаючи використання кераміки та залізобетонних каркасів.

Архітектурною домінантою, яка стала українським аналогом відомих висоток тієї епохи, є готель «Україна» на Майдані Незалежності. Його будівництво розпочалося у 1954 році. Це яскравий приклад «сталінського ампіру», де складна конструктивна схема поєднувалася з монументальним архітектурним образом.

У Харкові визначним прикладом цієї епохи є Будинок зі шпилем на майдані Конституції (1950–1954 рр.), який також демонструє можливості поєднання цегляної кладки та залізобетонних елементів у висотному будівництві.

Окремої уваги заслуговує будівництво Київського метрополітену відкритого у 1960 році. Станція «Арсенальна», найглибша у світі (105,5 м), та купольні конструкції інших станцій стали результатом складних інженерних розрахунків та використання високоміцного бетону й чавунних тюбінгів, що підтвердило високий рівень вітчизняної інженерної школи.

Перспективи монолітного будівництва в Україні. Сучасний етап розвитку будівництва в Україні характеризується повним домінуванням монолітно-каркасної технології у житловому та комерційному секторі.

Перспективи монолітного будівництва в нашій країні безпосередньо пов'язані з перевагами самої технології. Світова та українська статистика свідчить: монолітне домобудування посіло провідне місце завдяки можливості вільного планування, високій швидкості зведення та сейсмостійкості.

Сьогодні українські інженери проєктують та зводять житлові комплекси висотою 30+ поверхів, використовуючи найсучасніші опалубні системи та програмні комплекси для розрахунку (такі як ЛІРА-САПР, МОНОМАХ, SCAD), продовжуючи традиції новаторства, закладені ще при будівництві

Держпрому.

У США, Китаї та низці країн Європи частка монолітного будівництва перевищує 50 % у висотному домобудуванні (згідно з міжнародними аналітичними даними). Найбільшого поширення будівництво монолітних будівель набуло в країнах Сходу. У Пекіні близько 85 % будівель зводиться з використанням саме цієї технології.

За кордоном накопичено значний досвід монолітного будівництва різних споруд — і не тільки висотних, а й малоповерхових. В Америці, наприклад, яку прийнято вважати малоповерховою, поряд із каркасним будівництвом успішно розвивається будівництво монолітних кондомініумів.

У США збудовано вже понад 100 хмарочосів із монолітною несучою конструкцією, бетон впевнено витісняє сталь із цієї сфери застосування. Бетон широко поширений у Європі, йому вже віддають перевагу країни Південно-Східної Азії та Перської затоки.

Застосування монолітного залізобетону в будівлях висотою до 70 поверхів дозволяє підвищити їхню жорсткість, забезпечити вогнестійкість конструкцій, гарантує більшу стійкість, сприяє швидкому згасанню коливань і робить можливою реалізацію сміливих архітектурних задумів.

Без цих технологій було б неможливо звести найвищі будівлі у світі, такі як вежа «Бурдж-Халіфа» (Burj Khalifa) висотою 828 м у Дубаї (ОАЕ), вежа «Тайбей 101» (Taipei 101) висотою 509 м (Тайвань), вежа «Вілліс-тауер» (Willis Tower) висотою 527 м (США), і такі складні за архітектурою об'єкти, як «Аль-Хамра Фірдаус» (Al Hamra Tower) у Кувейті (412 м).

Переваги:

Вимоги до промислових та цивільних об'єктів постійно зростають. Державні будівельні норми України та міжнародні стандарти закріпили технічні й експлуатаційні переваги монолітних будинків над будинками інших конструктивних рішень. Монолітні будівлі відповідають сучасним вимогам до тепло- і звукоізоляції (особливо в поєднанні з сучасними фасадними системами), мають тривалий термін експлуатації та високу сейсмічну

стійкість.

Монолітна технологія дозволяє створювати різноманітні архітектурні та планувальні рішення (наприклад, квартири з вільним плануванням), дає можливість комбінувати литі бетонні конструкції зі збірними залізобетонними, панельними, металевими та іншими конструктивними елементами.

Перспективи:

У монолітному домобудуванні простежуються два напрями розвитку.

Перший напрям пов'язаний із масовим зведенням будівель переважно житлових. Цей напрям охоплює величезний ринок житла всіх категорій — від "економ" до "преміум" класу. Попит на якісне та безпечне житло в Україні залишається стабільно високим. Одночасно з цим зростає потреба в різноманітних архітектурних рішеннях, що створюють сучасний вигляд нових житлових кварталів та оновлених «спальних» районів.

Сумнівів бути не може: роботи в цій галузі вистачить на десятиліття, особливо враховуючи необхідність масштабної відбудови та модернізації житлового фонду країни.

Другий напрям — це будівництво за індивідуальними проєктами цілих комплексів, що виконують роль містобудівних акцентів. Прикладом можуть слугувати сучасні багатофункціональні комплекси та ділові центри у Києві у районі Печерська або діловий кластер Gulliver/Parus та Дніпрі знаменита концепція «Міська Брама» та висотні комплекси на набережній.

У рамках стратегій розвитку та відбудови українських міст планується подальше зведення висотних будівель та інфраструктурних об'єктів, де основним матеріалом виступає саме монолітний залізобетон. Реалізація планів такого масштабу потребує часу, і, враховуючи надійність, швидкість зведення та сучасні тенденції, у цієї технології в Україні — велике майбутнє.

1.2 Монолітні перекриття: встановлення опалубки, армування та бетонування

Монолітна плита перекриття — це плоска горизонтальна несуча конструкція із залізобетону, що споруджується під час зведення будівлі шляхом бетонування. Для влаштування монолітного перекриття попередньо встановлюється опалубка, яка армується робочими та конструктивними стрижнями, діаметр і крок яких визначаються розрахунком.

Плита перекриття сприймає комплекс постійних і тимчасових навантажень від розташованих на ній конструкцій, меблів, людей, обладнання тощо в житлових, громадських, виробничих та комерційних об'єктах і передає їх на опори — несучі стіни. Крім того, за рахунок взаємодії з поздовжніми та поперечними стінами, плити перекриття надають просторову жорсткість і забезпечують стійкість конструкції всієї будівлі. Розрахунок монолітного перекриття здійснюється з урахуванням усіх навантажень, що діють на конструкцію, за їх максимального сполучення.

Монолітна плита — надійна конструкція, проте її влаштування пов'язане з великими трудовитратами, зумовленими встановленням опалубки, арматурними роботами, бетонуванням та подальшим доглядом за бетоном. Набір бетоном міцності, необхідної для зведення вищерозміщених конструкцій, займає тривалий час в обмеженому діапазоні температури та вологості, що спричиняє збільшення термінів будівництва. У зв'язку з цим залізобетонні перекриття з монолітного бетону повинні використовуватися у певних, обґрунтованих випадках[32].

1.3 Будівлі та умови, в яких застосовуються монолітні плити перекриття

Монолітні перекриття найбільш раціонально використовувати при зведенні наступних споруд та за певних умов:

- у будівлях, що мають складну архітектуру та конфігурацію в плані, при якій складно розташувати збірні плити і доводиться виконувати велику кількість монолітних ділянок;
- у стислих умовах, коли неможливо доставити збірні вироби до місця будівництва та розмістити на майданчику вантажопідйомну техніку для монтажу;
- при великих прольотах, які неможливо перекрити серійними залізобетонними виробами. У цих випадках перекриття можуть бути споруджені з опиранням на проміжні стійки по металевих балках, з використанням монолітних підсилюючих ребер у складі конструкції;
- при складних умовах експлуатації споруди: високих навантаженнях на перекриття, що перевищують максимальну несучу здатність серійних залізобетонних плит; підвищеній вологості (наприклад, у приміщеннях автомийок, басейнів тощо), що викликає прискорену корозію, що висуває особливі вимоги до матеріалу конструкцій; необхідності влаштування підвищеної шумоізоляції;
- при зведенні збірно-монолітних та монолітних споруд із відпрацьованою технологією комплексу робіт зі встановлення опалубки та армування.

1.4 Підготовчі роботи

Розглянемо, як визначається армування плити перекриття, клас (марка) бетону та товщина плити, як розраховується і підбирається необхідна кількість елементів опалубки. Користуючись наведеною методикою, можна виконати влаштування монолітного перекриття власноруч.

Для прикладу візьмемо одноповерховий житловий будинок, креслення якого ми наводимо нижче, з розмірами в осях 10 х 9,6 м і несучою стіною, розташованою всередині.

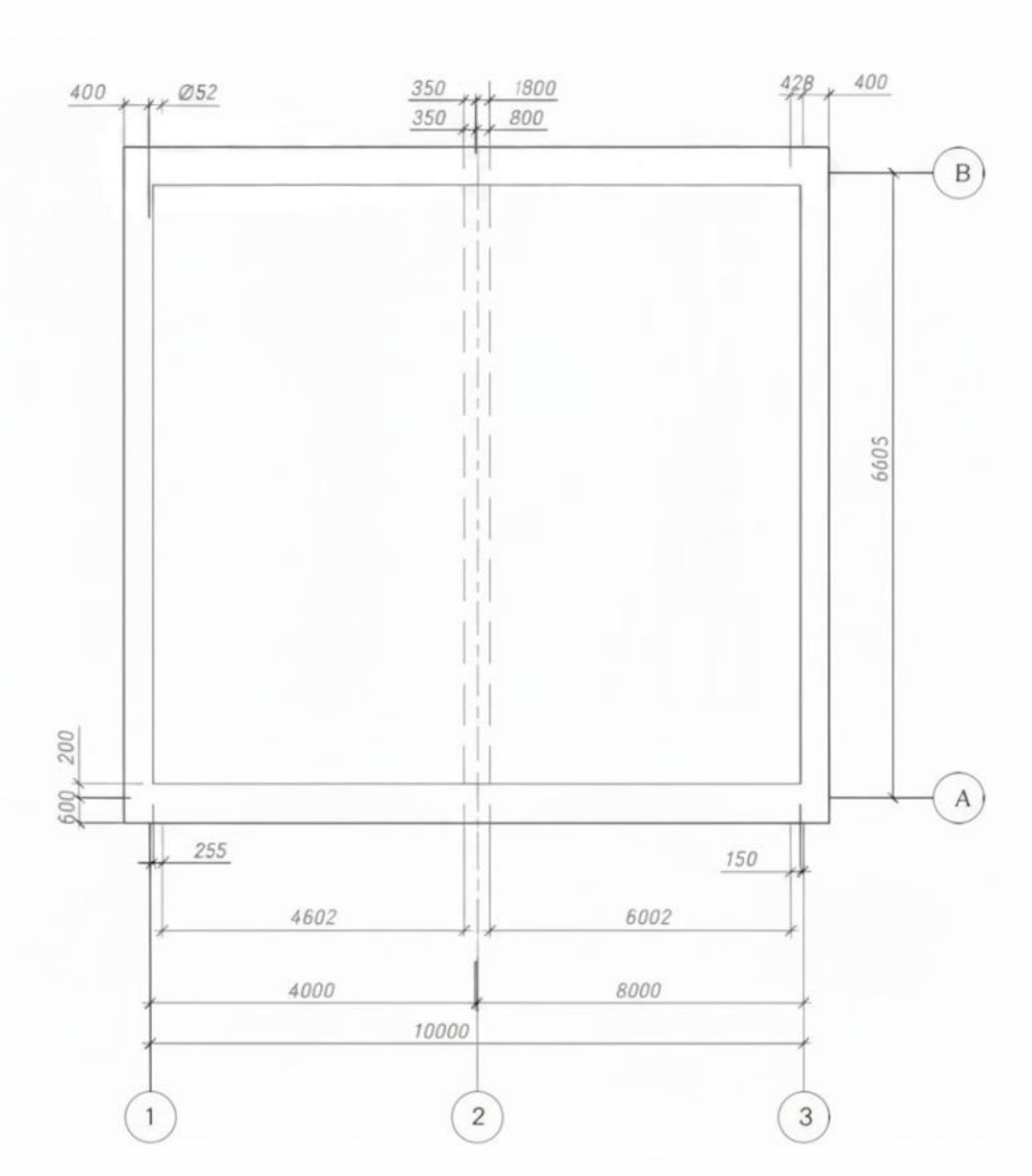


Рисунок 1.1 - План перекриття.

Розрахунок армування.

Як схему для розрахунку діаметрів робочої та конструктивної арматури монолітну плиту розглядають як балку, однопролітну або багатопролітну, шириною 100 см. Найпростіший випадок — це плита, що має опирання на стіни по контуру.

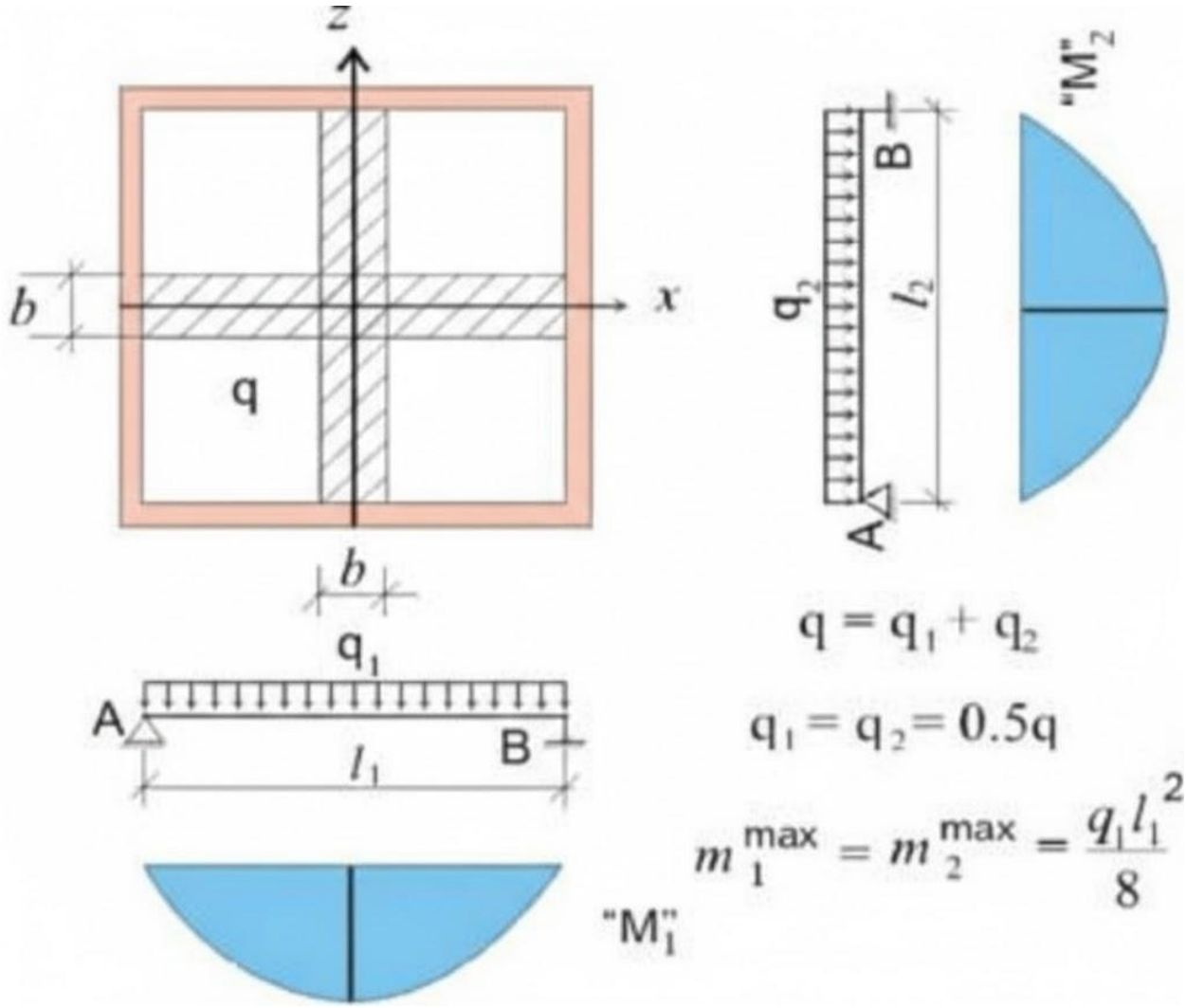


Рисунок 1.2 - Розрахункова схема перекриття з опиранням по контуру

Розрахунок такої плити полягає у визначенні моментів «М» у двох перпендикулярних напрямках, що виникають під впливом зовнішніх розподілених навантажень «q» (власної ваги плити, ваги підлоги, перегородок, людей, меблів та обладнання).

Розрахункова схема являє собою двопролітну балку з моментами, що виникають у прольотах і створюють розтягувальні зусилля в нижній зоні перерізу, та на середній опорі, де зусилля розтягу впливають на конструкцію у верхній зоні перерізу[32].

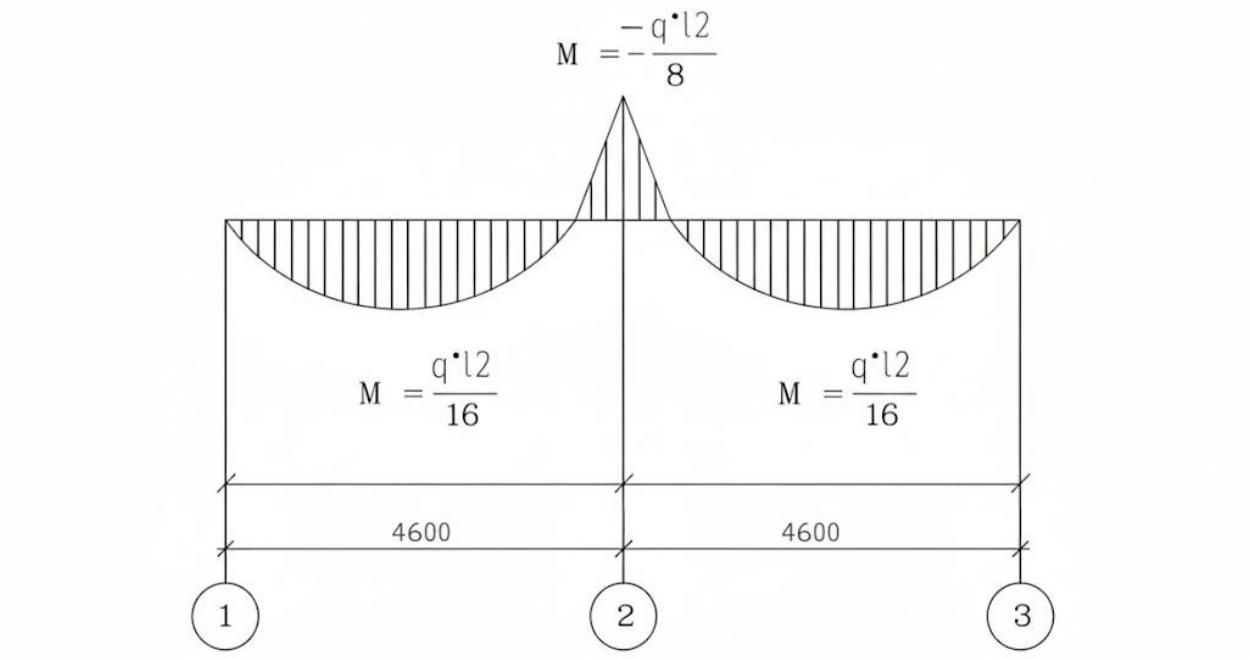


Рисунок 1.3 - Епюри моментів у прольотах і на опорі монолітного перекриття

Основними конструктивними параметрами плоских плит перекриттів є розміри поперечного перерізу, клас бетону за міцністю на стиск та вміст поздовжньої арматури, що визначаються залежно від навантаження на перекриття та довжини прольотів.

При проєктуванні рекомендується приймати оптимальні конструктивні параметри перекриттів, що встановлюються на основі техніко-економічного аналізу та розрахунків за граничними станами.

При цьому для плоских безбалкових плит перекриттів суцільного перерізу рекомендується приймати товщину:

- не менше 160 мм (для забезпечення міцності на продавлювання та розміщення арматури);
- не менше 1/30...1/35 довжини найбільшого прольоту (для забезпечення вимог щодо жорсткості та прогинів);
- не більше 250–300 мм (при більших товщинах доцільно застосовувати полегшені конструкції, наприклад, з пустотоутворювачами, або вводити капітелі/балки).

Мінімальний клас бетону для монолітних перекриттів рекомендується приймати не нижче С16/20, а для висотного будівництва та значних прольотів — не нижче С20/25.

На підставі нормативних вимог приймемо такі параметри для плити:

- Товщина монолітної плити перекриття — 160 мм. При цьому робоча висота перерізу d дорівнюватиме 140 мм (за вирахуванням захисного шару бетону 20 мм).
- Клас бетону — С16/20.
- Розрахунковий опір бетону на стиск: f_{cd}=10,6 МПа.
- Клас арматури — А400С.
- Розрахунковий опір арматури розтягу: f_{yd}=355 МПа.

Перш ніж виконати розрахунок моментів у прольотах, визначаємо розподілене навантаження «q».

Таблиця 1.1 - Розподілене навантаження

№ з/п	Найменування навантаження	Нормативне навантаження, кгс/м²	Коефіцієнт надійності за навантаженн	Розрахункове навантаж
1	Підшивка з дошки 20 мм, накат з дошки 20 мм і настил з дошки 25 мм, чиста підлога 25 мм — (0,02+0,02+0,025+0,025)×600кг/м^3=54кг/м^2; черепні бруски 50×50 мм — (0,0025×600)×2=3кг/м^2; вага гіпсокартонного листа підшивки — 7,5кг/м^2. Разом — 64,5кг/м^2.	64,5	1,3	83,9
2	Вага перегородок	50	1,3	65

3	Корисне рівномірно розподілене навантаження для житлових приміщень (див. табл. 6.2 ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи»)	150	1,2	180
4	РАЗОМ	264,5		328,9

q=813,7 кг/м² або на погонний метр уздовж довжини розрахункової балки.

Розраховуємо моменти, що діють у прольотах та на середній опорі, за формулами:

$M_{пр} = \frac{8,13*4,6^2}{16}$ =1076 кг·м

$M_{оп} = \frac{8,13*4,6^2}{6}$=2152 кг·м

Визначаємо значення допоміжного коефіцієнта A_0 для прольоту за формулою:

$A_0 = \frac{107600кг·см}{100см·(14см)^2·115кг/см^2}$100 см·(14 см)2·115 кг/см2 =0,048

З наведеної нижче таблиці знаходимо найбільш близьке до отриманого A_0 значення допоміжного коефіцієнта η.

Таблиця 1.2 - Значення допоміжного коефіцієнта η

A_0	η	A_0	η
0,01	0,995	0,295	0,82
0,02	0,99	0,301	0,815
0,03	0,985	0,309	0,81
0,039	0,98	0,314	0,805
0,048	0,975	0,320	0,80
0,058	0,97	0,326	0,795

A_0	η	A_0	η
0,067	0,965	0,332	0,79
0,077	0,96	0,337	0,785
0,085	0,955	0,343	0,78
0,095	0,95	0,349	0,775
0,104	0,945	0,354	0,77
0,113	0,94	0,359	0,765
0,121	0,935	0,365	0,76
0,13	0,93	0,37	0,755
0,139	0,925	0,375	0,75
0,147	0,92	0,38	0,745
0,155	0,915	0,385	0,74
0,164	0,91	0,39	0,735
0,172	0,905	0,394	0,73
0,180	0,90	0,399	0,725
0,188	0,895	0,403	0,72
0,196	0,89	0,408	0,715
0,203	0,885	0,412	0,71
0,211	0,88	0,416	0,705
0,211	0,88	0,416	0,705
0,219	0,875	0,420	0,70

A_0	η	A_0	η
0,219	0,875	0,420	0,70
0,226	0,87	0,424	0,695
0,236	0,865	0,428	0,69
0,241	0,86	0,432	0,685
0,248	0,855	0,435	0,68
0,255	0,85	0,439	0,675
0,262	0,845	0,442	0,67
0,269	0,84	0,446	0,665
0,275	0,835	0,449	0,66
0,282	0,83	0,452	0,655
0,289	0,825	0,455	0,65

η=0,975

Визначаємо необхідну площу арматури за формулою:

$A_s = \frac{107600кг \cdot см}{0,975 \cdot 14см \cdot 3620кг/см^2} = 2,18\ см^2$

З наведеної нижче таблиці знаходимо, що при рекомендованому нормами кроці робочих стрижнів 200 мм на розрахунковій ширині перерізу можна розмістити 5 стрижнів робочої арматури діаметром 8 мм.

