



Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Будівництва, цивільної та екологічної інженерії  
Кафедра Будівництва, міського господарства та архітектури  
Ступінь вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань 19 Архітектура та будівництво  
(шифр і назва)  
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія  
(шифр і назва)  
Освітня програма Промислове та цивільне будівництво



## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Рижковій Тетяні Володимирівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Застосування метода скінчених елементів, метода граничних елементів до числового моделювання системи «наземна споруда – фундамент – основа»

керівник роботи д.т.н., професор Моргун А.С.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «20» березня 2025 р. № 96.

2. Строк подання студентом роботи 01.05.2025 р.

3. Вихідні дані для роботи: Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту проектування, результати інженерно-геологічних вишукувань, результати, огляду літературних джерел.

4. Зміст текстової частини: Вступ (актуальність та новизна наукових досліджень, об'єкт, предмет, мета і задачі, практична значимість, методи досліджень, апробація)

1. Науково-дослідна частина (огляд літературних джерел; аналіз сучасного стану питання можливості застосування МСЕ, МГЕ до розрахунку системи «наземна споруда – фундамент – основа»; огляд існуючих, сучасних програмних комплексів, що дозволяють виконувати математичне моделювання системи «наземна споруда – фундамент – основа», з приміненням МСЕ, МГЕ; стан питання з досліджень взаємовпливу НДС наземної та підземної частини будівель; МСЕ як математична основа для числового моделювання висотних будівель)

2. Дослідження та моделювання НДС елементів будівель (основні критерії складання розрахункових моделей будівель; етапи створення конструктивної схеми будівель)

3. Дослідження параметрів НДС споруди з врахуванням спільної роботи підземної та наземної частин (дослідження НДС наземної частини 3-х поверхової будівлі з підвалом: варіант фундаментної конструкції з паль-стійок; плитний варіант фундаментів)

4. Технічна частина

5. Економічна частина

Висновки

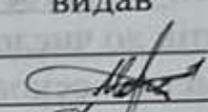
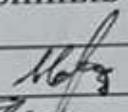
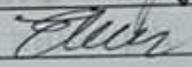
6. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Науково-дослідний розділ – 6 арк. ( плакати, що ілюструють результати науково-дослідної роботи

2. Архітектурно-будівельні рішення–3 арк. (генплан, плани, фасади, розрізи).

3. Технологічні рішення – 1 арк. (Технологічна карта на влаштування монолітного перекриття, календарний графік виконання робіт, ТЕП, організація робочого місяця).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
1; 2; 3; 4	Моргун А.С.		
5 (економіка)	Лялюк О.Г.		

7. Дата видачі завдання 05.01.2025 року

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

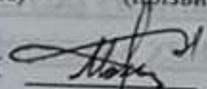
Ч.ч.	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Складання вступу до МКР	02.01-15.01.2025р.	
2	Науково-дослідна частина	02.01-14.02.2025р.	
3	Архітектурно-будівельні рішення	17.02-17.03.2025р.	
5	Економічна частина	18.03-12.04.2025р.	
6	Оформлення МКР	01.05-12.05.2025р.	
7	Подання МКР на кафедру для перевірки	12.05-16.05.2025р.	
8	Попередній захист	19.05-22.05.2025р.	
9	Рецензування	26.05-29.05.2025р.	

Здобувач 

(підпис)

Рижкова Т.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи 

(підпис)

Моргун А.С.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

УДК 624.15

Рижкова Т.В. «Застосування метода скінчених елементів, метода граничних елементів до числового моделювання системи «наземна споруда – фундамент – основа». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 192 – будівництво та цивільна інженерія, освітня програма – промислове та цивільне будівництво. Вінниця: ВНТУ, 2025. 99 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 33 назв; рис.: 42; табл. 12.

Магістерська робота присвячена актуальному питанню розрахунку наземної та підземної частин будівель та споруд – удосконаленню математичної моделі ґрунтової основи для проведення нелінійних практичних розрахунків. В роботі наводиться теоретичні основи дослідження НДС споруди за МСЕ та роботи паль за сучасним числовим методом граничних елементів (МГЕ).

Проведено дослідження роботи ґрунтових основ як в лінійній, так і в нелінійній стадіях з залученням дилатансійної моделі та теорії пластичної течії. Загальні механічні властивості ґрунтів, з яких складається наша планета Земля, з метою їх практичного використання сформульовано у вигляді визначальних законів (у вигляді рівнянь стану). В магістерській роботі з позицій механіки дисперсного пружно-пластичного ґрунтового середовища викладено уявлення про особливості поведінки під навантаженням паль. Теоретичні питання подано в об'ємі, що дозволяє продумано підійти до оцінки роботи ґрунтів в основах фундаментів і можливості їх проектування за межами пружності.

Наведено етапи розрахунку паль за цією методикою на основі МГЕ. Прикладання числового МГЕ обґрунтовано теоретичними викладками, підкріплено та проілюстровано даними числового розрахунку. В магістерській роботі наведено рішення технічної та економічної частин для споруди, техніко-економічне обґрунтування ефективності прийнятих рішень.