Таблиця 1.3 - Таблиця площ поперечного перерізу арматури

Діаметр арматури, мм	Площа перерізу арматурних стрижнів, см², при кількості стрижнів								Маса 1 пог. м, кг
	1	2	3	4	5	6	7	8	
3	0,071	0,141	0,212	0,283	0,353	0,424	0,5	0,565	0,052

4	0,126	0,25	0,88	0.5	0,68	0,75	0,88	1	0,092
5	0,196	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1,38	1,57	0,154
6	0,283	0,57	0,85	1,13	1,42	1,70	1,98	2,26	0,222
7	0,385	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	0,302
8	0,503	1,01	1,51	2,01	2,52	3,02	3,52	4,02	0,395
9	0,636	1,27	1,91	2,54	3,18	3,82	4,45	5,09	0,499
10	0,785	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	0,617
12	1,131	2,26	3,39	4,52	5,65	6,78	7,91	9,04	0,888
14	1,539	3,08	4,61	6,15	7,69	9,23	10,77	12,3	1,208
16	2,011	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	1,578
18	2,545	5,09	7,63	10,17	12,7	15,26	17,8	20,36	1,998
20	3,142	6,28	9.41	12,56	15,7	18,84	22,0	25,13	2,465
22	3,801	7,60	1,40	15,20	19.0	22,81	26,61	30,41	2,984
25	4,909	9,82	14,73	19,64	24,54	29,45	34,36	39,27	3,85
28	6,153	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,1	49,26	4,83
32	8,043	16,09	24,18	32,17	40,21	28,26	56,3	63,34	6,31
36	10,179	20,36	30,54	40,72	50,89	61,07	71,25	81,43	7,99
40	12,561	25,13	37,7	50,27	62,83	75,4	87,96	100,53	9,865

Відповідно до принципів конструювання залізобетонних будівель (ДБН В.2.6-98:2009[18]):

Кількість верхньої та нижньої поздовжньої арматури в плиті перекриття слід встановлювати відповідно до діючих зусиль (епюри моментів). З метою спрощення армування та уніфікації робіт рекомендується:

- Встановлювати нижню арматуру однаковою по всій площі конструкції, розраховуючи її за максимальним згинальним моментом у прольоті.
- Основну верхню арматуру приймати такою самою, як і нижню, а в зонах опор, де виникають пікові моменти, — встановлювати додаткове підсилення».

Керуючись цими рекомендаціями, приймаємо армування монолітної плити у вигляді двох сіток з поздовжньою робочою арматурою діаметром 8 мм класу А400С із кроком 200 мм. У поперечному напрямку встановлюємо конструктивну арматуру діаметром 6 мм класу А400С із кроком 200 мм.

Оскільки у прикладі ми розглядаємо двопролітну нерозрізну балку з моментом, що виникає на опорі, виконуємо розрахунок для опорної зони:

$M_{оп}$=2152кг·м=215200кг·см

Визначаємо коефіцієнт α_m:

$$\alpha_m = \frac{M_{оп}}{b*h_o^2*f_{cd}} = \frac{215200}{100*14^2*115} = 0{,}095$$

За таблицею підбору знаходимо коефіцієнт η=0,95.

Визначаємо необхідну площу арматури A_s:

$$A_s = \frac{M_{оп}}{b*h_o^2*f_{yd}} = \frac{215200}{0{,}95*14^2*3620} = 4{,}46 см^2$$

Висновок та конструктивне рішення:

Таким чином, у приопорній частині потрібне посилене армування верхньої зони. Дія опорного моменту поширюється на відстань, що дорівнює приблизно 0,25 довжини прольоту в обидва боки від опори згідно з епюрою матеріалів.

За знайденою необхідною площею арматури 4,46 см² теоретично

потрібне армування 5-ма стрижнями діаметром 12 мм на 1 метр погонний.

Оскільки ми вже прийняли основне армування верхньої зони сіткою зі стрижнями Ø8 А400С крок 200 мм, площа якої становить 2,51 см², нам необхідно покрити різницю:

$4{,}46 - 2{,}51 = 1{,}95\ см^2$

Приймаємо наступне конструктивне рішення: У приопорній зоні додатково (між стрижнями основної сітки) встановлюємо окремі стрижні діаметром 8 мм А400С із кроком 200 мм.

- Сумарна площа арматури на опорі складе: $2{,}51(основна) + 2{,}51(додаткова) = 5{,}02\ см^2$, що більше за необхідні $4{,}46\ см^2$. Умова виконується.

Довжина додаткових стрижнів приймається 270 см (для перекриття зони 0,25L в обидва боки + довжина анкерування).

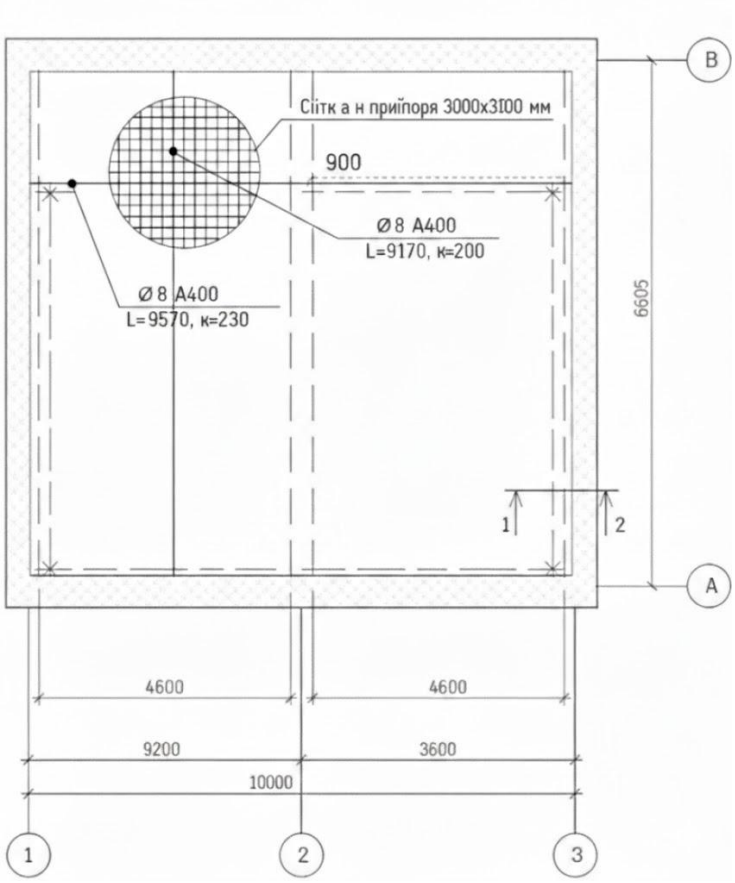


Рисунок 1.4 - План нижнього армування плити перекриття

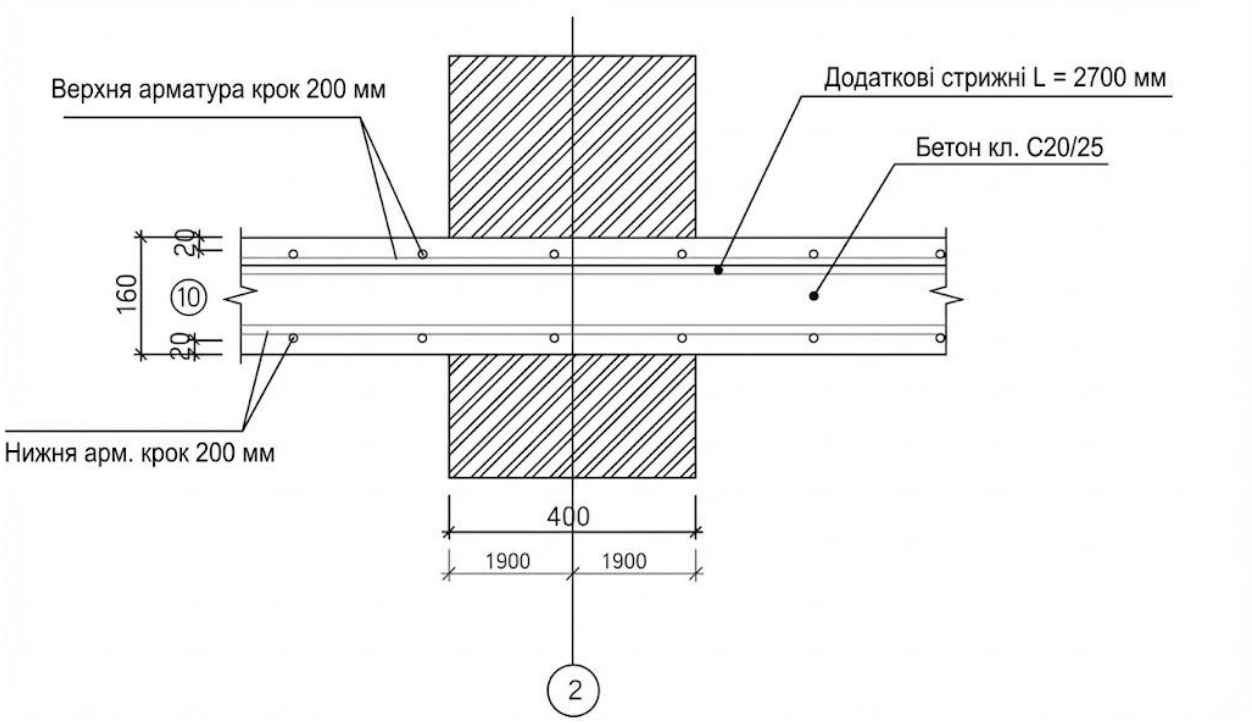


Рисунок 1.5 - Вузол спирання монолітного перекриття на середню несучу стіну

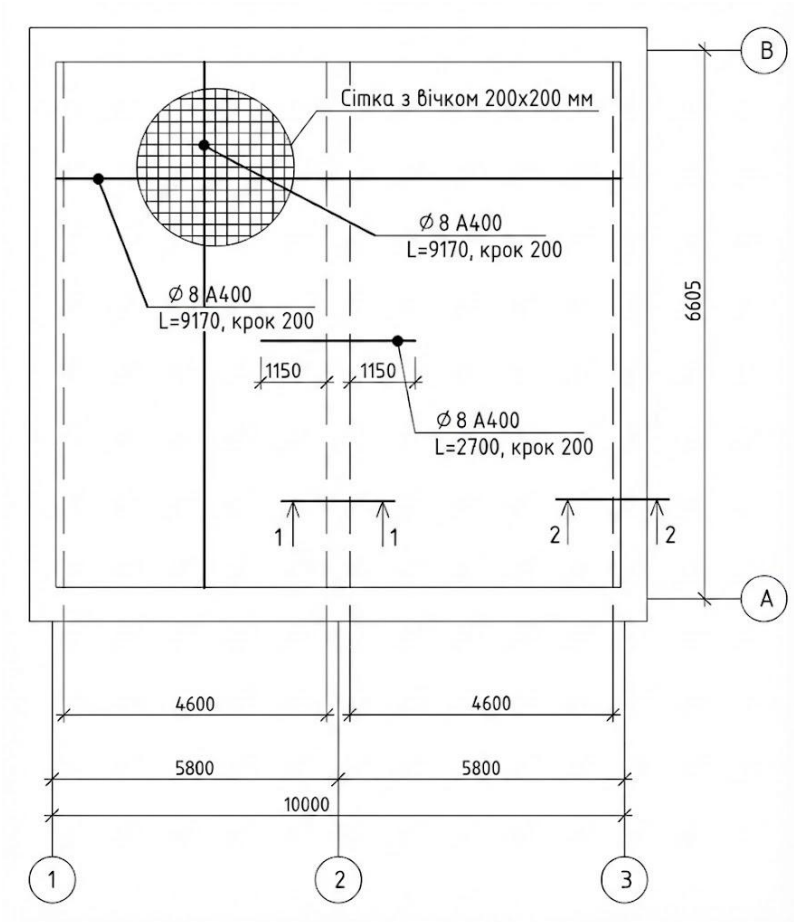


Рисунок 1.6 - Схема верхнього армування монолітної плити перекриття

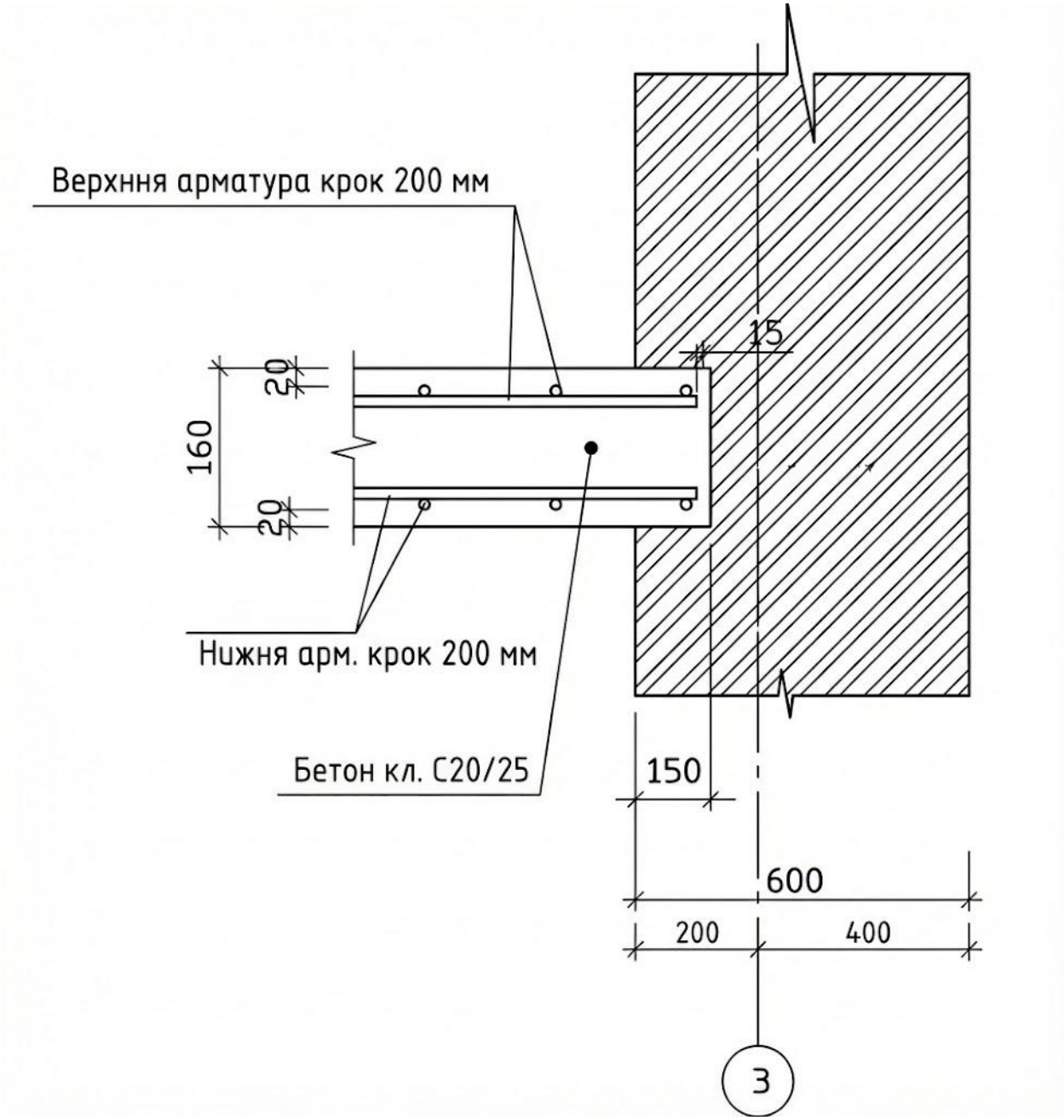


Рисунок 1.7 - Вузол спирання монолітної плити перекриття на зовнішню несучу стіну

1.5 Вибір та розрахунок опалубки

Влаштування монолітного перекриття слід виконувати, використовуючи інвентарну опалубку, застосування якої дозволить досягти належної якості.

Стандартна інвентарна опалубка для перекриттів включає: телескопічні стійки з триногами та універсальними вилками (унівилками або «коронами»), дерев’яні двотаврові опорні ригелі та балки, листи з ламінованої фанери.

Балки та ригелі мають висоту 200 мм і стандартну довжину: 2,0; 2,5; 2,8; 3,0; 3,3; 3,6; 3,9; 4,2; 4,5 м.

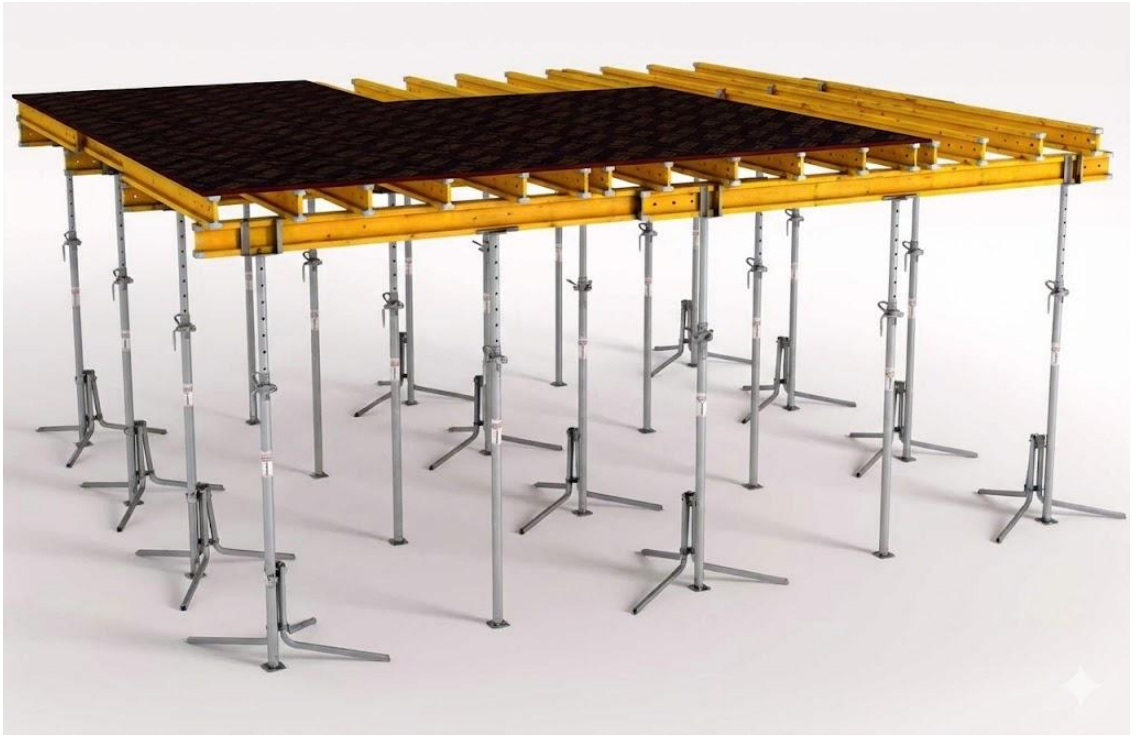


Рисунок 1.8 - Інвентарна стійково-балкова опалубка

Один стандартний лист фанери може мати розмір 122 × 244 см або 150 × 300 см і перекривати площу 3 або 4,5 м².

Розрахуємо кількість листів фанери розміром 122 × 244 см, виходячи з площі перекриття.

Визначаємо площу перекриття для нашого прикладу. Розміри кожного з 2-х приміщень 9,2 × 4,6 м, загальний розмір перекриття 9,9 × 9,2 м. $Sп_{ер.=}9,9\times9,2=91,08$ м²

Знаходимо необхідну кількість листів фанери: =91,08/3=30 листів

Місця, що не перекриваються повністю цілими листами, необхідно закрити добірними елементами, вирізаними за місцем.

Фанерні листи укладаються на балки, що спираються на ригелі. Ригелі

повинні розташовуватися вздовж довжини приміщення з кроком 120 см, балки – впоперек приміщення з кроком 40–60 см.

Розраховуємо кількість ліній ригелів, для чого ширину приміщень ділимо на крок ригелів: $N_{лін}$=4,6/1,2=3,8 приймаємо 4.

У кожному приміщенні має бути по 4 лінії ригелів загальною довжиною по 9,2 м. Отримаємо для кожної лінії по 3 ригелі довжиною 3 м і загальну кількість ригелів: 3×8=24 ригелі.

Кількість балок в одному приміщенні: $N_б$=9,2/0,6=15,3 приймаємо 16 ліній балок по 2,0 і 2,5 м. Загальна кількість балок довжиною 2,0 м =16×2=32 шт. Загальна кількість балок по 2,5 м =16×2=32 шт.

Розраховуємо кількість телескопічних стійок, які встановлюються під ригелі з кроком 80–100 см. Оскільки маємо 8 ліній по 9,2 м загальною довжиною 9,2×8=73,6 м, отримуємо кількість стійок: $N_{ст.}$=73,6/0,9=81 приймаємо 80, тобто по 10 стійок на кожну лінію ригелів.

У підсумку отримали:

стійок, триног та унівилок – 80 шт.;

ригелів довжиною 3 м – 24 шт.;

балок довжиною 2 м – 32 шт.;

балок довжиною 2,5 м – 32 шт.;

листів фанери – 30 шт.

Влаштування монолітного перекриття за допомогою незнімної опалубки.

У будівельній практиці застосовується також незнімна опалубка, де заливання бетону проводиться по профнастилу, що укладається на сталеві або залізобетонні балки чи прогони. Монолітне перекриття по профлисту застосовується здебільшого при будівництві виробничих або торговельних будівель з великими прольотами. Для спорудження перекриттів власноруч у малоповерховому житлі раціонально використовувати інвентарну стійково-балкову опалубку.

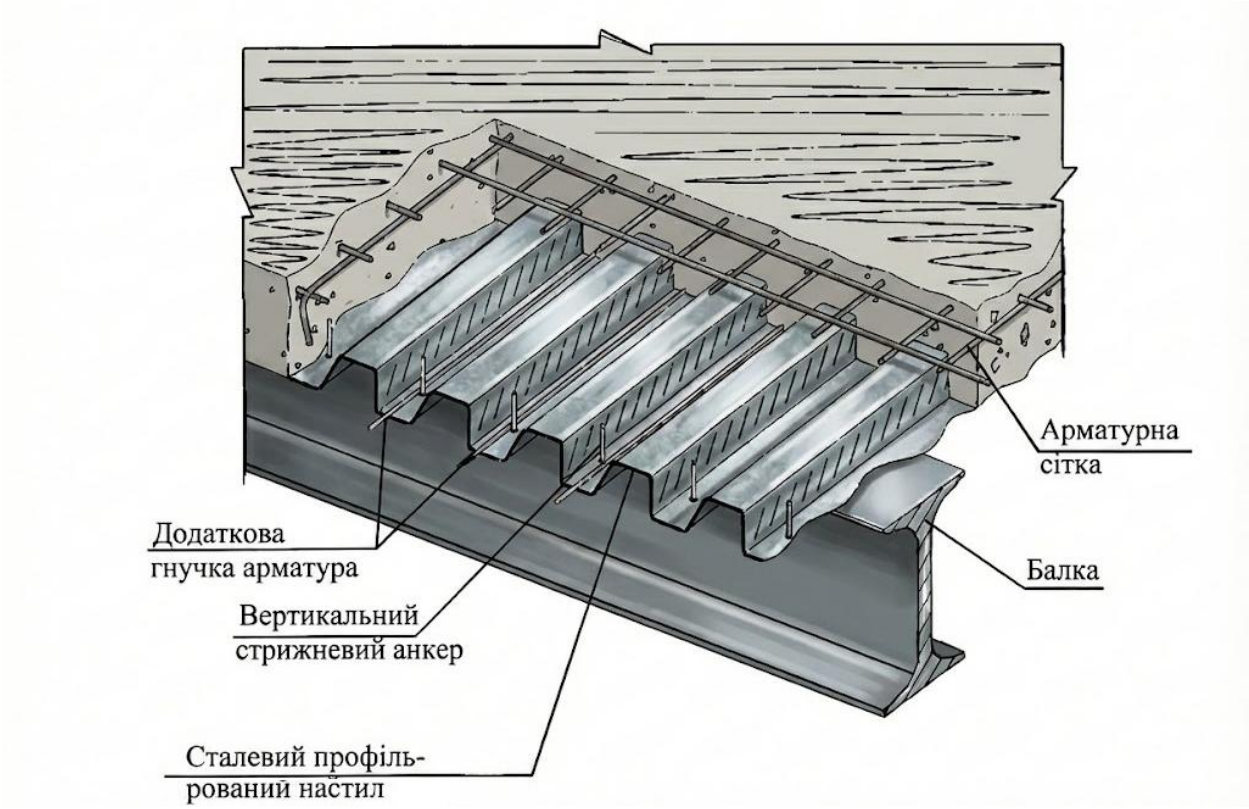


Рисунок 1.9 - Влаштування монолітного перекриття по профнастилу

Процес монтажу комплектуючих монолітного перекриття.

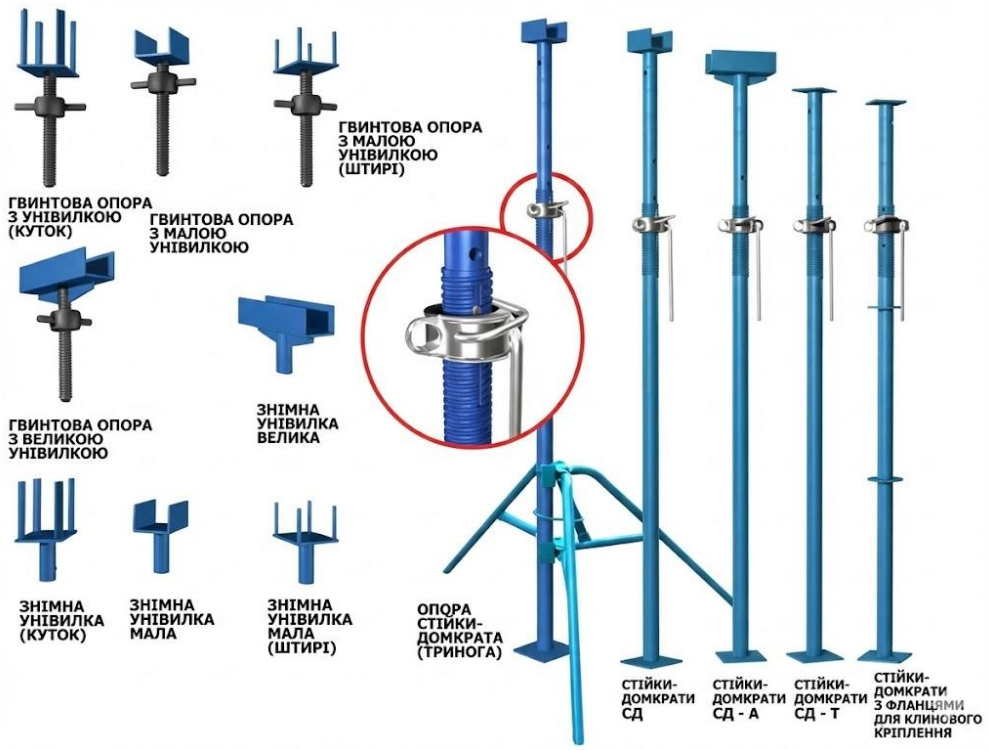


Рисунок 1.10 - Телескопічна стійка опалубки

Перед тим, як розпочинати монтаж опалубки, необхідно забезпечити влаштування міцної та рівної основи для надійного встановлення стійок (у нашому випадку — бетонна підготовка під підлогу підвалу або першого поверху), а також якісне зведення несучих стін, виведених на один рівень під відмітку, що відповідає відмітці низу перекриття.

Для встановлення опалубки знадобиться такий набір інструментів і пристосувань: електродриль або перфоратор, молоток, водяний, бульбашковий та лазерний рівні, рулетка, розмічальний шнур і маркери.

Встановлення опалубки полягає у виконанні таких операцій:

- За допомогою нівеліра визначають відмітку найвищої точки підготовки основи під підлогу, яку приймають за нульову відмітку, що слугує орієнтиром для всіх подальших відліків. До нульової відмітки додають товщину чистого покриття підлоги та проектну висоту поверху — таким чином отримують відмітку низу перекриття. Відмітку за допомогою нівеліра або лазерного рівня наносять маркером і розмічальним шнуром на стіни приміщення, що перекривається, та сусідніх приміщень;
- На основі підлоги позначають лінії, по яких виставляють ригелі, після чого встановлюють телескопічні стійки з триногами та універсальними вилками по лініях розташування ригелів;
- Укладають ригелі на стійки (при цьому напуск ригелів на опорах має бути в межах 30 см), балки та листи фанери;
- Регулюють телескопічні стійки за допомогою гайок, користуючись рівнями та відмітками на стінах таким чином, щоб поверхня опалубки утворила єдину площину на розрахунковій відмітці низу перекриття;
- Листи фанери кріплять до балок на кутах за допомогою 50-мм цвяхів, стики по периметру приміщення герметизують монтажною піною;
- Встановлюють по периметру перекриття бортову дошку висотою, що дорівнює товщині плити, фіксуючи її дюбелями та анкерами до зовнішньої частини стіни;
- Для полегшення демонтажу опалубки після влаштування

перекриття поверхню фанерних листів покривають спеціальним мастилом або відпрацьованим мастилом.

Розрахунок необхідної кількості арматури.

Визначили, що армуємо плиту двома сітками, зв'язаними зі стрижнів робочої арматури Ø8 А400 та конструктивної арматури Ø6 А400, що розташовані перпендикулярно з вічком 200 х 200 мм. Крім того, плита армується додатковими стрижнями в опорній зоні діаметром Ø8 А400 довжиною 270 см через 200 мм.

Розрахуємо необхідну кількість арматури.

Визначимо кількість робочої арматури в одній сітці за формулою:

$N_{st.r.}=l_1/200=9200/200=46$

приймаємо 47 стрижнів

Де: l_1 – довжина перекриття = 9200 мм.

Довжина одного робочого стрижня — 9870 мм (довжина перекриття по робочій стороні мінус 30 мм захисного шару бетону). Загальна довжина робочої арматури = 9,87×47×2=928 м.

Кількість стрижнів конструктивної арматури діаметром 6 А400 в одній сітці:

$N_{st.k.}=l_2/200=9900/200=49,5$

приймаємо 50 стрижнів

Загальна довжина конструктивної арматури = 9,170×50×2=917 м.

Загальна довжина додаткових стрижнів діаметром 8 А400 в опорній зоні = 2,7×47=126,9 м.

Разом отримуємо з коефіцієнтом 1,05 на різку:

- арматура 8 А400 = (928+126,9)×1,05=1107 м;
- арматура 6 А400 = 917×1,05=963 м.

Армування плити.

Армування плити здійснюють шляхом зв'язування робочих та конструктивних стрижнів у сітки за допомогою м'якого в'язального дроту

діаметром до 2,5 мм.

В'язання арматури монолітної плити виконується за допомогою спеціальних гачків або в'язальних пістолетів. Для монолітних перекриттів сітки можна зв'язувати на кожному другому перетині стрижнів.



Рисунок 1.11 - Фіксатори для нижньої арматури

Нижню сітку укладають на інвентарні підкладки («стільчики» на професійному сленгу будівельників), які фіксують сітку на відстані від нижньої поверхні перекриття, забезпечуючи захисний шар бетону; їх розташовують із кроком 0,5–0,6 м у шаховому порядку.

Верхню сітку укладають на фіксатори — «пташки», виготовлені зі шматків арматури, також у шаховому порядку.

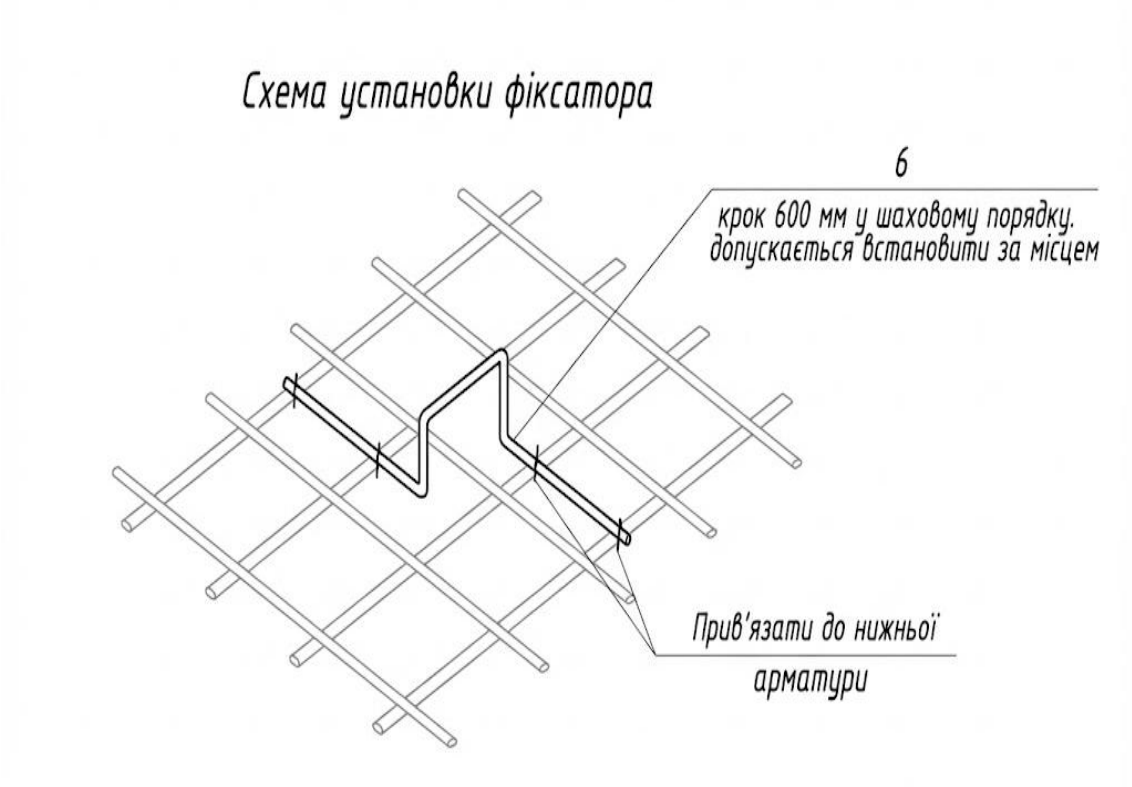


Рисунок 1.12 - Схема встановлення верхнього фіксатора («пташки») для об'ємного каркаса на монолітному перекритті

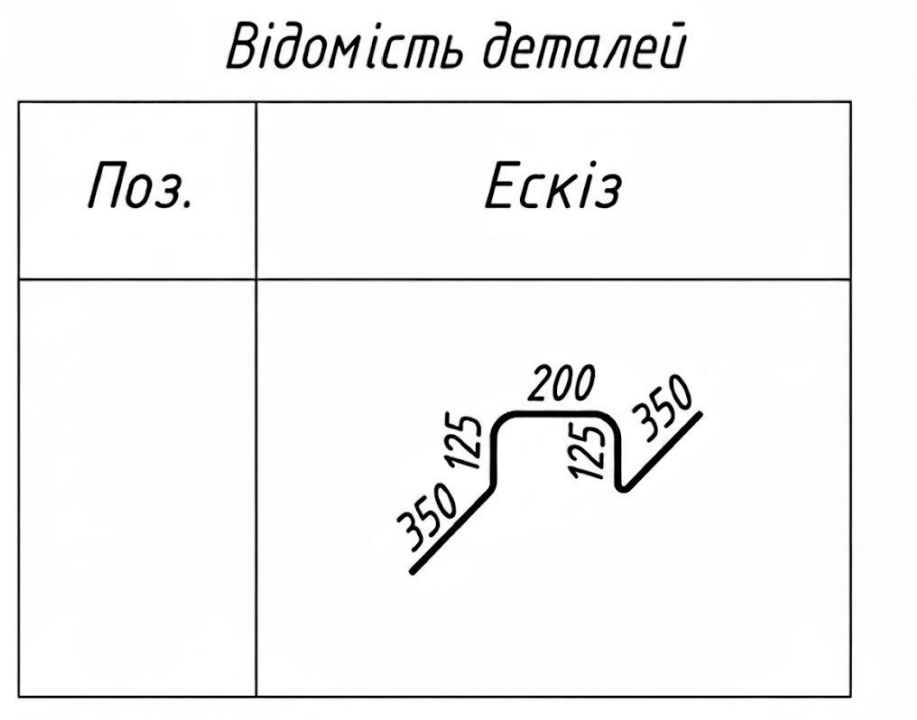


Рисунок 1.13 - Схема встановлення верхнього фіксатора («жабки») в монолітному перекритті

1.6 Бетонування плити перекриття

Бетонування монолітної плити слід виконувати з дотриманням вказівок ТТК (Типової технологічної карти) та вимог чинних нормативних документів.

Укладання бетонної суміші в підготовлену опалубку включає наступні операції:

- підготовчі роботи;
- укладання бетону в конструкцію;
- загладжування (опорядження) поверхні;
- догляд за бетоном до набору ним проєктної міцності;
- зняття опалубки (розпалублення).

Підготовчі роботи полягають у контролі надійності встановлення опалубки, під час якого перевіряють її міцність та геометричну незмінність, правильність монтажу стійок, ригелів та балок, відсутність нещільностей на стиках листів, а також горизонтальність площини. Опалубка також очищується від сміття, пилу, уламків цегли та інших забруднень.

Укладання бетону, який доставляється з бетонозмішувального вузла автобетонозмішувачами, виконують за допомогою автобетононасоса, обладнаного поворотною стрілою з розподільчим рукавом. Бетонну суміш укладають шарами однакової товщини, захоплюючи за одну проходку смугу шириною до 2-х метрів, орієнтуючись на відмітки верху плити по бортових дошках або маяках.

Процес укладання бетону виглядає наступним чином: Один робітник направляє розподільчий рукав бетоноводу, укладаючи суміш послідовними смугами; за ним слідує робітник, який розрівнює шар бетону лопатою; далі інший робітник загладжує поверхню плити за допомогою напівтертка; на завершальному етапі по поверхні проходять віброрейкою, надаючи перекриттю завершеного вигляду та ущільнюючи верхній шар.

Під час укладання бетону слід постійно спостерігати за станом опалубки, щоб уникнути порушення її цілісності та витікання бетонної суміші.

При цьому важливо дотримуватися таких умов:

- Насамперед, бетонну суміш слід подавати рівномірно, уникаючи її надмірного накопичення в одній точці (зокрема по центру прольоту), щоб запобігти руйнуванню опалубки від критичного зосередженого навантаження. Розподіл суміші виконують послідовно по всій площі.
- Розподільчий рукав бетононасоса, що подає суміш, необхідно тримати під кутом до поверхні бетонування на мінімальній висоті, зменшуючи динамічний тиск бетону на опалубку.
- У процесі укладання та вібрування бетону поверхню плити необхідно відразу ж загладжувати за допомогою віброрейки.
- Перекриття невеликої площі необхідно залити бетоном за один прийом, щоб не утворювати робочі шви.

Ознакою достатнього ущільнення є поява на поверхні плити цементного молочка.

До закінченої монолітної конструкції перекриття висуваються вимоги щодо геометричних розмірів згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-203:2015[26] (Таблиця А.1):

1. Місцеві нерівності поверхні бетону при перевірці двометровою рейкою не повинні перевищувати 5 мм (для поверхонь класу А3, призначених під просте оздоблення).

2. Відхилення горизонтальних площин на всю довжину ділянки, що вивіряється, не повинно перевищувати 20 мм.

Догляд за бетоном та зняття опалубки/

Оптимальні температурні умови для виконання робіт з бетонування перекриття розташовані в межах 15–25 °С. У холодну пору року для забезпечення набору бетоном необхідної міцності передбачають спеціальні заходи: електропрогрівання бетону, використання протиморозних добавок, попередній підігрів суміші при її виготовленні та доставці тощо, які потребують окремого розгляду.

Ми розберемо порядок догляду за бетоном готової конструкції та зняття опалубки в оптимальних умовах.

Заходи щодо догляду за бетоном та зняття опалубки включають наступні дії:

- Поверхню плити не пізніше ніж через 3–4 години після бетонування слід укрити вологоємним покриттям — брезентом, рогожею, мішковиною або поліетиленовою плівкою.
- Необхідно періодично зволожувати поверхню протягом тижня для запобігання швидкій втраті вологи бетоном та його розтріскуванню.
- Не допускається пересування по свіжоукладеному бетону та продовження робіт до набору ним 70 % проєктної міцності.
- Зняття опалубки (розпалублення) можна виконувати після досягнення 70 % проєктної міцності. За температури 15—25 °С бетон набирає достатню міцність через 1,5—2 тижні після укладання.

Перевірити міцність бетону можна за допомогою молотка Кашкарова, склерометра Шмідта, а також за результатами випробування у будівельній лабораторії контрольних зразків бетону (кубиків). Ці зразки формуються з тієї ж партії бетону і повинні набирати міцність у тих самих умовах, що й перекриття.

Порядок зняття опалубки.

- Спочатку видаляють бортові дошки, що обмежують перекриття по периметру. Знімати бортові дошки можна на 3–4 добу після заливання, це прискорить твердіння бетону (за рахунок доступу повітря).
- Після підтвердження того, що бетон набрав необхідні 70 % міцності, знімають проміжні стійки, встановлені у прольоті ригелів, не чіпаючи основних стійок, на які ригелі спираються кінцями. Для того, щоб зняти стійку, зменшують її висоту, розкручуючи регулювальну гайку за допомогою постукування молотком по виступах (вушках) гайки.
- Далі послідовно опускають основні стійки разом із ригелями,

поперечними балками та листами фанери на 400–500 мм від площини стелі.

- Щоб звільнити листи фанери, прикріплені цвяхами на кутах до балок, використовують стрем’янку, з якої демонтують цвяхи за допомогою цвяходера. Зняття листів фанери вимагає граничної обережності, оскільки це найдорожчі елементи опалубки, призначені для багаторазового використання.
- Балки перевертають набік за допомогою монтажної штанги, яка має розгалуження (вилку) на кінці. Використовуючи цю ж штангу, знімають фанерні листи, потім балки та ригелі. Зі звільнених стійок знімають унівилки (головки-корони) та триноги.
- Усі елементи опалубки очищають від залишків бетону та складують.

Монолітне перекриття — це відповідальна конструкція, тому всі роботи з її спорудження необхідно виконувати за суворого дотримання будівельних нормативів. Порушення норм, розрахункових параметрів і технології робіт на будь-якому з етапів будівництва може спричинити незворотні наслідки, аж до аварійного стану конструкції та неможливості експлуатації всієї будівлі.

Слід приділити особливу увагу таким етапам спорудження монолітного перекриття:

- Розрахунок армування, підбір діаметра робочих і конструктивних стрижнів, товщини плити та підбір класу (марки) бетону. Неправильний розрахунок і недотримання будь-якого з цих параметрів при експлуатаційних навантаженнях призводять до виникнення неприпустимих деформацій і дефектів — надмірних прогинів, появи тріщин, що мають тенденцію до розвитку. Подібні дефекти практично неможливо виправити.
- Монтаж опалубки. При порушеннях у процесі встановлення опалубки — недостатній кількості стійок, неправильному їх встановленні — аварійна ситуація може виникнути безпосередньо під час бетонування. При відхиленні площини опалубки від горизонталі необхідна товщина плити не буде витримана, що призведе до неправильної роботи конструкції під навантаженням.

- Армування. Слід суворо витримати розрахункові параметри: діаметр і крок робочих та конструктивних стрижнів при влаштуванні сіток. Велике значення має також забезпечення захисного шару бетону, оскільки недотримання нормативних вимог веде в подальшому до оголення арматури та прискореної корозії.
- Бетонування. Недотримання технології укладання бетону, достатнього ущільнення бетонної суміші призводить до утворення прихованих порожнин і дефектів на поверхні конструкції, що спричиняє поступове руйнування конструкції.
- Догляд за бетоном. Невиконання заходів щодо догляду за бетоном веде до появи дефектів у процесі твердіння та недобору необхідної міцності.

1.7 Висновки до розділу 1

1. Монолітне будівництво в Україні пройшло шлях від експериментальних проєктів початку XX століття (Держпром, ДніпроГЕС) до домінуючої технології у сучасному зведенні висотних житлових та комерційних комплексів. Завдяки таким перевагам, як сейсмостійкість, довговічність та можливість вільного планування, монолітний залізобетон є безальтернативним матеріалом для реалізації складних архітектурних рішень та майбутньої масштабної відбудови інфраструктури й житлового фонду країни.
2. Проєктування монолітного перекриття — це складний інженерний процес, що базується на точному визначенні навантажень, згинальних моментів та підборі перерізу арматури. Як показано у розрахунковій частині, правильне визначення класу бетону мінімум С16/20, товщини плити та зон посиленого армування є критично важливим для забезпечення несучої здатності конструкції. Використання монолітних плит є найбільш раціональним рішенням для будівель зі складною конфігурацією, великими прольотами та підвищеними експлуатаційними навантаженнями.

3. Влаштування монолітного перекриття вимагає суворого дотримання технологічного регламенту на всіх етапах: від монтажу опалубки та в'язання арматурних каркасів до укладання, вібрування та догляду за бетоном. Порушення будівельних норм або неправильний догляд можуть призвести до незворотних дефектів та зниження міцності. Дотримання правил розпалублення після набору 70 % міцності та контроль геометричних параметрів гарантують надійність та безпечну експлуатацію будівлі.

РОЗДІЛ 2
АНАЛІЗ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

У 1982 році Джон Уокер заснував одну з перших компаній, яка почала спеціалізуватися на розробці програмного забезпечення для автоматизованого проєктування та креслення. Ця компанія називалася Desktop Solution, а її першим продуктом була програма MicroCAD. Надалі компанію перейменували в Autodesk Inc., яка згодом стала лідером у галузі програмних розробок для автоматизації процесів проєктування та креслення. А її продукт AutoCAD — однією з найпоширеніших систем автоматизованого проєктування (САПР)[31].

З часом, починаючи з простих систем, програми ускладнювалися і доповнювалися. З'явилося безліч виробників програмних продуктів, які пропонували як свої власні унікальні рішення, так і розробляли додатки для вже широко використовуваних графічних пакетів. Було розроблено програми, за допомогою яких стало можливим здійснення паралельної роботи над одним проєктом одразу кількома проєктувальниками-операторами. Тобто зникла необхідність ділити проєкт на складові частини; тепер проєкти від початку і до завершення можуть проходити єдиним ядром, що значно прискорює роботу та зменшує ймовірність помилок, які виникали раніше при зведенні проєкту в єдиний документ[30].

Таким чином, розвиток технологій дозволив цілком і повністю відмовитися від високозатратного процесу ручного проєктування, креслення та пошуку довідкової інформації. Нині на ринку представлено безліч програмних пакетів, у які вже внесено все необхідне для здійснення процесу проєктування. Здавалося б, ось вона, золота ера проєктувальника: працювати стало комфортно, робота стала ефективнішою. Але за цим благополуччям постає нова проблема — проблема пошуку та вибору саме тієї програми, яка забезпечить проєктувальника всім необхідним і при цьому відповідатиме

заданим вимогам. А вимоги в кожного свої. Для одного це вартість програмного продукту, для іншого — можливість суміщення з AutoCAD, для третього — дружній інтерфейс, а для інших — відповідність спеціальним технічним нормативам. У цій статті ми намагалися дати короткий огляд різних проєктувальних програм, що представлені на українському ринку.

Існує усталена класифікація програмного забезпечення для потреб будівельників, а саме поділ за типом завдань, що стоять перед проектною організацією.

Класифікація програмного забезпечення для проєктування будівельних об'єктів:

1. Проєктування будівельних конструкцій.
2. Архітектура та дизайн.
3. Інженерні системи будівель.
4. Вишукування та Генплан.
5. Технологічні та кошторисні розрахунки, нормативи.
6. Векторизатори та гібридні редактори.
7. Допоміжні програми.

Пропозицій щодо програмного забезпечення в даному сегменті ринку безліч, проте в цьому огляді мова піде про програмні продукти для проєктування будівельних конструкцій.

Цей тип програмного забезпечення призначений для проєктування та розрахунку будівельних конструкцій, отримання кінцевої документації, проведення експертиз та візуалізації моделей. Необхідно зазначити, що крім самостійних програмних пакетів, розроблених для потреб будівельних проєктувальників, існують спеціалізовані додатки, які не можна використовувати незалежно. Розглянемо незалежні програмні пакети.

2.1 AutoCAD Structural Detailing

AutoCAD Structural Detailing — програма, розроблена в середовищі

AutoCAD, призначена для широкого кола інженерів у сфері будівництва, дозволяє автоматично створювати робочі деталювальні креслення сталевих та залізобетонних конструкцій дуже високої якості.

У програму інтегровані спеціальні модулі для формування:

- креслень сталевих з'єднань;
- динамічних моделей залізобетонних виробів;
- креслень опалубки;
- автоматичного розміщення арматури;
- робочих креслень каркасів будівель.

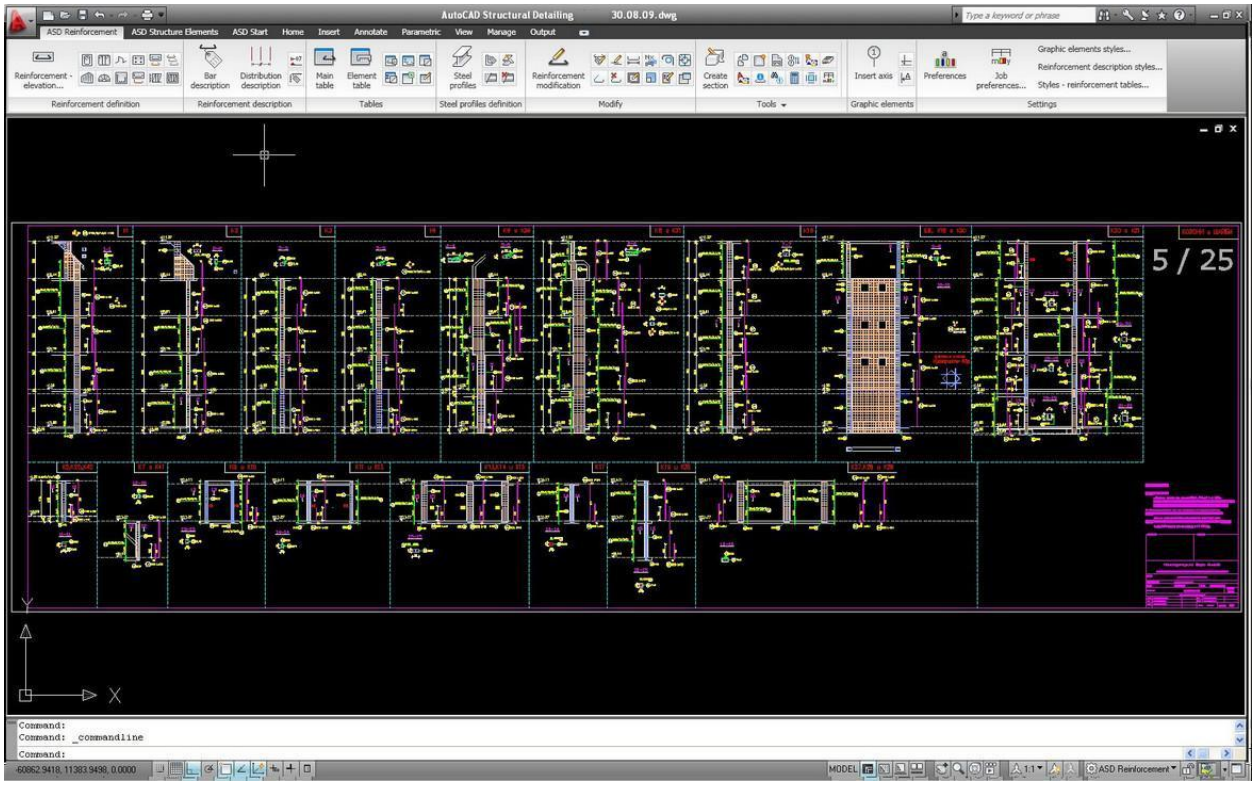


Рисунок 2.1 - Інтерфейс програми AutoCAD Structural Detailing

У модулі проєктування металевих конструкцій ви можете запозичувати інформаційну модель будівлі, створену в Revit Structure, імпортувати файли CIS/2, а також створювати моделі самостійно. Завдяки цьому процес розробки вузлів металевих конструкцій та випуск креслень для заводського виготовлення конструкцій стає швидким і продуктивним.