Ключові слова: буронабивні палі, напружено-деформований стан, метод граничних елементів, метод скінчених елементів.

## ABSTRACT

UDC 624.15

T.V. Ryzhkova «Application of the finite element and the boundary element methods to the numerical modeling of the "ground building - foundation - base" system». Diagnosis of rational operation of bored piles according to BEM. Master's thesis on specialty 192 - construction and civil engineering, educational program - industrial and civil construction. Vinnytsia: VNTU, 2025. 99 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 33 titles; Fig.: 42; table 12.

The master's thesis is devoted to the topical issue of soil mechanics and modern foundation construction - improvement of the mathematical model of the soil foundation for non-linear practical calculations.

The paper presents the theoretical foundations of studying the operation of bored piles using the modern numerical method of boundary elements (BEM).

The study of the operation of soil foundations in both linear and non-linear stages was carried out with the involvement of the dilatancy model and the theory of plastic flow. The general mechanical properties of the soils that make up our planet Earth are formulated in the form of deterministic laws (in the form of equations of state) for the purpose of their practical use. In the master's thesis on the mechanics of dispersed elastic-plastic soil medium, an idea of the behavior of bored piles under load is presented.

Theoretical questions are presented in a volume that allows a thoughtful approach to the evaluation of the work of soils in the foundations of foundations and the possibility of their design beyond the limits of elasticity.

The stages of the calculation of bored piles according to this method based on BEM are presented. The application of numerical is justified by theoretical statements, supported and illustrated by numerical calculation data.

In the master's thesis, the solutions of the technical and economic parts for the construction, the technical and economic justification of the effectiveness of the adopted decisions, the issues of safety technology and life safety are presented.

Key words: bored piles, stress-strain state, boundary element method.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	11
1.1 Аналіз сучасного стану питання	11
1.2 Огляд існуючих, сучасних програмних комплексів, що дозволяють виконувати математичне моделювання системи «наземна споруда – фундамент – основа», з приміненням МСЕ, МГЕ	14
1.3 Стан питання з досліджень взаємовпливу НДС наземної та підземної частини будівель	27
1.4 МСЕ як математична основа для числового моделювання висотних будівель	34
Висновки по розділу 1	35
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ НДС ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬ	36
2.1 Основні критерії складання розрахункових моделей будівель	36
2.2 Етапи створення конструктивної схеми будівель	38
Висновки по розділу 2	39
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НДС СПОРУДИ З ВРАХУВАННЯМ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ ПІДЗЕМНОЇ ТА НАЗЕМНОЇ ЧАСТИН	41
3.1 Дослідження НДС наземної частини 3-х поверхової будівлі з підвалом	41
3.2 Дослідження НДС підземної частини будівлі. Варіант паль-стійок	48

3.3 Розрахунок ростверку на протискування	55
3.4 Плитний варіант фундаментів будівлі на три поверхи з підвалом м.Вінниця	59
Висновки з розділу 3	66
РОЗДІЛ 4           ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	68
4.1 Архітектурно-будівельні рішення	68
4.1.1 Загальні дані об'єкта будівництва	68
4.1.2 Характеристика функціонального призначення будівлі	69
4.1.3 Архітектурно - планувальне рішення майданчику будівництва. Генплан	72
4.2 Об'ємно-планувальні рішення	75
4.3 Інженерні рішення	76
4.4 Експлікація підлоги	76
4.5 Зовнішнє опорядження будівлі	79
4.6 Дверні та віконні прорізи	80
Висновки за розділом 4	82
РОЗДІЛ 5           ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	83
Висновки по розділу 5	94
ВИСНОВКИ	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	96
ДОДАТКИ	100
ДОДАТОК А	101
ДОДАТОК Б	102

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ**

Г	– границя досліджувальної фундаментної конструкції
ДБН	– державні будівельні норми і правила
МСЕ	– метод скінчених елементів
МГЕ	– метод граничних елементів
НДС	– напружено-деформований стан
$\sigma_{ij}^*$ , $u_{ij}^*$	– напруження та переміщення в фундаментальних розв’язках Р. Міндіна
СЕ	– скінчений елемент
ГЕ	– граничний елемент
$\xi$	– точка прикладення сили $P=1$
x	– точка нагляду
САПР	– системи автоматизованого проектування
МКР	– магістерська кваліфікаційна робота
ПК	– програмний комплекс
ЕОМ	– електронно-обчислювальна машина

## ВСТУП

До цього часу, не існує достовірної універсальної методики розрахунку висотних будівель з одночасним прорахунком основи, а найчастіше наземна частина приймається в розрахунках як жорстко защемлена. Проте реальну картину напружено-деформованого стану можна отримати лише у випадку врахування сумісної роботи системи «наземна споруда – фундамент – основа».

Зростання урбанізації в найбільших містах України, а також обмеженість вільних земельних ділянок під забудову, обумовлюють підвищений попит на висотне будівництво. У зв'язку з цим каркасно-монолітні конструкції набувають все більшої популярності, як одна з найперспективніших сучасних технологій зведення будівель.