Авторизовані партнери Autodesk в Україні (повний список представлений на офіційному сайті Autodesk).

Програма має сертифікат відповідності вимогам чинних нормативних документів України:

- ДБН В.1.2-2 «Навантаження і впливи»;
- ДБН В.1.1-12 «Будівництво у сейсмічних районах»;
- ДБН В.2.6-98 «Бетонні та залізобетонні конструкції»;
- ДБН В.2.6-198 «Сталеві конструкції»;
- ДСТУ Б А.2.4-4 «Система проектної документації для будівництва. Основні вимоги до проектної та робочої документації».

Середня ціна орієнтовно 3500–4000 євро на рік (розповсюджується виключно за передплатою у складі колекції Autodesk AEC Collection).

2.2 Autodesk Revit Structure

Autodesk Revit Structure — це програмний продукт на основі технології інформаційного моделювання будівель (BIM) для проєктувальників будівельних конструкцій. Він використовується для створення документації та формування робочих креслень, поєднує в собі тривимірну фізичну модель проєкту та незалежну аналітичну модель. Це дозволяє будь-які зміни, внесені в модель — наприклад, модифікацію несучих колон — автоматично поширювати на всю модель і залежні види, що суттєво знижує кількість координаційних помилок і покращує якість документації. Фізична модель використовується для виконання креслень і координації, а аналітична — для виконання розрахунків за допомогою різних сторонніх програм.

Креслення вузлів створюються за видами 3D-моделі з додаванням пояснень, з нуля (за допомогою 2D-інструментів Revit Structure) або шляхом імпорту з традиційних САПР. Для економії часу можна імпортувати з попередніх проєктів повний набір креслень у форматі DWG. Спеціалізовані засоби креслення оптимізовані для створення елементів сталевих і залізобетонних конструкцій, таких як зварні з'єднання, анкерні болти, арматурні стрижні тощо.

Такі операції, як створення розрізів, фасадів та видів вузлів, виконуються практично миттєво. Розрізи, фасади та вузли автоматично приводяться у відповідність до номерів аркушів.

Програма працює з даними в таких форматах, як DWG, DXF, DGN, IFC та CIS/2, що позбавляє проблем обміну інформацією із замовниками, підрядниками та партнерами. Підтримує традиційний робочий процес, коли для моделювання будівельних конструкцій використовуються надані архітекторами DWG-файли, створені в AutoCAD або AutoCAD Architecture.

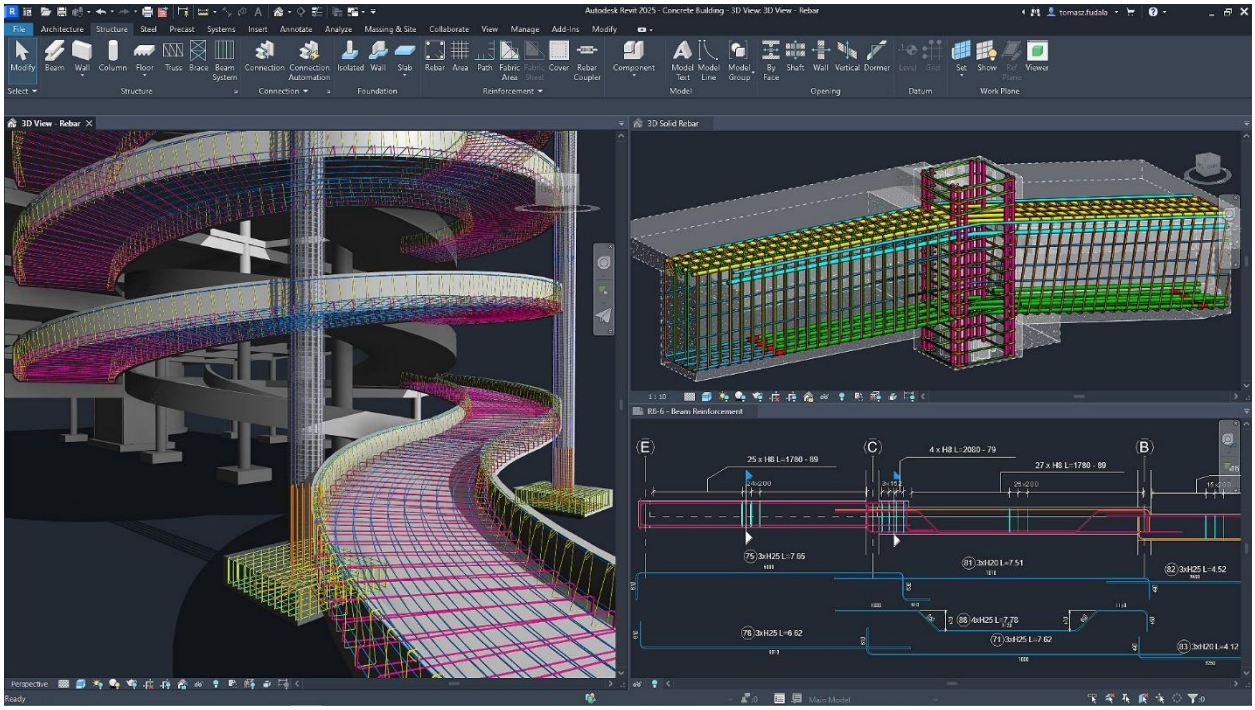


Рисунок 2.2 - Інтерфейс програми Autodesk Revit Structure

Дозволяє використовувати різні будівельні матеріали: сталь, монолітний залізобетон, збірний залізобетон, цеглу, дерево тощо. Оскільки при будівництві будівлі зазвичай використовується кілька матеріалів, програма надає можливість моделювати їх у потрібній комбінації.

Надає повний набір засобів для проєктування компонентів будівельних конструкцій, таких як стіни, балкові системи, ферми, наскрізні балки, елементи залізобетонних конструкцій, арматурні стрижні, сталеві з'єднання, анкери, металеві перекриття тощо. Створення компонентів на основі параметрів дозволяє редагувати будь-які типи об'єктів. Нові об'єкти, вузли та

позначення об'єднуються в сімейства, завдяки чому ви можете повторно використовувати їх в інших проєктах.

Можливість спільної роботи дозволяє використовувати переваги інформаційного моделювання будівель (BIM) усіма учасниками проектного колективу, що працюють з платформою Revit. З моделлю будівлі можуть одночасно працювати кілька користувачів, зберігаючи результати в одному файлі сховища. Доступний повний набір варіантів організації колективної роботи: всередині будівельної організації між інженерами та креслярами.

Виробник: Autodesk Inc.

Сертифікат відповідності: програмний комплекс відповідає вимогам чинних державних будівельних норм (ДБН) та національних стандартів України (ДСТУ), включаючи норми, гармонізовані з Єврокодами.

Середня ціна орієнтовно 2900–3400 євро на рік за ліцензію Revit або 3800–4500 євро на рік за колекцію AEC Collection (продукт розповсюджується виключно за моделлю передплати).

Можливість отримати демо-версію: можна завантажити безкоштовну пробну версію з офіційного сайту www.autodesk.com.

2.3 Allplan 2025 Engineering

Allplan 2025 Engineering (Конструювання) — поєднує в собі програмні компоненти для всіх стадій процесу будівельного проєктування, від планування до структурного аналізу та випуску остаточної проєктної документації, організовуючи ергономічний режим роботи.

Програма виконує автоматизований розрахунок і проєктування балок, колон, перекриттів і фундаментів, аж до розрахунків методом скінченних елементів (МСЕ), охоплюючи весь цикл будівельного проєктування. Заснована на об'єктно-орієнтованій базі 3D-об'єктів (BIM), вона створює та підтримує динамічний зв'язок між 2D- і 3D-кресленнями, розрізами, проєкціями тощо.

Дану програму можна доповнювати спеціалізованими модулями (або використовувати у складі комплексних пакетів), що дозволяють вирішувати завдання в таких аспектах:

- будівельне проєктування та конструювання;
- армування та модульна система армування (включаючи PythonParts);
- армування плит за результатами розрахунку методом скінченних елементів (інтеграція з FEM-системами);
- BAMTEC — технологія армування плит рулонними килимами;
- армування рулонними сітками BAMTEC за результатами розрахунку за МСЕ;
- армування стрижнями та сітками для будівельного проєктування;
- підготовчі роботи / моделювання опалубки;
- цифрове моделювання місцевості (Allplan Site/Terrain) для планів розміщення об'єктів на будівельному майданчику;
- 3D-архітектура для будівництва;
- інженерні системи (опалення, вентиляція, водопостачання та водовідведення) — через інтеграцію або модуль Allplan Systems;
- мережеве управління та спільна робота (Workgroup Manager / Allplan Cloud).

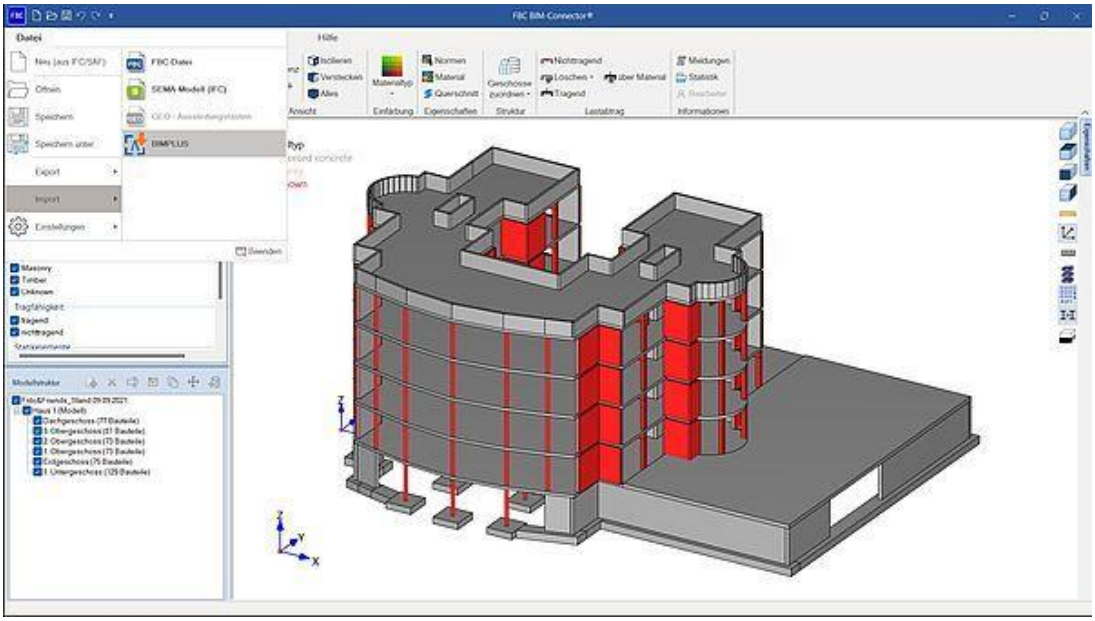


Рисунок 2.3 - Інтерфейс програми Allplan 2025 Engineering

Модуль для проєктування армування стрижнями забезпечує різні способи отримання арматурних креслень. Можна використовувати об'ємне (просторове) або плоске розташування арматури, залежно від вихідних даних, наявних у проєкті. Програма формує види та розрізи для об'ємного введення автоматично. Готові арматурні креслення можуть бути отримані з мінімальними зусиллями за допомогою створених компонентів, які згруповані в модулі армування.

Армування сітками — зручний інструмент для створення арматурних креслень із використанням сіток. Використовуються всі режими розміщення, що забезпечується сучасним засобом перегляду, який дає можливість розглянути всі зміни типорозмірів сіток. За допомогою цього модуля можна створювати режими розміщення, зберігати нестандартні сітки та їхні креслення, автоматичні специфікації сіток і схеми розкрою, автоматично виконувати образмірювання та маркування, а також підтримувати зв'язок із результатами розрахунку методом скінченних елементів.

Специфікації арматури створюються на основі конкретного проєкту та керуються натисканням кнопки. Сталеві арматурні сітки та нестандартні арматурні сітки задаються графічно.

При використанні функції «Арматура FF» (розпізнавання форми) курсор автоматично розпізнає поздовжній або поперечний переріз, і арматурна деталь, після задання захисного шару, автоматично набуває форми перерізу. Для об'ємної опалубки можливе автоматичне укладання по глибині.

BAMTEC — це новий і особливо економічний спосіб армування бетонних плит. Замість традиційної сталевої сітки або окремих стрижнів використовується арматурний рулон (килим) Bamtec. Нова технологія оптимізує стадії процедури звичайного будівельного розрахунку та виконання креслень. Модуль BAMTEC забезпечує економію витрат на укладання арматури до 80 %, економію матеріалів 20–40 %, а також прискорює й автоматизує проєктування та деталювання.

Модуль «Опалубка» забезпечує проєктування та розрахунок опалубки, необхідної для зведення проєктованої будівлі. Системи опалубки, що виробляються світовими компаніями, такими як Peri, Doka, Meva, NOE, Thyssen-Huennebeck та Wendler, доступні в бібліотеці опалубок. Допоміжні елементи можуть бути додані та використані спільно, із застосуванням 2D- або 3D-геометричної компоновки, автоматично, напівавтоматично або вручну. Крок по висоті розраховується автоматично.

Allplan Engineering підтримує роботу багатьох користувачів у мережі. Інструменти мережевого адміністрування дозволяють кільком проєктувальникам працювати одночасно над проєктом. Навіть над одним і тим самим поверхом будівлі можуть одночасно, на різних комп'ютерах, працювати архітектор, конструктор та інші фахівці. Дії проєктувальників реплікуються в момент збереження даних технологія Allplan Workgroup Manager або хмарна платформа Allplan Cloud.

Програмний пакет сумісний з усіма основними проєктувальними програмами, включаючи інші пакети САПР, через DXF, DWG, DGN та інші стандарти, а також PDF та IFC (Industry Foundation Classes) для реалізації OpenBIM підходу. Експорт специфікацій матеріалів у Excel та кошторисні програми здійснюється натисканням однієї кнопки.

Виробник: ALLPLAN GmbH (Nemetschek Group).

Програмний комплекс адаптований до державних будівельних норм України та національних стандартів, а також підтримує розрахунки згідно з Єврокодами, що діють в Україні.

Вартість залежить від обраної комплектації (Allplan AEC, Allplan Engineering тощо) та моделі ліцензування (зазвичай передплата). Орієнтовна вартість річної передплати становить від 2500 до 4500 євро.

Можливість отримати демо-версію: Замовити тріал-версію (на 14 або 30 днів) можна на офіційному міжнародному сайті www.allplan.com.

2.4 SCAD Office

SCAD Office — це інтегрований програмний комплекс, що складається з обчислювального ядра SCAD++ (призначеного для розрахунку напружено-деформованого стану конструкцій методом скінченних елементів) та набору спеціалізованих проєктно-аналітичних і допоміжних модулів (сателітів), які дозволяють виконувати комплексне проєктування сталевих, залізобетонних, кам'яних та дерев'яних конструкцій.

SCAD містить потужну бібліотеку скінченних елементів для моделювання стрижневих, пластинчастих, твердотільних і комбінованих конструкцій. Комплекс включає модулі аналізу стійкості, формування розрахункових сполучень зусиль, перевірки напруженого стану елементів конструкцій за різними теоріями міцності, визначення зусиль взаємодії фрагмента з усією конструкцією, обчислення зусиль і переміщень залежно від комбінацій завантажень[36].

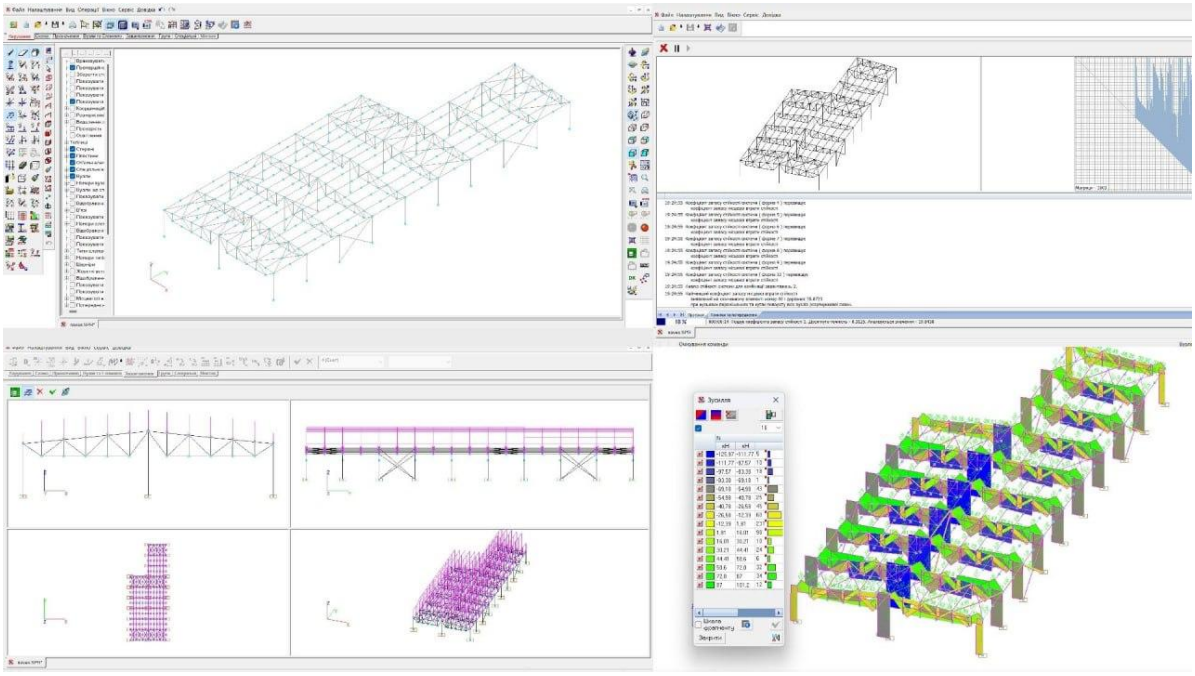


Рисунок 2.4 - Інтерфейс програми SCAD Office

Розширений функціонал та модулі-сателіти

Окрім базового обчислювача, до складу SCAD Office входять

спеціалізовані програми, що закривають конкретні інженерні задачі:

- КРИСТАЛ (Сталеві конструкції): Перевірка елементів та з'єднань сталевих конструкцій відповідно до норм ДБН та Eurocode. Включає перевірку перерізів, розрахунок балок, стійок, ферм.
- АРБАТ (Залізобетонні конструкції): Підбір та перевірка арматури в елементах (балках, колонах, плитах), розрахунок прогинів та ширини розкриття тріщин, експертиза перерізів.
- КАМІН (Кам'яні конструкції): Розрахунок та перевірка елементів кам'яних та армокам'яних конструкцій.
- ДЕКОР (Дерев'яні конструкції): Розрахунок елементів з цільної та клеєної деревини.
- КОМЕТА (Вузли сталевих конструкцій): Проєктування та розрахунок вузлів металоконструкцій (бази колон, стики балок, фермові вузли) з формуванням креслень.
- КРОС (Основи та фундаменти): Визначення коефіцієнтів постелі ґрунту для розрахунку плит на пружній основі (взаємодія з модулем SCAD).
- ВЕСТ (Навантаження і впливи): Допоміжна програма для збору навантажень (снігові, вітрові, власна вага) згідно з ДБН.
- Інтеграція (BIM): Двостороння зв'язка з Revit, Allplan, Tekla Structures та Archicad через формати IFC та спеціалізовані плагіни, що дозволяє передавати модель для розрахунку і повертати результати армування.

Розробник: ТОВ «СКАД СОФТ» (Україна, м. Київ).

Програмний комплекс має повну сертифікацію в Україні. Розрахункові алгоритми відповідають вимогам чинних ДБН (включно з ДБН В.1.2-2 "Навантаження і впливи", ДБН В.1.1-12 "Будівництво у сейсмічних районах", ДБН В.2.6-98 "Бетонні та залізобетонні конструкції", ДБН В.2.6-198 "Сталеві конструкції"), а також Єврокодів (EN), що діють в Україні.

Вартість залежить від комплектації (Standard, Pro, Smax) та кількості розрахункових вузлів. Повний комплект SCAD Office (версія Pro/Smax,

безлімітна кількість вузлів) коштує орієнтовно 80 000 – 120 000 грн (за безстрокову ліцензію, що є великою перевагою порівняно із західними аналогами, які працюють за передплатою). Оновлення попередніх версій коштує значно дешевше (зазвичай 30-50% від вартості).

Можна завантажити з офіційного сайту www.scadsoft.com.

2.5 Програмний комплекс ЛІРА-САПР

ПК ЛІРА-САПР (LIRA-SAPR) — це багатофункціональний програмний комплекс, призначений для проєктування і розрахунку будівельних конструкцій різного призначення. Дозволяє виконувати розрахунок та проєктування залізобетонних і сталевих конструкцій відповідно до нормативів України (ДБН), країн Європи (Єврокоди) та США.

Програмний комплекс має розвинену бібліотеку скінченних елементів, що дозволяє створювати комп'ютерні моделі практично будь-яких конструкцій: стрижневі плоскі та просторові схеми, оболонки, плити, балки-стінки, масивні конструкції, мембрани, тенти, а також комбіновані системи.[40]

Комплекс дозволяє розраховувати різні види динамічних впливів (вітер з урахуванням пульсації, сейсміка, імпульс, удар, вібраційні навантаження). Реалізовано можливість редагування сталевих сортаментів. Експорт/імпорт даних підтримується у форматах DXF, MDB, IFC, що забезпечує інтеграцію з AutoCAD, ArchiCAD, Revit, Tekla та Allplan.

Також доступне суперелементне моделювання та врахування фізичної нелінійності на основі різних залежностей $\sigma-\epsilon$, що забезпечує можливість моделювання процесу збільшення навантаження з відстеженням розвитку тріщин, проявом деформацій повзучості та текучості, аж до отримання картини руйнування конструкції.

Сучасний ПК ЛІРА-САПР значно розширив свої можливості завдяки системі САПФІР-3D (система архітектурного проєктування, формотворення

та розрахунків), яка йде в комплекті.

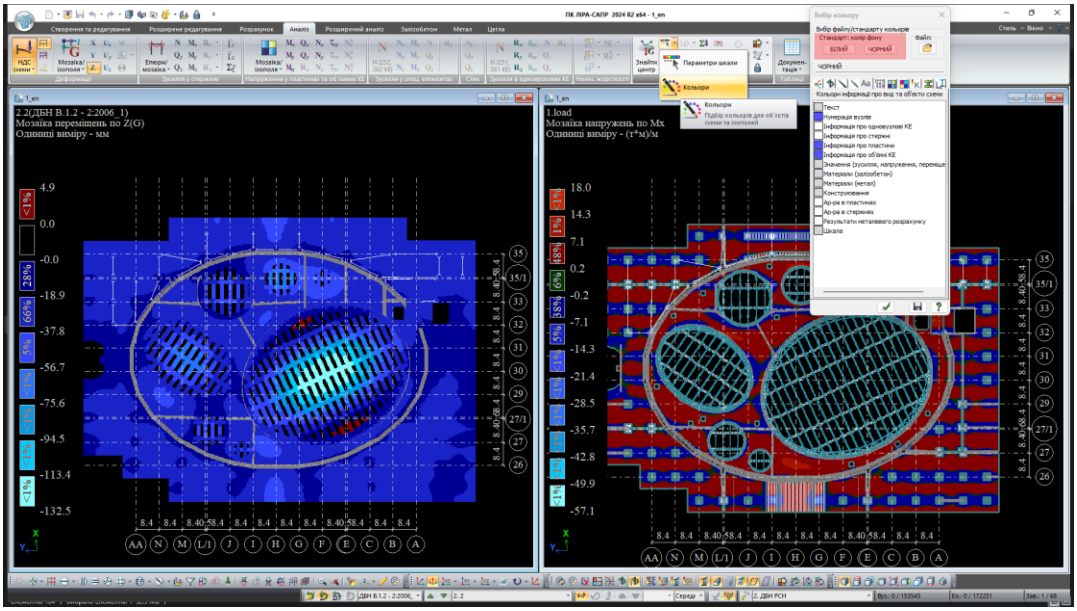


Рисунок 2.5 - Інтерфейс програми ЛІРА-САПР

Основні підсистеми комплексу:

- ВІЗОР-САПР (VISOR-SAPR): Єдине графічне середовище. Створення та аналіз розрахункових схем, візуалізація результатів (ізополя переміщень, епюри зусиль, мозаїки армування).
- САПФІР-КОНСТРУКЦІЯ: Дозволяє здійснити перехід від архітектурної 3D-моделі до розрахункової схеми, автоматично згенерувати сітку скінченних елементів, вирівняти стіни та плити.
- АРМ-САПР (Залізобетон): Підбір та перевірка арматури в колонах, балках, плитах та діафрагмах за ДБН та Єврокодами.
- СТК-САПР (Сталь): Розрахунок та перевірка перерізів сталевих конструкцій, підбір елементів ферм та рам, розрахунок вузлів.
- ҐРУНТ (SOIL): Визначення коефіцієнтів постелі (C1,C2) на основі геологічних даних, розрахунок взаємодії споруди з основою (палі, фундаментні плити).
- САПФІР-ЗБ (ЖБК): Система для отримання робочих креслень армування плит перекриття, діафрагм та колон (специфікації, відомості деталей).

- МЕТЕОР: Інтеграція задач з різною топологією (наприклад, монтаж конструкцій, коли схема змінюється в процесі будівництва).

Виробник: ТОВ «ЛІРА-САПР» (Україна, м. Київ). Це оригінальний розробник, який активно розвиває продукт.

Програмний комплекс повністю сертифікований в Україні. Розрахункові методи відповідають чинним ДБН В.1.2-2, ДБН В.1.1-12 (сейсміка), ДБН В.2.6-98 (бетон), ДБН В.2.6-198 (сталь) та Національним додаткам до Єврокодів.

ЛІРА-САПР, на відміну від багатьох західних аналогів, пропонує безстрокові ліцензії, що є великою економічною перевагою.

- Версія Standard: (Базовий розрахунок + залізобетон + сталь): орієнтовно 50 000 – 70 000 грн.
- Версія PRO: (Повний набір: динаміка, ґрунт, монтаж, фізична нелінійність, САПФІР-Генератор): орієнтовно 100 000 – 140 000 грн.
- Академічні ліцензії: Для ВНЗ та студентів часто надаються безкоштовно або за символічною ціною.

Можливість отримати демо-версію: На офіційному сайті www.liraland.com.ua доступна для завантаження вільно розповсюджувана версія LIRA-SAPR 2022 R2 (Demo/Student), яка має повний функціонал, але обмеження на кількість скінченних елементів зазвичай до 1000 вузлів, що достатньо для навчання.

2.6 Програмний комплекс МОНОМАХ

Програмний комплекс МОНОМАХ-САПР призначений для розрахунку та проєктування залізобетонних і цегляних конструкцій, багатоповерхових будівель з планами довільної конфігурації, будівель рамної та рамно-в'язевої систем. У процесі роботи комплексу виконується розрахунок будівлі та її окремих частин із формуванням креслень і схем армування конструктивних елементів. Проєктування та розрахунок виконуються з використанням різних

програмних модулів, що входять до пакета МОНОМАХ, що дозволяє значно збільшити швидкість проєктування.

ПК МОНОМАХ-САПР також ефективно використовується на стадії прийняття проєктних рішень (ТЕР, Ескізний проєкт). Досить швидко можна отримати результати розрахунків варіантів конструктивних схем із різним розташуванням колон, діафрагм, паль, різною товщиною плит тощо, а також визначити витрати матеріалів і вартість конструкцій будівлі. Далі можна створити розрахункову схему, отримати результати розрахунків та ескізи робочих креслень у єдиному середовищі, що дозволяє суттєво скоротити терміни виконання робіт.

Є можливість розрахунку споруд спільно з ґрунтовою основою на базі створюваної 3D-моделі ґрунтового масиву за наявними інженерно-геологічними даними.

Програма має експертну систему, яка на всіх етапах автоматизованого проєктування надає користувачеві підказки щодо обґрунтованості прийнятих конструктивних рішень, таких як: розміри перерізу несучих конструкцій, розстановка діафрагм жорсткості, забезпечення тих чи інших вимог нормативних документів. Також можливий розрахунок на вітрові та сейсмічні навантаження з автоматичним збором навантажень та з урахуванням вимог різних нормативних документів (ДБН, Єврокоди). У програмі можливий імпорт та експорт із найбільш поширених програмних продуктів, представлених на ринку (AutoCAD, ArchiCAD, Revit, ЛІРА-САПР тощо).

ПК МОНОМАХ-САПР складається з окремих програм із різним предметним функціоналом, а саме:

- БАЛКА — проєктування монолітних залізобетонних балок;
- ҐРУНТ — створення та розрахунок моделі ґрунтової основи;
- ЦЕГЛА — проєктування стін цегляних будівель;
- КОЛОНА — проєктування монолітних залізобетонних колон;
- КОМПОНОВКА — проєктування багатоповерхових каркасних будівель із монолітного залізобетону, а також будівель із цегляними стінами

(основний модуль для створення моделі);

- ПЛИТА — проєктування монолітних залізобетонних плит перекриття та фундаментних плит;
- ПІДПІРНА СТІНА — проєктування та перевірка підпірних стін;
- РОЗРІЗ (СТІНА) — проєктування монолітних залізобетонних стін;
- ФУНДАМЕНТ — проєктування стовпчастих монолітних залізобетонних фундаментів на природній основі.

Ці програми пов'язані інформаційно, але, крім того, кожна з них може працювати в автономному режимі.

Виробник: ТОВ «ЛІРА-САПР» (Україна, м. Київ).

Комплекс адаптовано до державних будівельних норм України (ДБН), включно з нормами щодо навантажень, сейсміки, залізобетонних та кам'яних конструкцій.

Актуальна версія: МОНОМАХ-САПР 2016 (R4). Хоча номер версії «2016», розробник випускає оновлення (релізи) для підтримки нових ОС Windows та сумісності з новими версіями ЛІРА-САПР. Для більш складного 3D-моделювання розробник рекомендує переходити на зв'язку САПФІР + ЛІРА-САПР.

МОНОМАХ-САПР позиціонується як більш доступний інструмент порівняно з флагманським ЛІРА-САПР.

- Повний комплект (PRO): орієнтовно 25 000 – 35 000 грн (безстрокова ліцензія).
- Окремі модулі (наприклад, тільки ФУНДАМЕНТ або ПІДПІРНА СТІНА): можуть коштувати від 3 000 до 6 000 грн за модуль.

Вільно розповсюджувану ознайомлювальну версію можна завантажити на офіційному сайті розробника: www.liraland.com.ua.

2.7 STAAD.Pro

STAAD.Pro — це програмний продукт для аналізу та проєктування

будівельних конструкцій методом скінченних елементів. До складу програми входять засоби адаптації результатів до вимог міжнародних норм проєктування об'єктів цивільного та промислового призначення.

У програмі реалізована можливість аналізу будь-якої споруди: її динамічних характеристик, взаємодії «ґрунт — конструкція», аналізу міцності при вітрових навантаженнях, землетрусах та різних змінних навантаженнях. Може використовуватися для проєктування висотних і невисотних будівель та споруд, підземних водопроводів, нафтохімічних і нафтопереробних заводів, тунелів, мостів, фундаментів із металевих конструкцій, бетону та залізобетону, дерева, сталевих профілів та багато іншого.

Розширений функціонал:

- Аналіз: Включає статичні властивості, P-Delta аналіз (геометрична нелінійність), граничну міцність, спектр реакції, Time History Analysis (зміна у часі), розрахунок вантів/канатів (лінійний і нелінійний аналіз), аналіз стійкості (Buckling analysis).
- OpenSTAAD: Відкритий API для автоматизації та створення власних макросів (VBA), що дозволяє інтегрувати розрахунки з Excel або іншими програмами.
- Physical Modeling: Можливість працювати з фізичною моделлю, яка автоматично перетворюється на аналітичну (FEM).
- Секторальна спеціалізація: Це стандарт де-факто у світі для проєктування промислових об'єктів, нафтогазових платформ та інфраструктури.

STAAD.Pro має вбудовану підтримку Єврокодів (EN), які є чинними в Україні. Спеціалізованих українських модулів (ДБН) «з коробки» зазвичай менше, ніж у локальних аналогів (ЛІРА/SCAD), тому інженери часто використовують налаштування параметрів під Єврокоди.

Bentley Systems перейшла на систему підписки Virtuosity. Вартість ліцензії STAAD.Pro Advanced становить орієнтовно $3 000 – $4 000 на рік.

2.8 Autodesk Robot Structural Analysis Professional

Autodesk Robot Structural Analysis Professional (RSA) — це програмний комплекс для розрахунку будівельних конструкцій та споруд на міцність, стійкість і динамічні впливи методом скінченних елементів.

Дозволяє створювати скінченно-елементні моделі для стрижневих, поверхневих (пластини, оболонки), об'ємних (соліди) та комбінованих конструкцій, виконувати розрахунки та здійснювати перевірку отриманих результатів, використовуючи потужну систему обробки даних (постпроцесор). Також дозволяє генерувати звітну документацію (включаючи креслення розкладки арматури) за результатами розрахунку запроєктованої конструкції. Програма дозволяє здійснювати розрахунок лінійних, нелінійних та динамічних навантажень.

Розширений функціонал:

- BIM-інтеграція: Найсильніша сторона продукту — безшовна двостороння інтеграція з Autodesk Revit. Зміни в архітектурній моделі Revit автоматично оновлюють розрахункову схему в Robot.
- Wind Load Simulation: Унікальна функція «віртуальної аеродинамічної труби», що дозволяє моделювати вітрові потоки навколо будівлі складної форми без складних налаштувань CFD.
- Мешинг (розбиття на сітку): Потужні алгоритми автоматичного створення сітки скінченних елементів на складних поверхнях.
- Можливість інтеграції з Excel, Word та AutoCAD завдяки використанню технології API та Dynamo.

Програма підтримує понад 60 стандартів проєктування, включаючи Єврокоди з можливістю налаштування Національних додатків (National Annexes) для України. Також існують налаштування для деяких старих СНіП, але основний фокус — на Єврокодах.

Autodesk Robot Structural Analysis зазвичай не продається як окремий продукт, а входить до складу колекції Autodesk AEC Collection. Вартість

підписки на AEC Collection (куди входять Revit, AutoCAD, Robot, Navisworks тощо) становить орієнтовно € 3 800 – €4 500 на рік.

Така модель робить його дуже вигідним для компаній, які вже працюють у Revit, оскільки вони отримують потужний розрахунковий комплекс фактично «безкоштовно» у складі пакету.

2.9 Висновки до розділу 2

1. Ринок програмного забезпечення для інженерів-конструкторів пройшов шлях від систем автоматизованого креслення до комплексних технологій інформаційного моделювання. Сучасні програмні продукти, такі як Revit Structure та Allplan Engineering, дозволяють створювати єдину інформаційну модель об'єкта, що значно прискорює роботу, автоматизує отримання креслень та специфікацій і мінімізує ризик колізій між різними розділами проєкту.

2. Ключовим фактором при виборі розрахункового комплексу в Україні є його адаптація до національних стандартів. Вітчизняні комплекси ЛІРА-САПР, SCAD Office, МОНОМАХ мають конкурентну перевагу завдяки глибокій інтеграції українських норм «з коробки» та доступній ціновій політиці (безстрокові ліцензії), тоді як західні аналоги Robot, STAAD.Pro орієнтовані переважно на Єврокоди та розповсюджуються за моделлю передплати.

3. Сучасне проєктування вимагає тісної взаємодії між різними програмними середовищами. Усі розглянуті комплекси підтримують обмін даними через універсальні формати (IFC, DXF, DWG) або прямі двосторонні зв'язки (Revit ↔ Robot, Revit ↔ ЛІРА-САПР). Це дозволяє реалізувати наскрізний цикл проєктування, де аналітична модель для розрахунку автоматично формується на основі фізичної моделі будівлі.

РОЗДІЛ 3
РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНИЙ

3.1 Вихідні дані для проєктування

16-поверховий житловий будинок запроєктований у місті Харків. Рельєф ділянки відносно спокійний, з ухилом у південно-західному напрямку.

Площа ділянки в умовних межах — 765 м^2. Будівля розташована в міській забудові. Під'їзд розташований з північного боку.

В'їзди та виїзди передбачені за кільцевою схемою. Матеріал покриття доріг — асфальт. Матеріал покриття тротуарів — асфальт і тротуарна плитка. Ширина доріг — 3,5 м, тротуарів — 1,5 м. Уздовж пішохідних доріжок встановлюється бетонний бордюр.

Будівля односекційна, у плані має прямокутну, майже квадратну форму (розміри в осях 25,85х24,95 м). Житловий будинок запроєктований 16-поверховим, 96-квартирним. На першому поверсі запроєктовано дві однокімнатні, одну двокімнатну та три трикімнатні квартири, на всіх наступних — по дві однокімнатні, одній двокімнатній та три трикімнатні.

Для обслуговування мешканців передбачено два ліфти — пасажирський, вантажопідйомністю 400 кг, і вантажопасажирський, вантажопідйомністю 630 кг.

На кожному поверсі, крім першого, у перехідному тамбурі передбачені завантажувальні клапани сміттєпроводу. Камера сміттєзбірника розташована на 1 поверсі, також на першому поверсі розташовані електрощитова, комора прибирального інвентарю, приміщення для дитячих візків (колясочна) і вестибюль, де встановлюються поштові скриньки.

Приміщення для приготування їжі обладнані газовими плитами та мийками для посуду. У всіх квартирах запроєктовані роздільні санвузли. Всі квартири обладнані сталевими ваннами та умивальниками. Кімнати у квартирах — ізольовані.

Таблиця 3.1 - Техніко-економічні показники житлового будинку

Житлова площа	$м^2$	2852,08
Загальна площа квартир	$м^2$	6000
Площа забудови	$м^2$	800
Будівельний об'єм будівлі	$м^3$	33000

3.2 Конструктивні рішення

Нижче відмітки 0.000.

Фундамент під стіни: монолітний залізобетонний ростверк.

Палі: залізобетонні, виготовлені згідно з ДСТУ Б В.2.6-105:2009.

Стіни підвалу: фундаментні бетонні блоки згідно з ДСТУ Б В.2.6-108:2010.

Плити перекриття над підвалом: збірні залізобетонні плити (вимоги згідно з ДСТУ Б В.2.6-2:2009).

Гідроізоляція: обклеювальна, обмазувальна.

Вище відмітки 0.000.

Стіни зовнішні: із силікатної повнотілої цегли.

Перегородки: із пустотілого керамічного каменю товщиною 120 мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-61:2008.

Перекриття: збірні залізобетонні багатопустотні плити та монолітні ділянки з бетону.

Перемички: збірні залізобетонні (вимоги згідно з ДСТУ Б В.2.6-55:2008).

Шахта ліфта: цегляна.

Сходи: із збірних залізобетонних елементів.

Покрівля: горищна, з теплим горищем; водоізоляційний килим із 3-х шарів наплавлюваного матеріалу.

Двері:

- зовнішні — за серією 1.136.5-19 (або індивідуального виготовлення згідно з ДСТУ Б В.2.6-11:2011);
- внутрішні — щитові згідно з ДСТУ Б В.2.6-99:2009.

Підлоги: керамічна плитка, лінолеум, щитовий паркет (або ламінат).

Внутрішнє опорядження

Стіни: готуються під обклеювання та обклеюються шпалерами до стелі без фризів.

Вологі приміщення: стіни облицьовуються глазурованою плиткою на висоту 1,5 м (згідно з сучасними нормами рекомендується на висоту дверного отвору або на всю висоту).

Зовнішнє опорядження.

Цоколь: облицьовується фасадною системою типу «Alutal» (вентильований фасад).

Огородження балконів та лоджій: із керамічної повнотілої цегли.

Антикорозійний захист: захист будівельних конструкцій виконується олійними фарбами, металізацією та комбінованим методом (згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-186:2013).

3.3 Розрахунок каркаса будівлі

Збір навантажень виконано аналогічно до розділу «Основи та фундаменти». Розрахунок каркаса виконували у програмному комплексі «МОНОМАХ» із застосуванням методу скінченних елементів (МСЕ).

Таблиця 3.2 - Характеристики будівлі

Позначка планування	0 м
Позначка верху підколонник	-2.6 м
Відмітка підошви фундаменту	-3.2 м
Схема розподілу горизонтальних навантажень при розрахунку всієї будівлі	Зв'язкова

Таблиця 3.3 - Характеристики ґрунту

Об'ємна вага	1.8 т/м^3
Кут внутрішнього тертя	22 °
Зчеплення	2 тс/м^2
Модуль деформації	1000 тс/м^2
Коефіцієнт Пуассона	0.4

Таблиця 3.4 - Додаткові параметри розрахунку жорсткості пружної основи

Lyambda	0.5

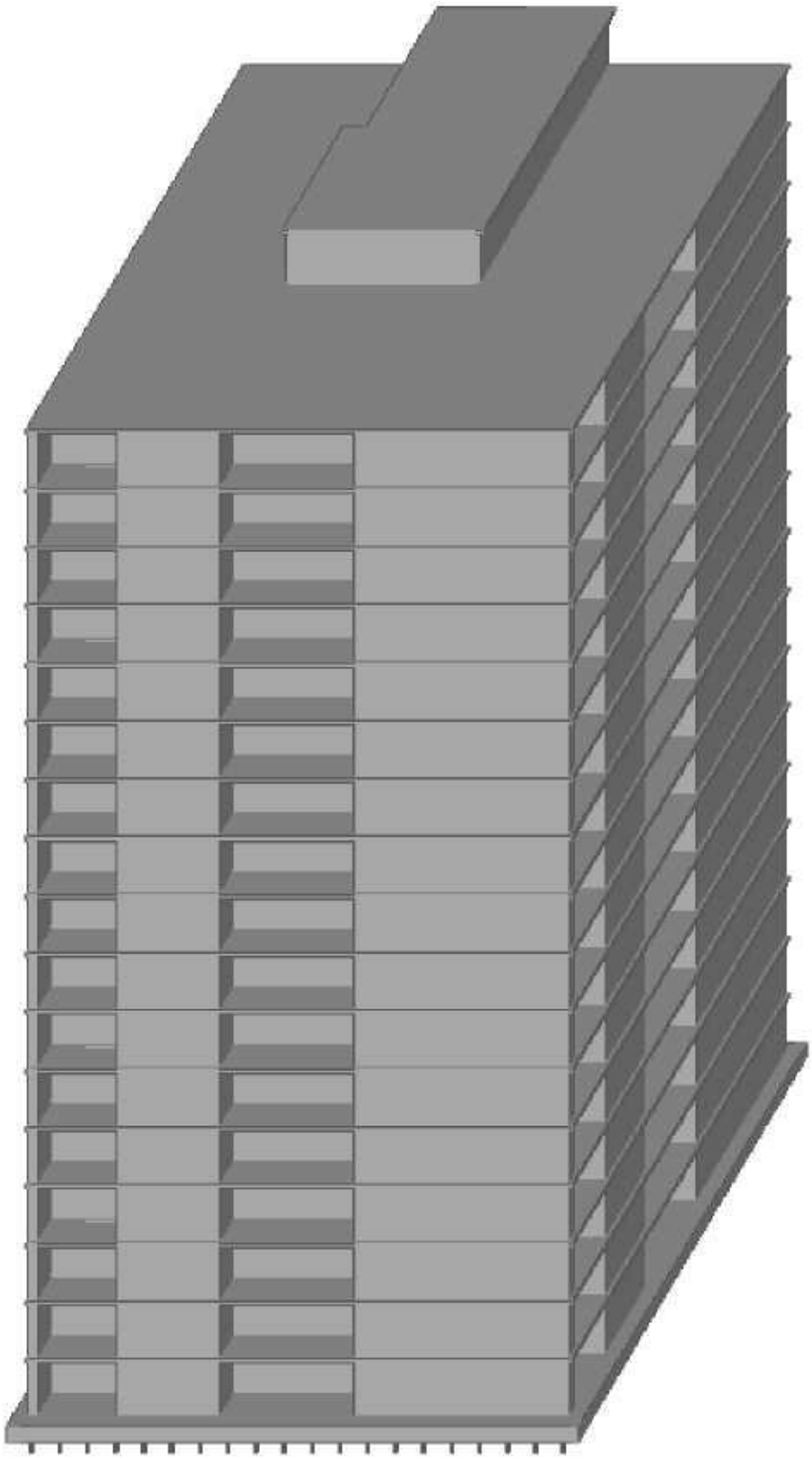


Рисунок 3.1 - Модель каркасу

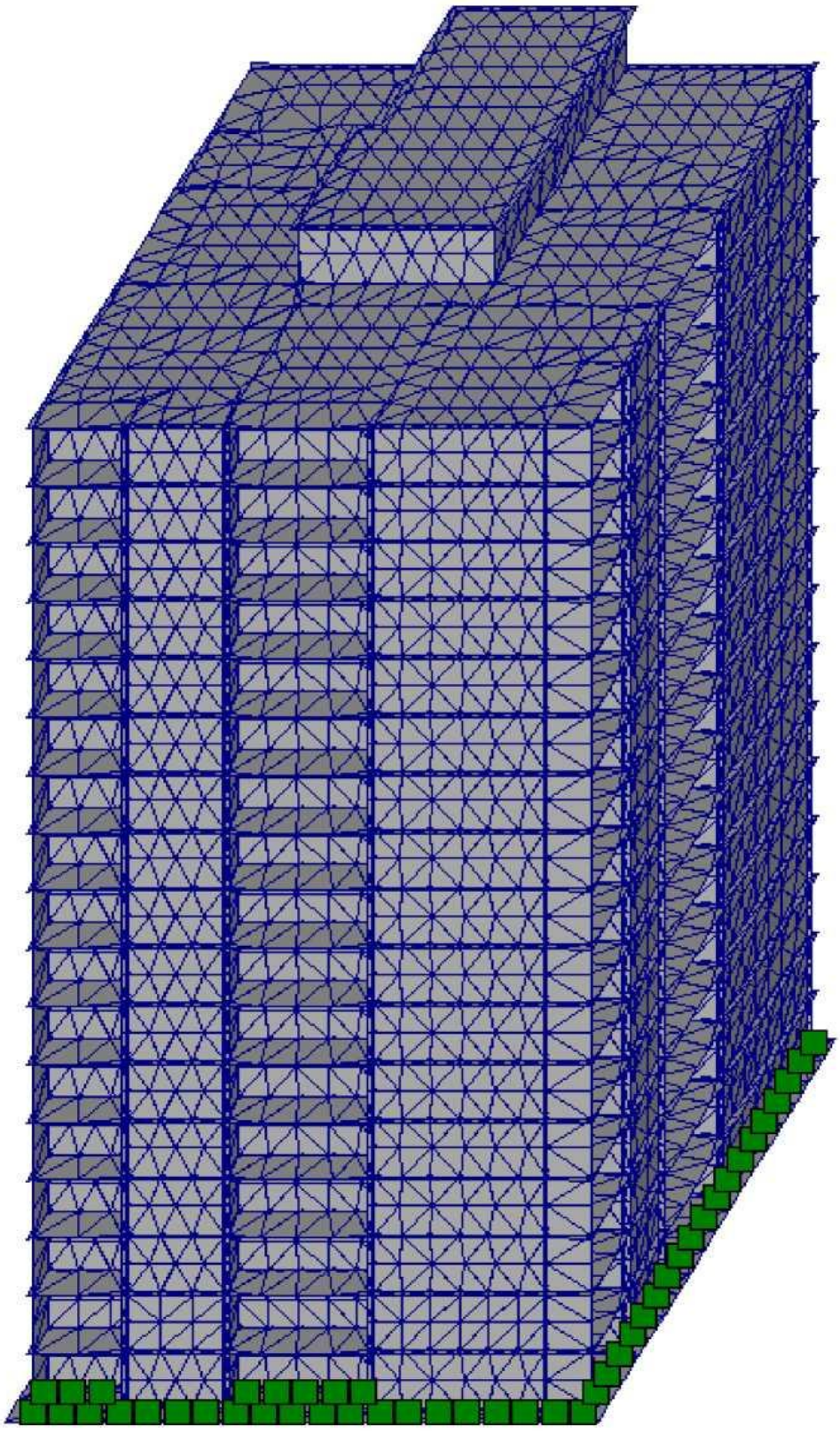


Рисунок 3.2 - Скінченно-елементна модель каркаса

3.4 Аналіз роботи каркаса будівлі за різних видів навантажень

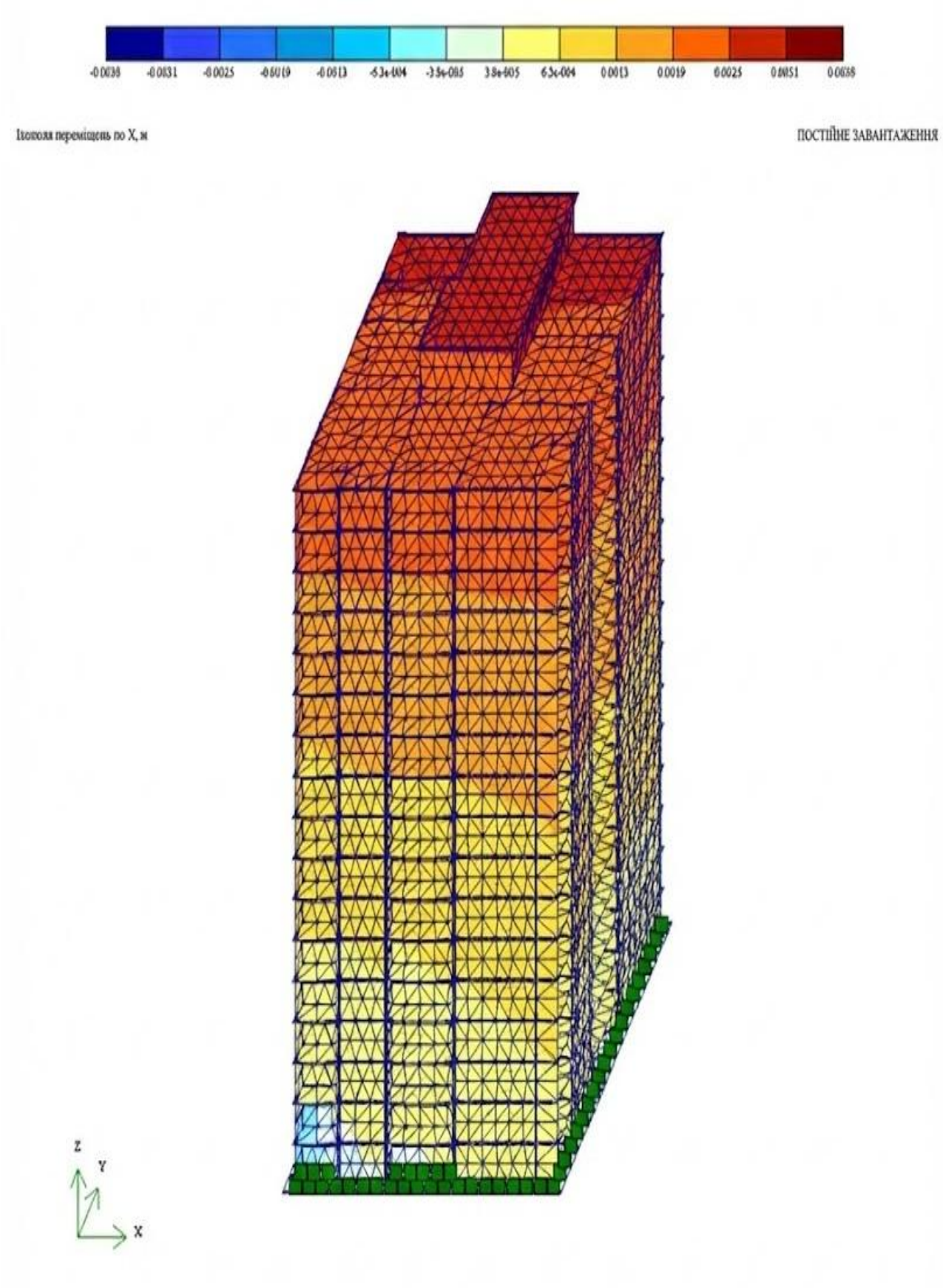


Рисунок 3.3 - Розподіл переміщень по осі X, м

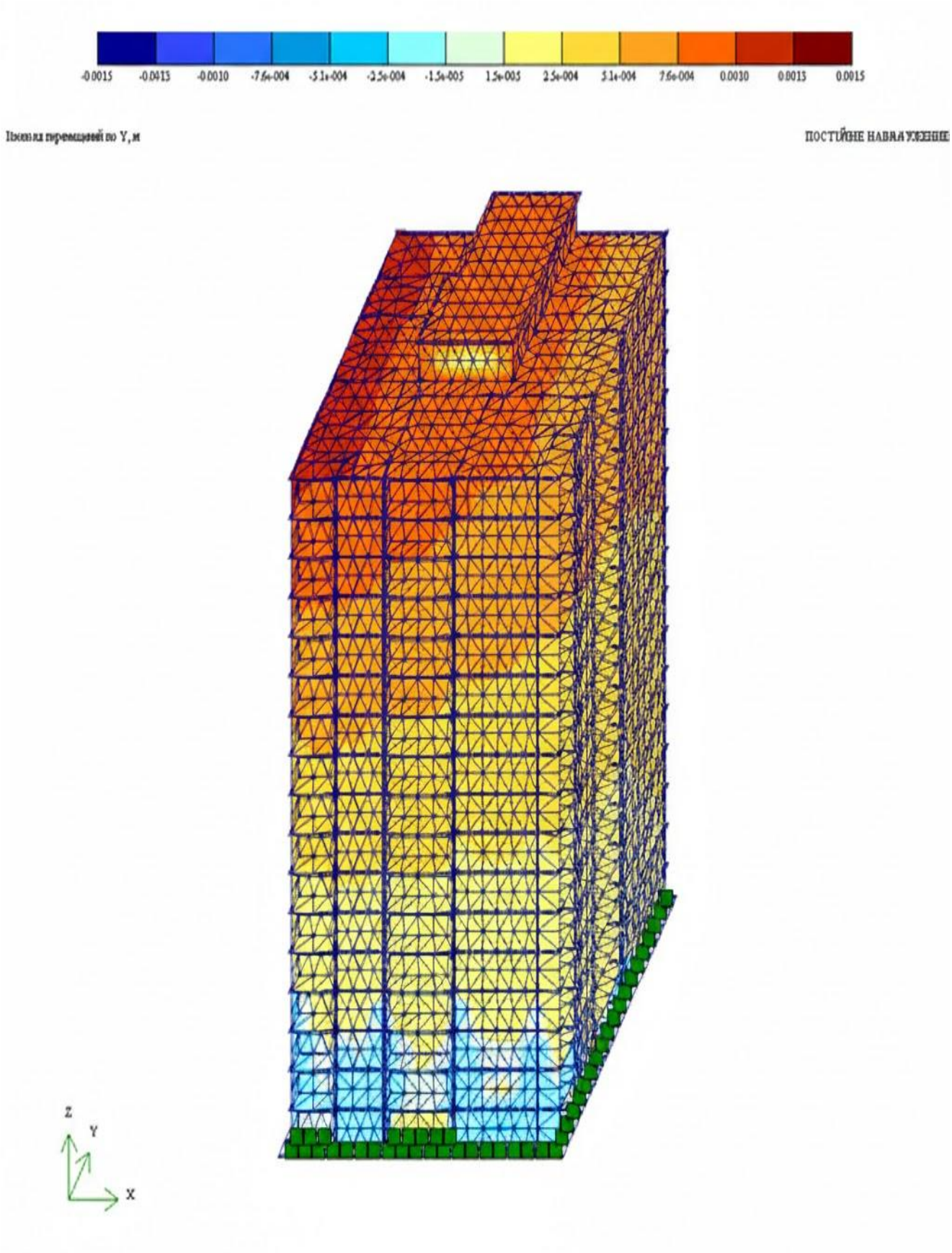


Рисунок 3.4 - Розподіл переміщень по осі Y, м

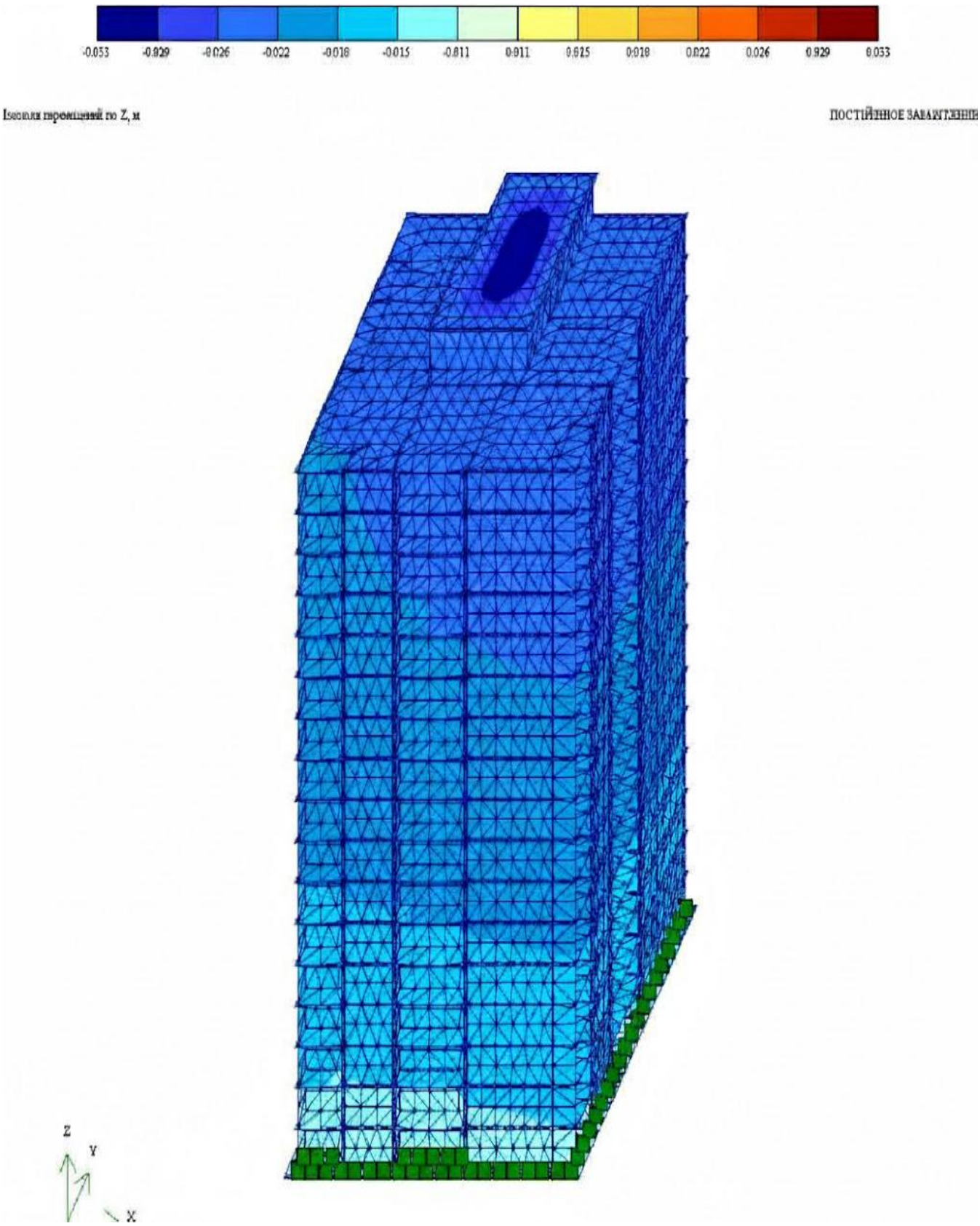


Рисунок 3.5 - Розподіл переміщень по осі Z, м

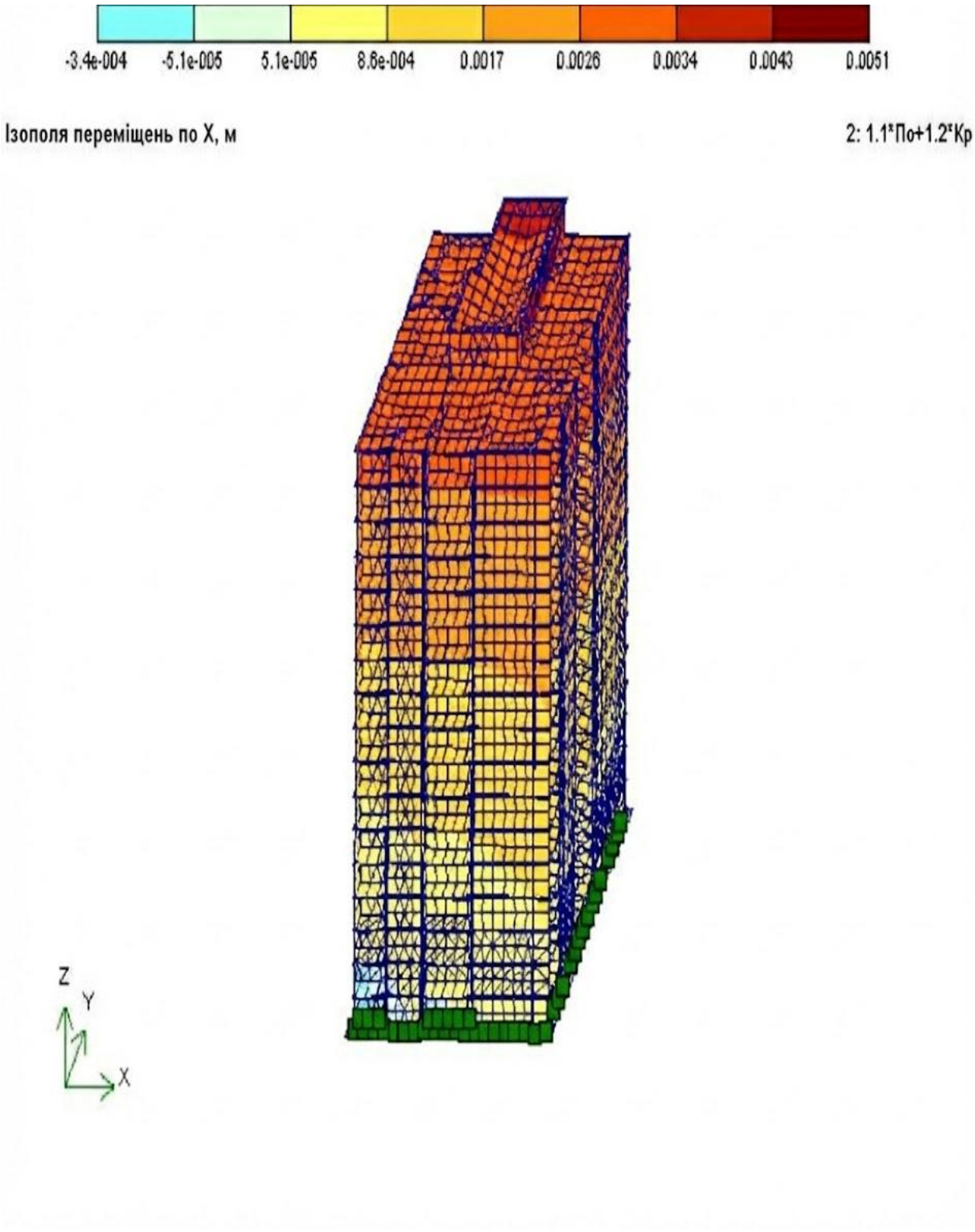


Рисунок 3.6 - Розподіл переміщень по осі X, при 2-му сполученні зусиль (деформаційний режим), м



Рисунок 3.7 - Розподіл переміщень по осі Y, при 2-му поєднанні зусиль (деформаційний режим), м.

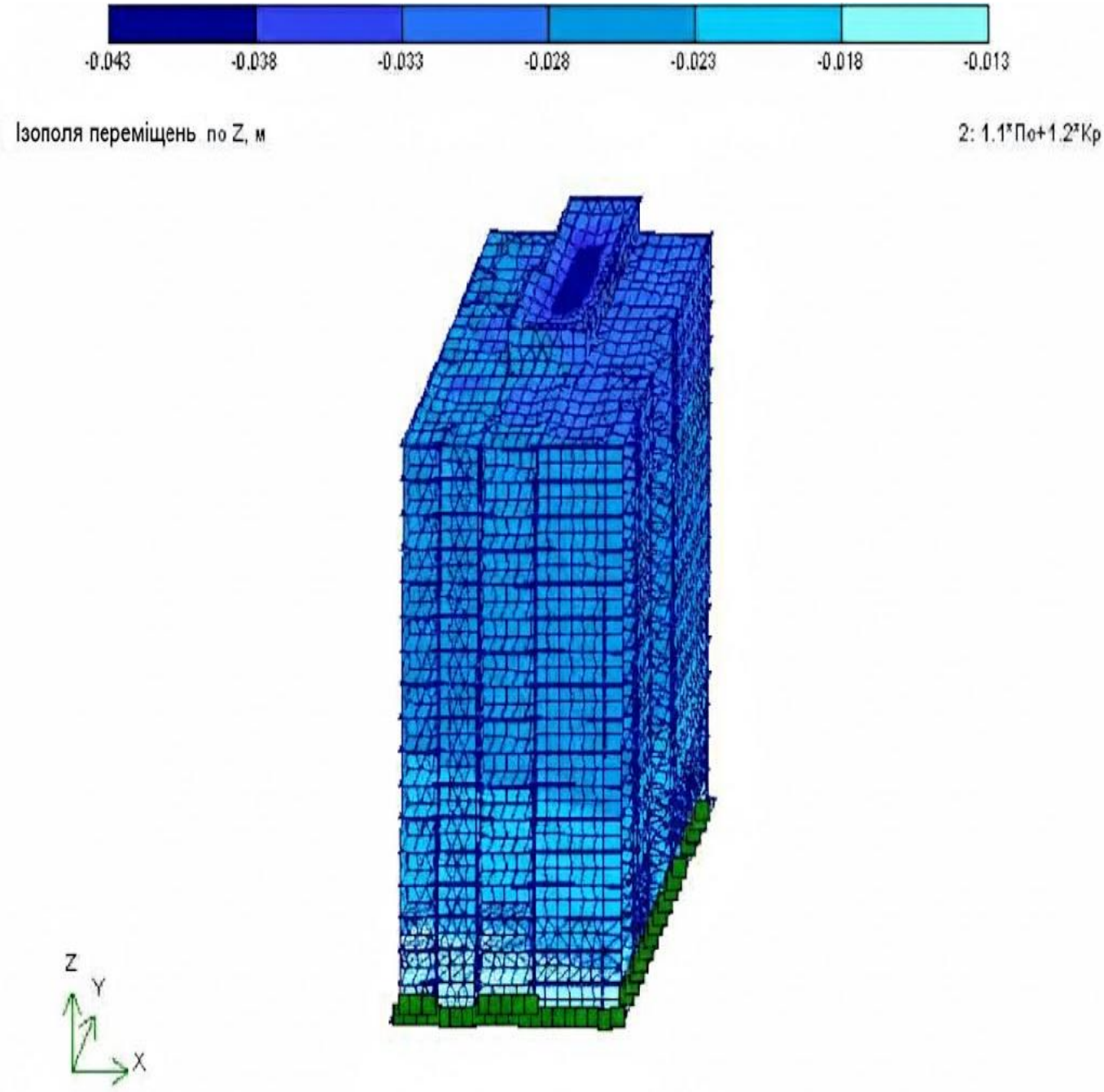


Рисунок 3.8 - Розподіл переміщень по осі Z, при 2-му поєднанні зусиль (деформаційний режим), м.



Рисунок 3.9 - Розподіл переміщень по осі UX, при 2-му поєднанні зусиль (деформаційний режим), рад*1000

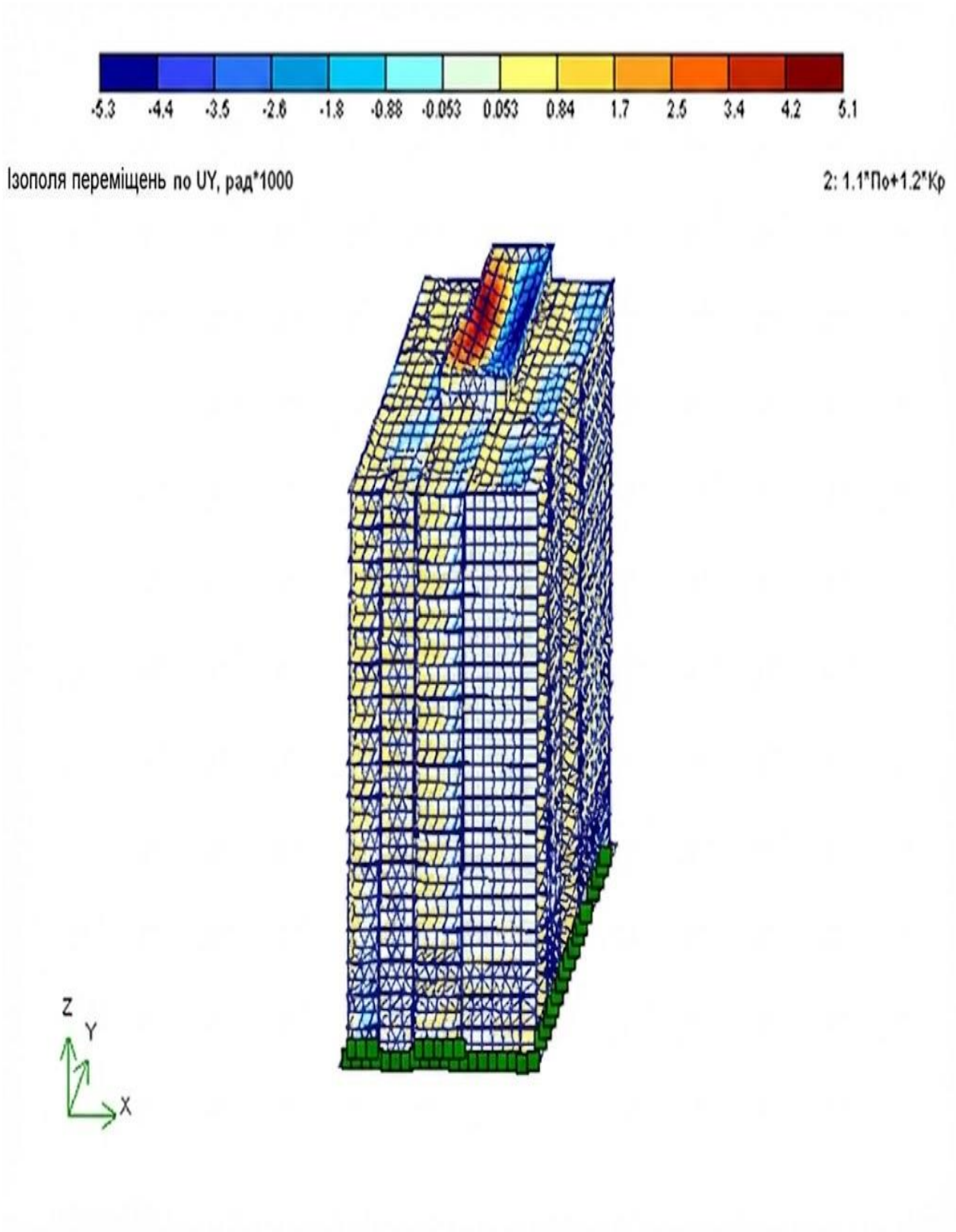


Рисунок 3.10 - Розподіл переміщень по осі UY при другому сполученні зусиль (деформаційний режим), рад*1000



Рисунок 3.11 -Розподіл переміщень по осі UZ при 2-му сполученні зусиль (деформаційний режим), рад*1000

3.5 Аналіз роботи плити 3-го поверху будівлі при різних видах навантаження

Ізополя переміщень вздовж осі Z будуються як обвідні. При перегляді переміщень наводяться їхні розрахункові значення. Зверніть увагу не на максимальне значення переміщення, а на різницю між максимальним та мінімальним значеннями переміщень (у нашому прикладі це 22 – 17.8 = 4.2 см — у такому діапазоні переміщуються вузли плити відносно вузла плити з мінімальним переміщенням). Ця різниця може бути спричинена як нерівномірністю осідання опор, так і максимальним прогином плити в прольотах.

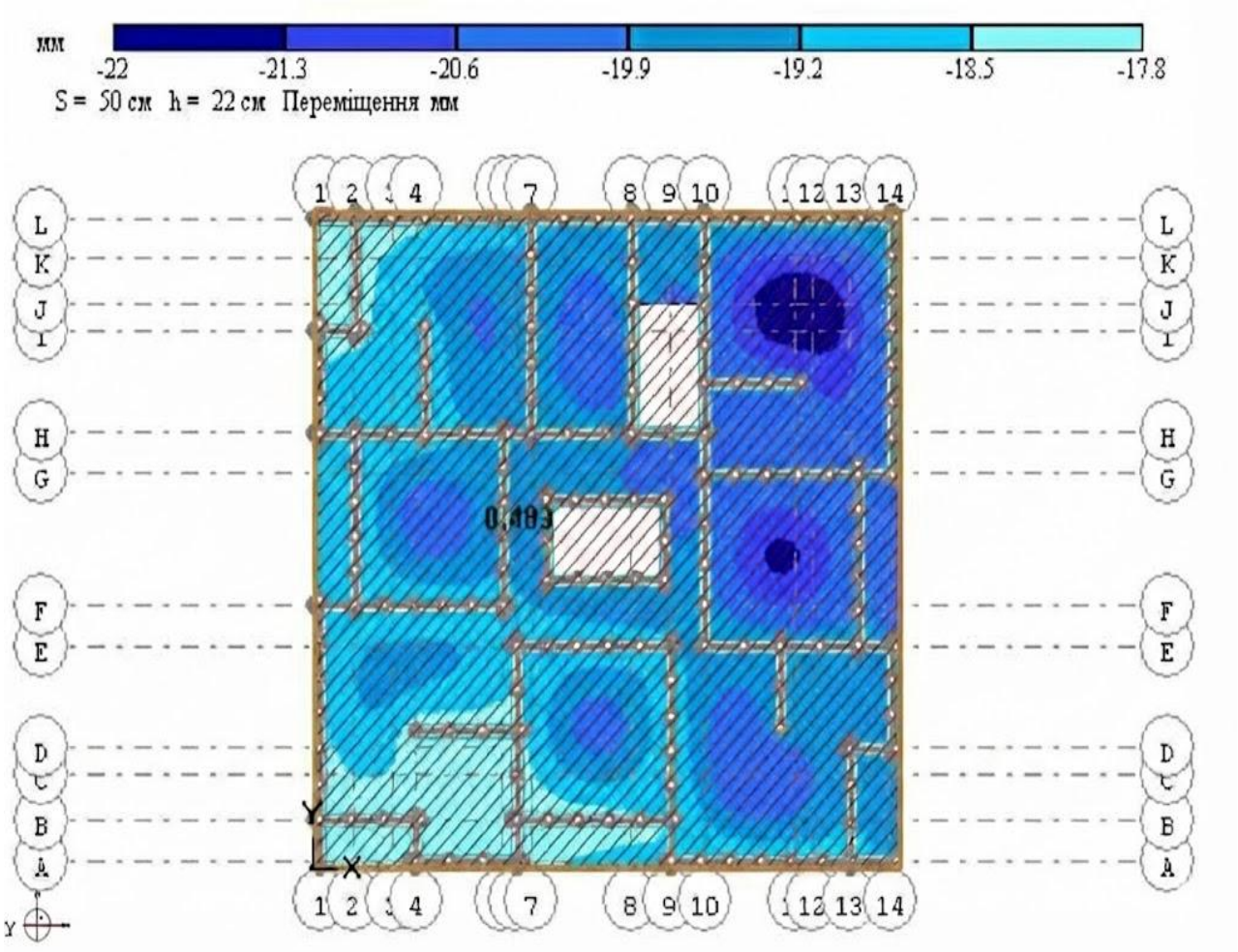


Рисунок 3.12 - Ізополя переміщень, мм

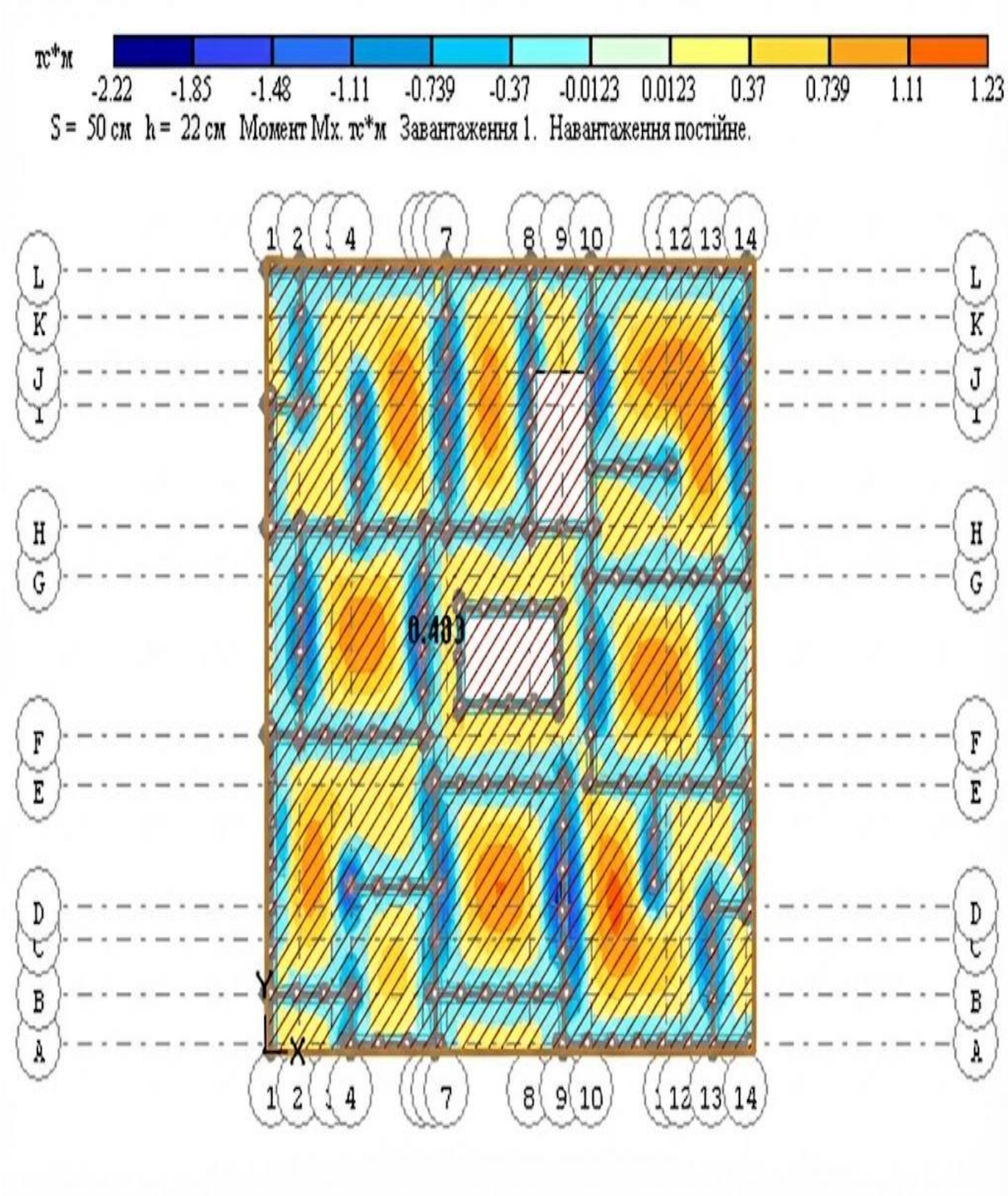


Рисунок 3.13 - Ізополя моментів Мх тс*м

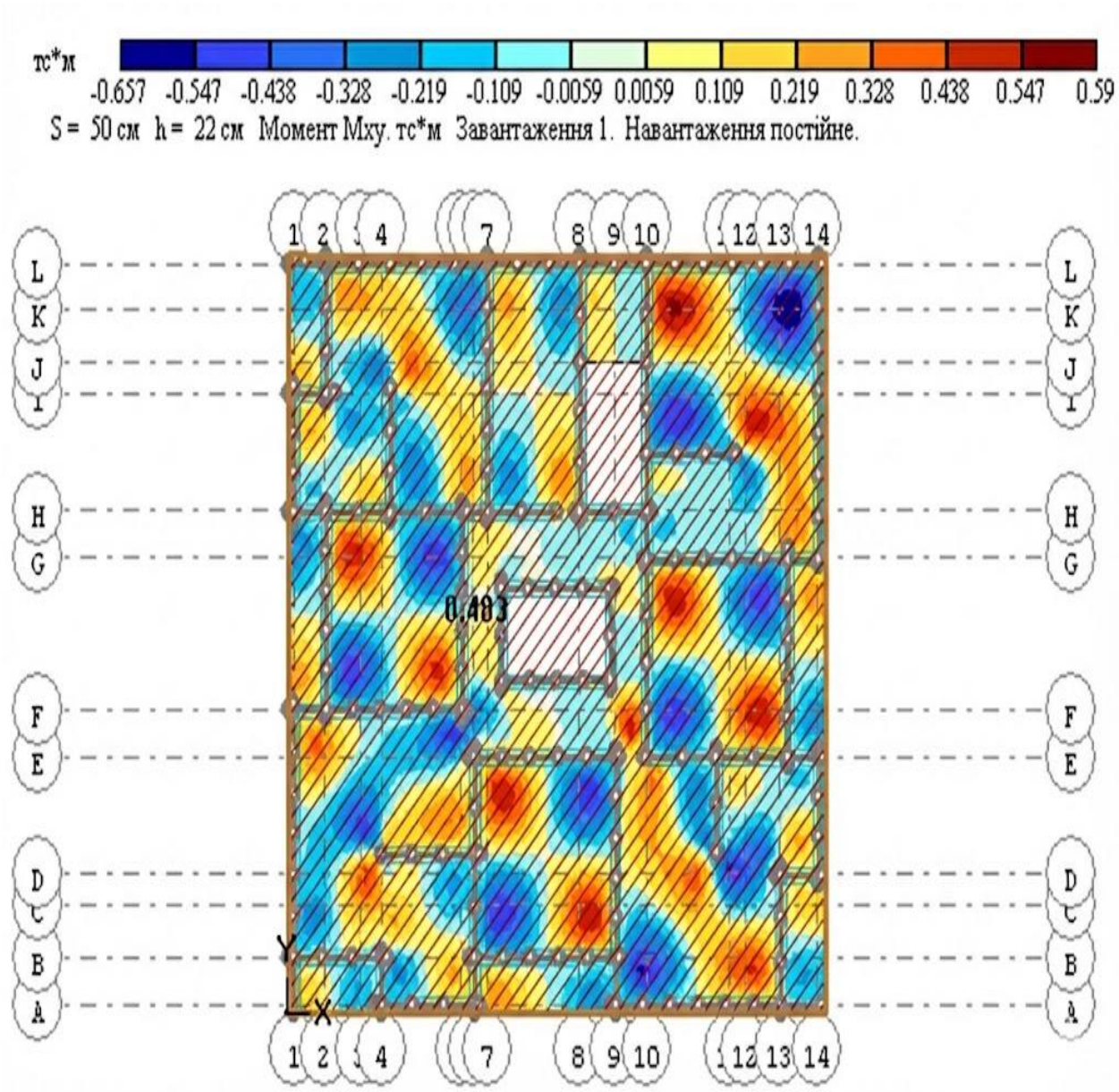


Рисунок 3.14 - Ізополя моментів My тс*м

Ізополя напружень і зусиль будуються окремо за завантаженнями. За замовчуванням під час перегляду напружень і зусиль наводяться їхні розрахункові значення.

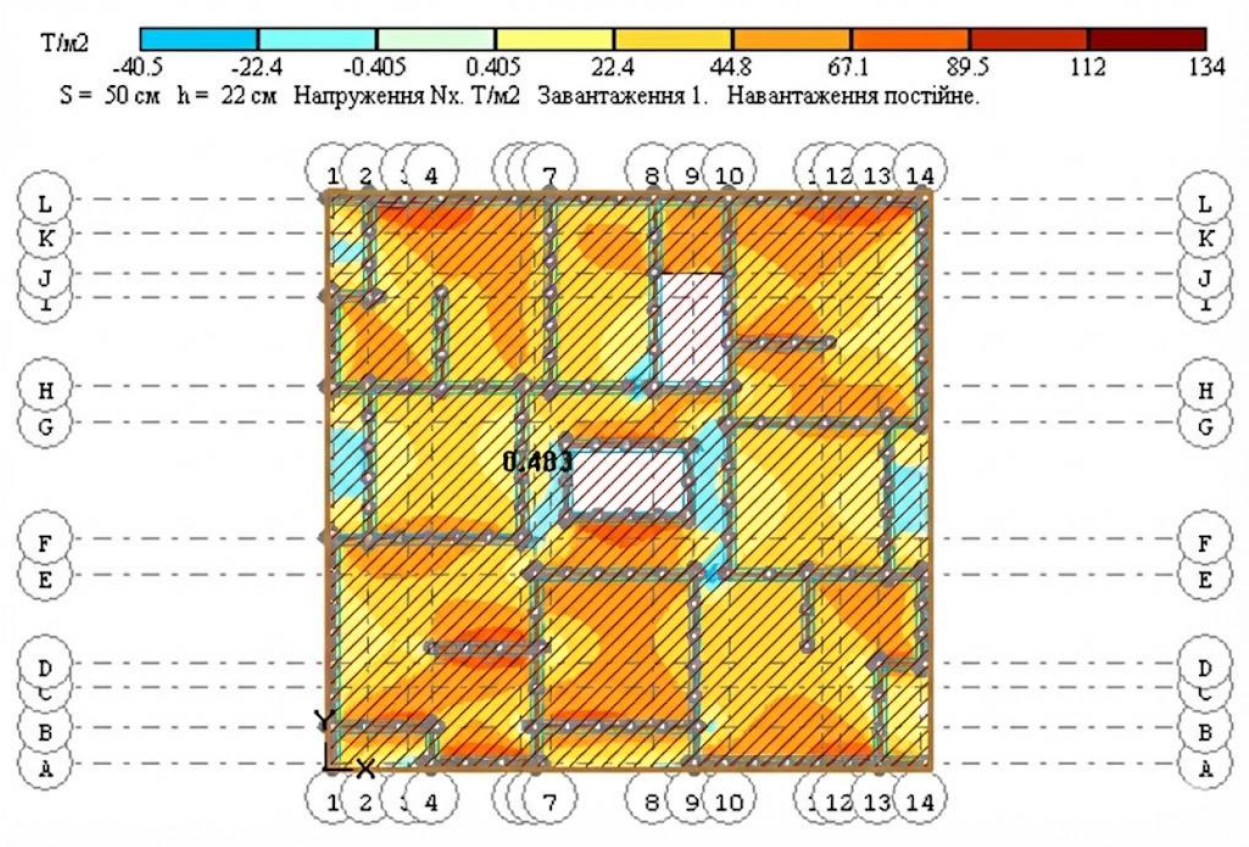


Рисунок 3.15 - Ізополя моментів Nx Т/м²

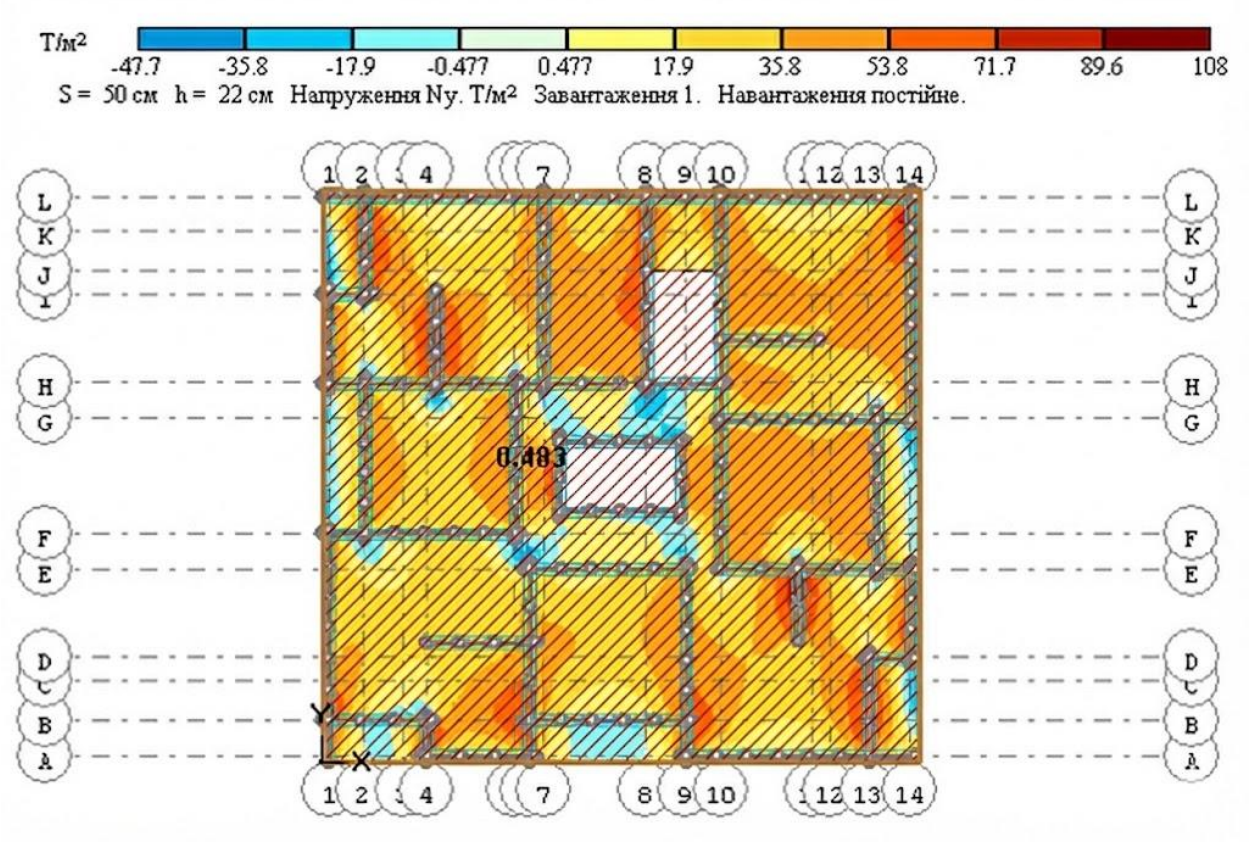


Рисунок 3.16 - Ізополя моментів Ny Т/м²

У центрі кожного елемента розрахункової схеми плити відображаються лінії синього та зеленого кольорів, які зображені в масштабі відносно максимального значення розрахункової площі за напрямками X та Y.

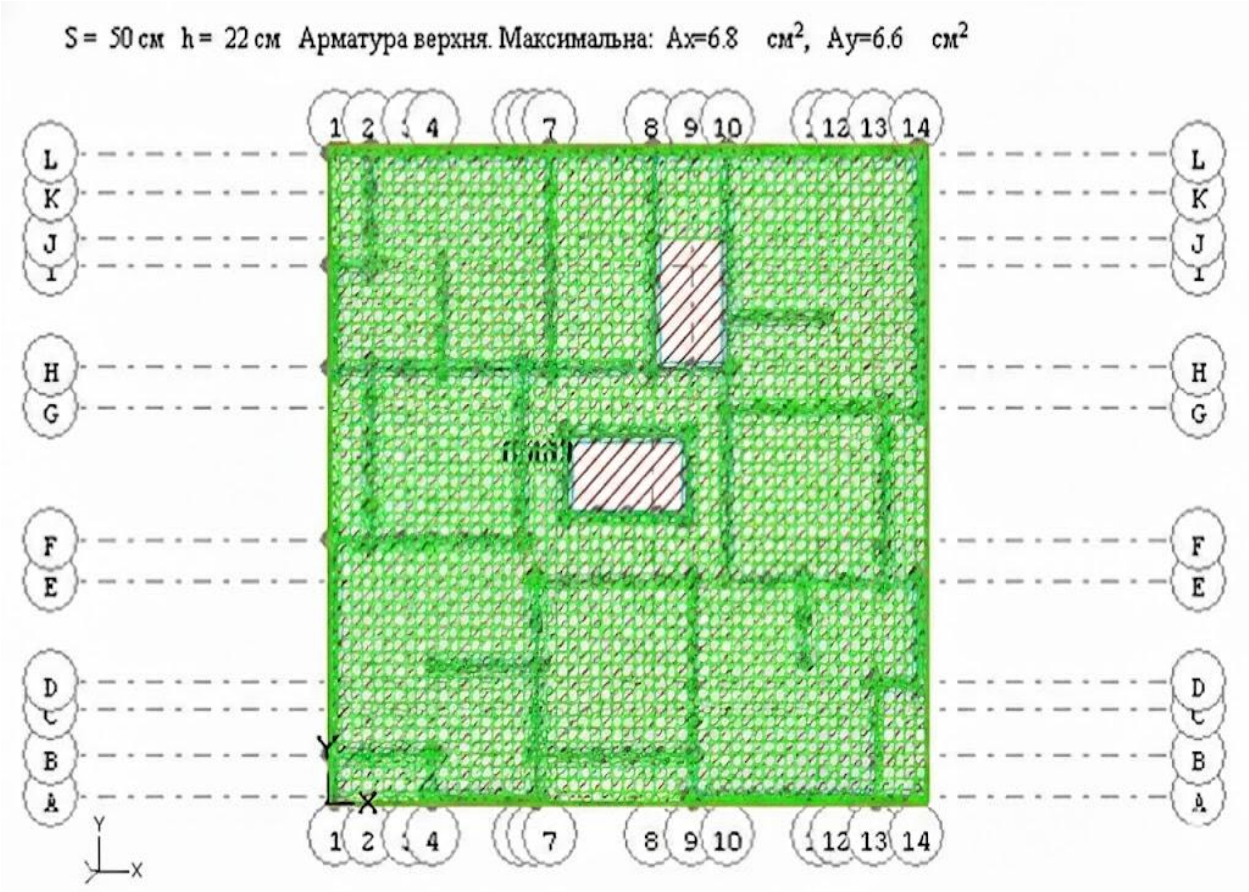


Рисунок 3.17 - Армування біля верхньої грані плити у графічному вигляді

3.6 Перегляд розрахункового армування у графічному та цифровому вигляді

У програмі ПЛИТА армування плити розглядається окремо — біля верхньої та нижньої граней плити. Окремо розглядаються поперечне армування та армування за розрахунком на продавлювання.

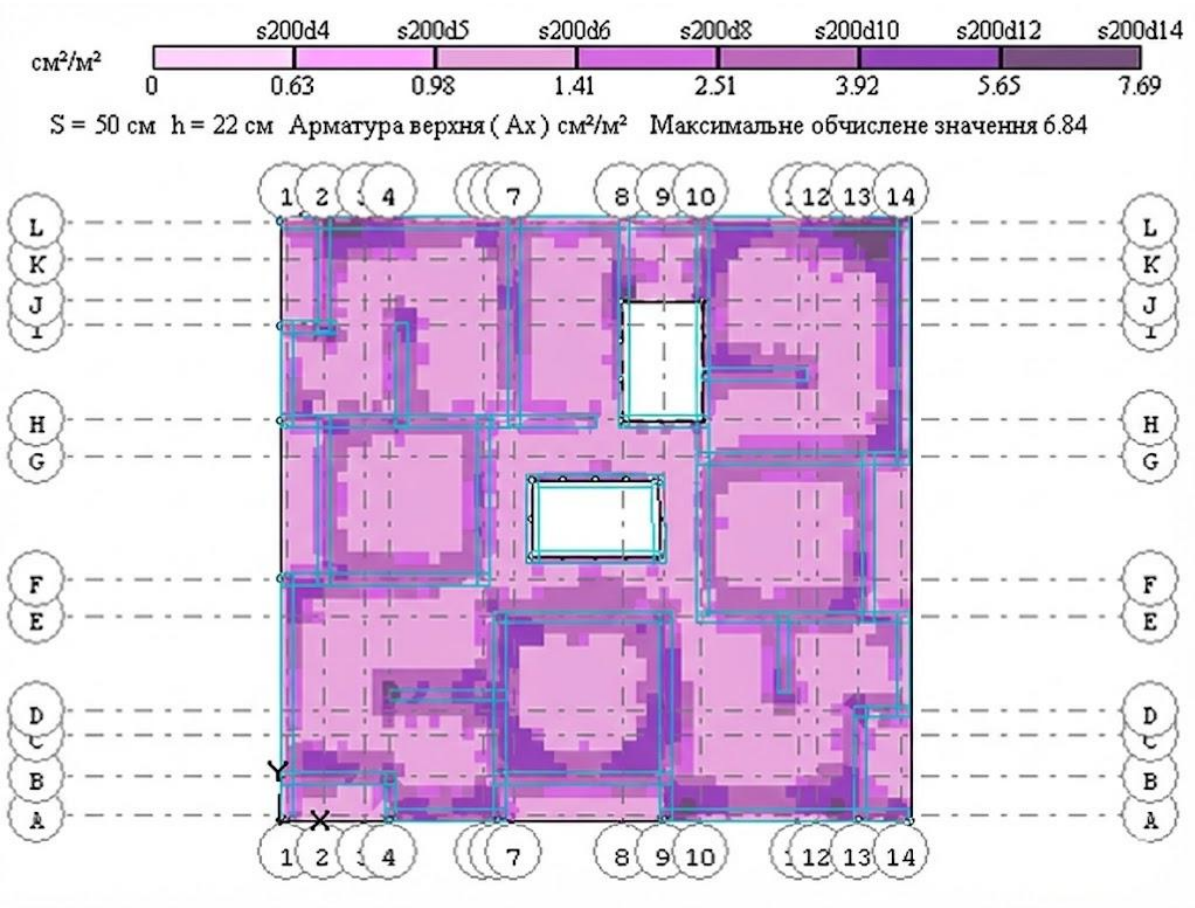


Рисунок 3.18 - Ізополя армування Ах біля верхньої грані плити

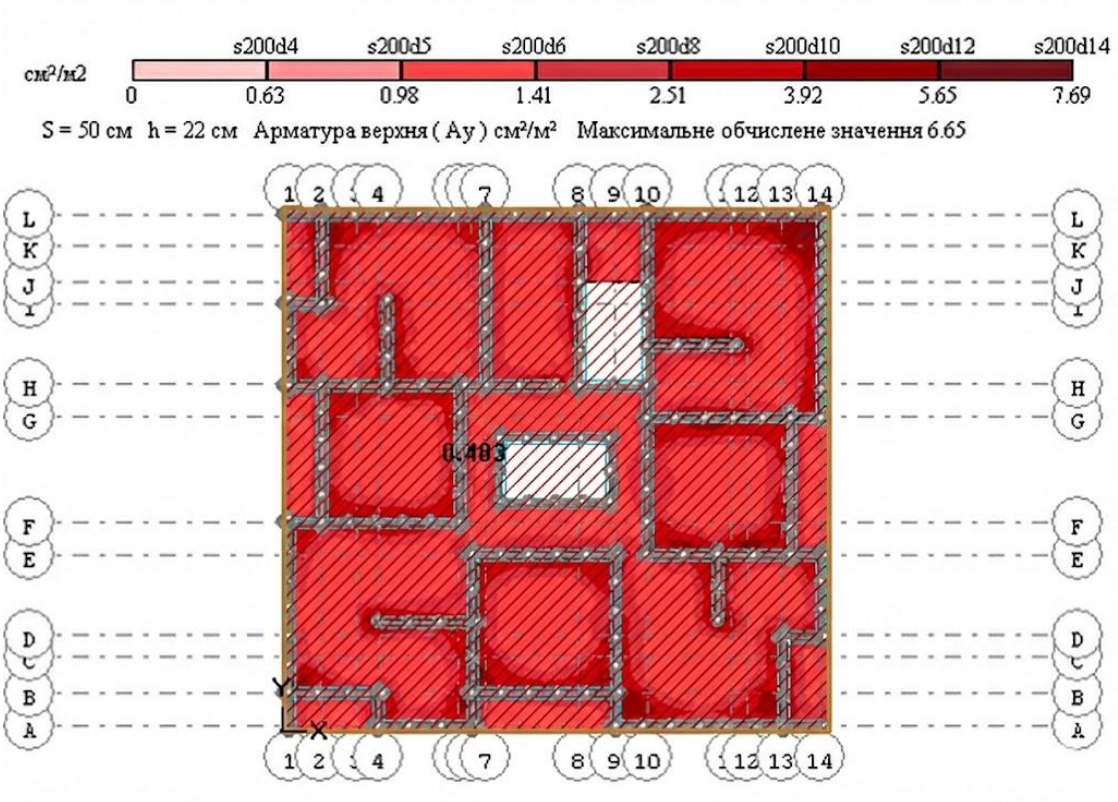


Рисунок 3.19 - Ізополя армування Ау біля верхньої грані плити

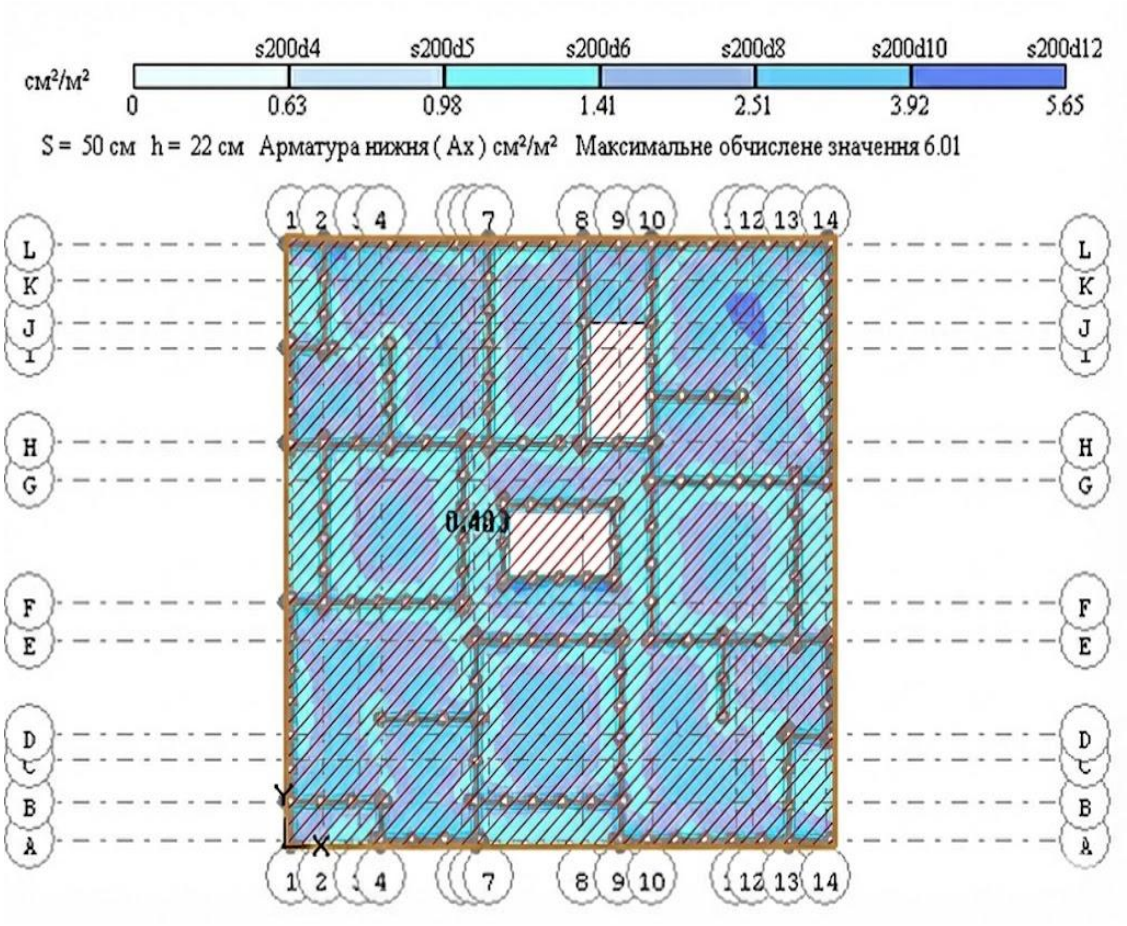


Рисунок 3.20 - Ізополя армування Ах біля нижньої грані плити

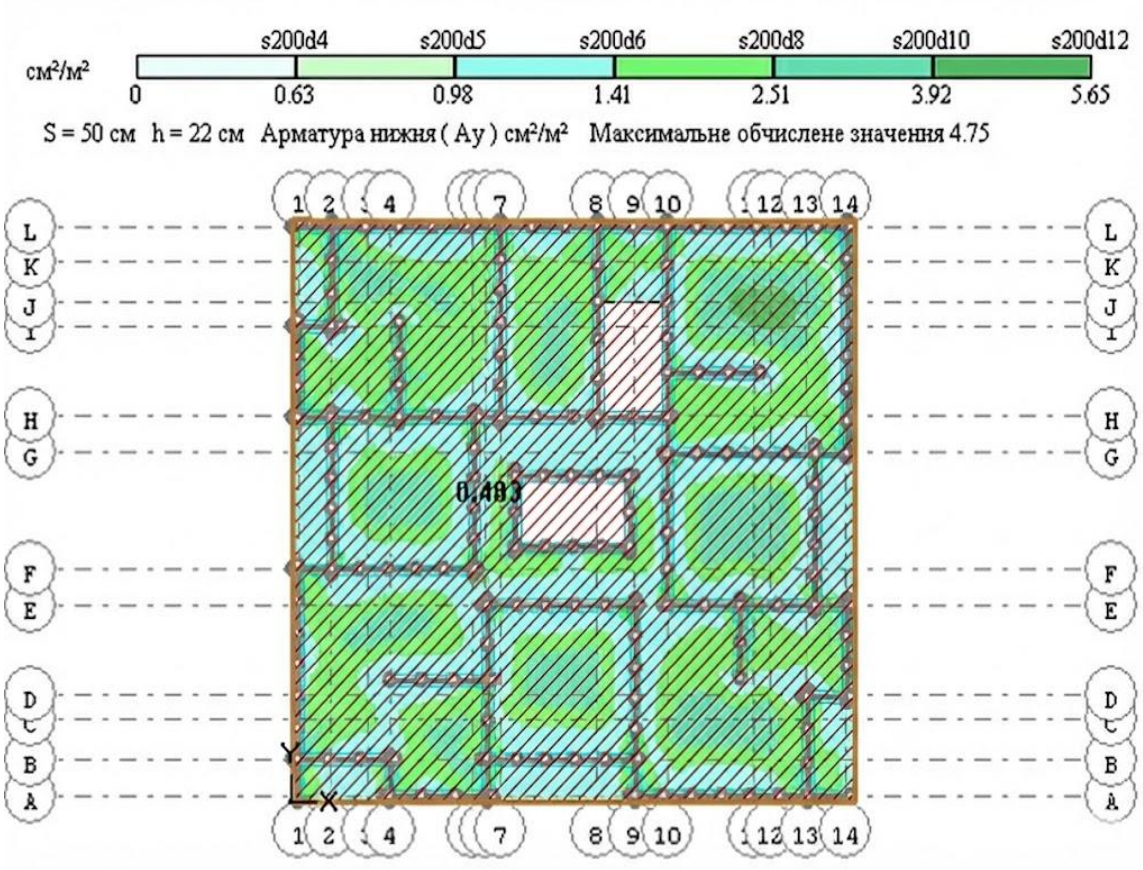


Рисунок 3.21 - Ізополя армування Ау біля нижньої грані плити

Для повноти картини переходимо в режим відображення навантажень «Мозаїка». Мозаїки допоможуть виявити КЕ плити з максимальним обчисленим значенням розрахункового армування. При налаштуванні нерівномірної шкали армування можна вказувати діапазони не лише в числовому, а й у формульному вигляді. У цьому випадку значення задається у вигляді формули. Наприклад, формула s200d10 позначає діаметр арматурного стрижня d = 10 мм із кроком s = 200 мм і відповідає значенню площі армування 3,925 см². Формула 5d10 (або k5d10) позначає діаметр арматурного стрижня d = 10 мм із кроком 5 стрижнів на 1 погонний метр і відповідає значенню площі армування 3,925 см². Можна задати вираз виду s200d8 + s200d22 або змішаний вираз виду s200d8 + 19.01, де 19,01 – значення площі, см².

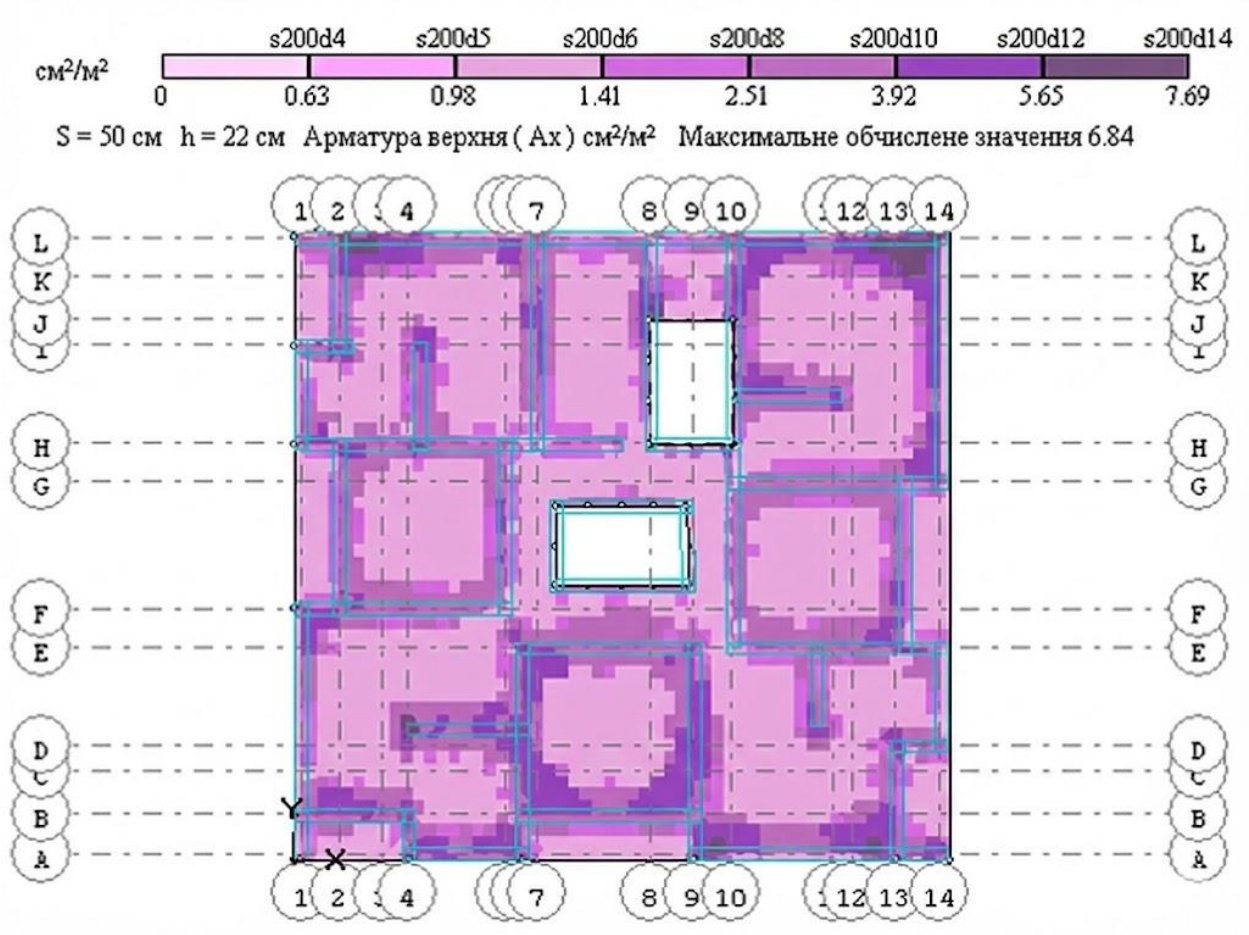


Рисунок 3.22 - Ізополя армування Ax біля верхньої грані плити після редагування шкали

Таке подання ізополів армування найчастіше використовується при реальному проектуванні, оскільки відповідає поширеному принципу армування плит: по всій плиті біля нижньої та верхньої граней плити укладаються стрижні (сітки) основного армування, а в місцях, де потрібне підсилення — укладаються стрижні (сітки) додаткового армування.

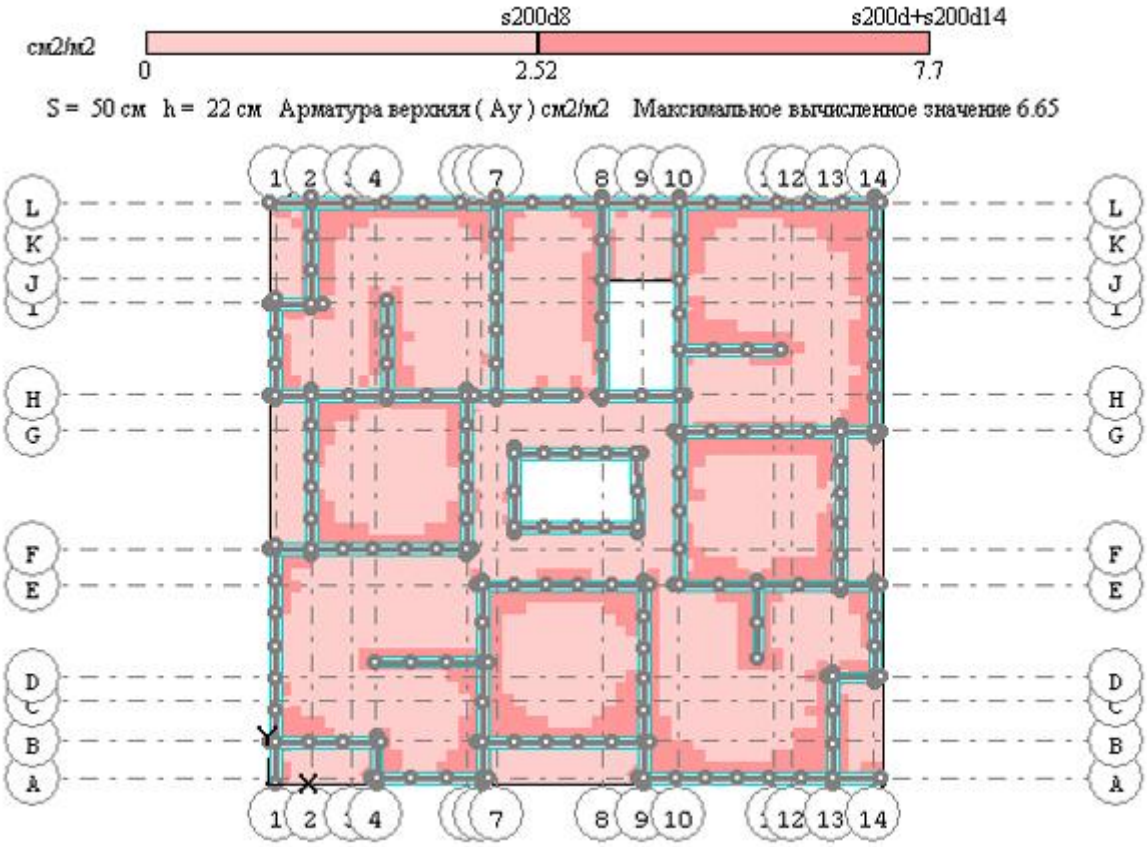


Рисунок 3.23 - Ізополя армування Ау біля верхньої грані плити після редагування шкали

3.7 Висновки до розділу 3

1. У програмному комплексі «МОНОМАХ» із застосуванням методу скінченних елементів побудовано та розраховано просторову модель каркаса 16-поверхового житлового будинку в м. Харків. В результаті розрахунку

отримано картину деформацій будівлі (переміщення по осях X, Y, Z та кутові переміщення) при різних сполученнях навантажень, що підтверджує правильність прийнятих конструктивних рішень та жорсткість системи.

2. Виконано детальний аналіз напружено-деформованого стану плити перекриття 3-го поверху. На основі отриманих ізополів моментів та переміщень розраховано необхідне армування (Ах, Ау) для верхньої та нижньої граней плити. Використання режиму «Мозаїка» дозволило оптимізувати армування, визначивши зони для укладання основних сіток та місця, що потребують додаткового підсилення стрижнями.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1.У роботі розглянуто основні етапи становлення монолітного домобудування у світі та Україні. Основною перевагою монолітного домобудування порівняно зі збірним є зниження одноразових витрат на створення виробничої бази на 30...40 % (заводи ЗБВ, ЗБК та ДБК), зменшення витрат сталі на 10...20 % та зниження енергетичних витрат — на 30 %.

2.Іншими перевагами монолітних будівель є можливість будівництва в сейсмічних районах; в умовах відсутності виробничої бази (заводів ЗБВ); реконструкція будівель, а також варто відзначити архітектурну виразність об'єктів, виконаних у монолітному варіанті.

3.На підставі цього було обрано технологію будівництва — монолітну.

4.Відповідно до мети роботи було проведено аналіз проєктування та виготовлення монолітної плити перекриття. Розглянуто методику виготовлення, підбору бетону та опалубки для влаштування даної плити. Розглянуто програмні комплекси, що дозволяють моделювати роботу залізобетонних конструкцій будівлі при різних впливах навантажень.

5.За допомогою програмного комплексу було виконано розрахунок на основі вихідних даних для будівництва при різних завантаженнях. Аналіз роботи каркаса показав, що проєктування об'єкта виконано вірно, а небезпечні зони навантаження відсутні.

6.Проведено аналіз роботи плити перекриття 3-го поверху будівлі. На основі аналізу виконано підбір арматури, показано роботу верхньої, нижньої та поперечної арматури, а також виконано розрахунок на утворення тріщин та підбір оптимальної товщини плити.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. [Чинний від 2014–10–01]. Київ : Мінрегіон України, 2014. 22 с.

2. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. [Чинний від 2017–01–01]. Київ : Мінрегіон України, 2016. 95 с.

3. ДБН А.3.2-2-2009. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2012–04–01]. Київ. : Мінрегіонбуд України, 2012. 78 с.

4. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. [Чинний від 2019–10–01]. Київ. : Мінрегіон України, 2019. 185 с.

5. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017–05–01]. Київ : Мінрегіон України, 2017. 42 с.

6. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України. [Чинний від 2014–10–01]. Київ : Мінрегіон України, 2014. 110 с.

7. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проєктування. [Чинний від 2007–01–01]. Київ : Мінбуд України, 2006. 60 с. (Зі змінами).

8. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [Чинний від 2019–01–01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 25 с.

9. ДБН В.2.1-10:2018. Основи та фундаменти будівель і споруд. Основні положення. [Чинний від 2019–01–01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 36 с.

10. ДБН В.2.2-9:2018. Громадські будинки та споруди. Основні положення. [Чинний від 2019–06–01]. Київ : Мінрегіон України, 2019. 46 с.

11. ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки. Основні положення. [Чинний від 2019–12–01]. Київ : Мінрегіон України, 2019. 37 с.

12. ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. [Чинний від 2019–04–01]. Київ : Мінрегіон України, 2019. 64 с.

13. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 2013–03–01]. Київ : Мінрегіон України, 2012. 132 с.

14. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014–01–01]. Київ : Мінрегіон України, 2013. 145 с.

15. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. [Чинний від 2014–01–01]. Київ : Мінрегіон України, 2013. 176 с.

16. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. [Чинний від 2014–01–01]. Київ : Мінрегіон України, 2013. 154 с.

17. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022–09–01]. Київ : Мінрегіон України, 2022. 76 с.

18. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинний від 2011–07–01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с.

19. ДБН В.2.6-161:2017. Дерев’яні конструкції. Основні положення. [Чинний від 2018–01–01]. Київ : Мінрегіон України, 2017 68 с.

20. ДБН В.2.6-193:2013. Захист будівельних конструкцій від корозії. [Чинний від 2014–01–01]. Київ : Мінрегіон України, 2013. 86 с.

21. ДСТУ 3760:2019. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. [Чинний від 2019–10–01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 28 с.

22. ДСТУ Б В.2.7-43-96. Будівельні матеріали. Бетони важкі. Технічні умови. [Чинний від 1997–01–01]. Київ. : Держкоммістобудування, 1996. (Зі змінами).

23. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011–11–01]. Київ. : Мінрегіонбуд України, 2010. 123 с.

24. ДСТУ-Н Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чинний від 2011–06–01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 118 с.

25. НПАОП 0.00-1.01-07. Правила будови і безпечної експлуатації

вантажопідіймальних кранів. Затв. наказом Держгірпромнагляду від 18.06.2007 № 132.

26. ДСТУ-Н Б В.2.6-203:2015. Настанова з виконання робіт при виготовленні та монтажі бетонних і залізобетонних конструкцій. [Чинний від 2016–07–01]. Київ : Мінрегіон України, 2016. 86 с. (Національний стандарт України).

27. Виноградов В.В. Програмне забезпечення для проектування будівельних конструкцій. *Матеріали XVIII університетської науково-практичної конференції «МОЛОДА НАУКА-2025»*. Запоріжжя : ЗНУ, 2025. С.12-14.

28. Моргун А. С., Андрухов В. М., Сорока М. М. та ін. Системи автоматизованого проєктування в будівництві : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2015. 129 с.

29. Барабаш М. С., Козлов С. В., Медведенко Д. В. Комп'ютерні технології проєктування металевих конструкцій : навчальний посібник. Київ: Ліра-САПР, 2012. 264 с.

30. Дмитренко Є. А. Основи автоматизованого проєктування в будівництві : навчальний посібник. Київ: НУБіП, 2023. 90 с.

31. Ванін В. В., Перевертун В. В., Надкернична Т. О. Комп'ютерна інженерна графіка в середовищі AutoCAD: навч. посіб. Київ: Каравела, 2006. 336с.

32. Павліков А.М. Залізобетонні конструкції: будівлі, споруди та їх частини : підручник / А.М. Павліков; Полт НТУ. Вид. 2-ге, виправ. Полтава, ТОВ «АСМІ», 2017. 286 с.

33. Павліков А.М. Залізобетонні конструкції в умовах складного деформування та їх розрахунок: навчальний посібник / А.М. Павліков, О.В. Гарькава. Полтава : ПолтНТУ, 2023. 130 с.

34. European Technical Approval Post- Tensioning Systems 06/0022, - 2016. – 47p

35. Козак О.В. Розрахунок вузлів монолітних рам з напружуваною арматурою на бетон в розрахунковому комплексі «ЛІРА-САПР» // Будівельні конструкції. Теорія і практика: зб. наук. пр. Київ, КНУБА, 2019. Вип. 5. С. 32-38.

36. Карпіловський В. С., Кріксунов Е. З., Маляренко А. А. SCAD Office. Реалізація методу скінченних елементів у проектуванні споруд. Київ : СКАД СОФТ, 2021. 512 с.

37. Білов, В. А. (2024). ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ВИКОРИСТАННЯ БУДІВЕЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ (BIM) У ПРОЦЕСІ РЕСТАВРАЦІЇ ПАМ'ЯТОК АРХІТЕКТУРИ, ПОШКОДЖЕНИХ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, (6), 230-239. https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.6.26

38. Walker J. The Autodesk File: Bits of History, Words of Experience. New Riders Publishing, 1989. 560 p.

39. Яковенко І. А. Особливості розрахунку монолітних перекриттів безбалкового типу на продавлювання. *Будівельні конструкції: міжвідомчий наук.-техн. зб.* 2021. Вип. 84. С. 112–119.

40. Барабаш М. С. *Основи комп'ютерного моделювання* / М. С. Барабаш,. П. М. Кір'язєв, О. І. Лапенко, М. А. Ромашкіна // Навчальний посібник. Київ: НАУ, 2018. 492 с