Популярність таких конструкцій пояснюється низкою переваг, зокрема, каркасно-монолітні будівлі в середньому на 15–20% легші за збірні аналоги, що дозволяє суттєво скоротити витрати на матеріали для надземної частини та фундаментів. Це, у свою чергу, веде до зменшення загальної вартості будівництва. Також слід відзначити істотно менші строки спорудження каркасно-монолітних будівель у порівнянні з цегляними.

Однією з ключових технічних переваг, є здатність конструкції рівномірно перерозподіляти внутрішні зусилля між несучими елементами каркасу, що забезпечує однорідне осідання споруди та мінімізує ризик утворення тріщин.

Очікуваний строк експлуатації таких будівель може сягати до 300 років.

Високий попит на будівництво багатоповерхівок та споруд футуристичного вигляду з складними формами, а також активний розвиток сфери новітніх технологій, вимагає удосконалення розрахункових схем, спрямованих на забезпечення надійності роботи конструкцій та оптимального використання матеріалів. Водночас, актуальною залишається проблема коректного врахування взаємодії елементів системи «наземна споруда –

фундамент – основа», оскільки на практиці наземну частину часто розглядають, як жорстко защемлену, що не відображає реальний напружено-деформований стан об'єкта.

### **Актуальність теми**

Стійке зростання обсягів будівельних робіт зі зведення різноманітних споруд, зумовлює необхідність впровадження сучасних підходів до розрахунку системи «наземна споруда – фундамент – основа» з метою аналізу її поведінки під дією зовнішніх навантажень. Потреба у точних розрахункових моделях вже набула практичного значення.

У цьому контексті, магістерська кваліфікаційна робота на тему «Застосування МСЕ та МГЕ до числового моделювання системи «наземна споруда – фундамент – основа» є своєчасною та актуальною. Вона відповідає сучасному рівню наукових досліджень у сфері лінійного й нелінійного прогнозування напружено-деформованого стану зазначеної системи.

У роботі використано метод скінченних елементів (МСЕ), метод граничних елементів (МГЕ), а також дилатансійну модель дисперсного ґрунтового середовища для забезпечення максимальної достовірності розрахунків.

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

Магістерська кваліфікаційна робота виготовлена в рамках виконання науково-дослідних робіт ВНТУ ФБЕЦІ Кафедри Будівництва, міського господарства та архітектури за темою кафедральної Науково – дослідної роботи № 60К1/14 «Дослідження НДС системи «наземна споруда – фундамент – основа» в цілому та окремих її елементів і інноваційних технологій автоматизованого проектування, документування і управління проєктних об'єктів у будівництві».

Метою МКР є прикладання розрахунково-теоретичного апарату методики розрахунку НДС системи «наземна споруда – фундамент – основа» за МСЕ, МГЕ з урахуванням розробки нових методів і методик їх розрахунку і моделювання в системі «будівля – фундамент – основа».

**Задачі дослідження** – використання комплексних числових сучасних методів (МСЕ, МГЕ) для проведення числових експериментів.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані й вирішені такі основні завдання досліджень:

- аналіз нормативних документів і наукових робіт в дослідній області, напружено-деформованого стан каркасу будівлі при сумісній роботі наземної і підземної частин будівель та перерозподіл зусиль між елементами цієї системи;
- виявлення дилатансійних залежностей деформування ґрунтів при числових дослідженнях роботи фундаментів;
- дослідження осідань будівель, що зводяться на палях та плитах;
- обґрунтування теоретичних основ проектування за МГЕ фундаментних конструкцій та розробка методів і методик їх розрахунку й моделювання в системі «наземна споруда – фундамент – основа», а також оцінки ефективності проектного рішення;
- проведення комплексних теоретичних і числових досліджень НДС системі «наземна споруда – фундамент – основа» та порівняння з експериментальними результатами.

### **Об'єкт дослідження**

Напружено-деформований стан системи «наземна споруда – фундамент – основа» з урахуванням сумісної роботи конструктивних елементів будівлі та інженерно-геологічних характеристик ґрунтової основи при зовнішньому навантаженні.

## **Предмет дослідження**

Методи числового моделювання напружено-деформованого стану системи «наземна споруда – фундамент – основа» із використанням методу скінченних елементів (МСЕ), методу граничних елементів (МГЕ) та дилатансійної моделі ґрунтового середовища.

## **Методи дослідження**

До методів дослідження поставленої задачі відносяться:

- аналіз нормативних і літературних джерел;
- теоретичний аналіз конструктивних схем каркасно-монолітних споруд;
- числове моделювання НДС системи з використанням МСЕ та МГЕ;
- аналітичні дослідження з використанням методів теорії пружності та пластичності;
- методи розв'язання задач будівельних конструкцій, механіки ґрунтів та фундаментобудування з використанням теорії граничної рівноваги;
- порівняльний аналіз результатів математичного моделювання з аналогічними даними відомих рішень та експериментом.
- застосування дилатансійної моделі дисперсного середовища;
- порівняльний аналіз результатів моделювання з умовними схемами (жорстке заземлення);
- узагальнення результатів для формулювання рекомендацій щодо підвищення ефективності проектних рішень.

## **Новизна отриманих результатів**

Виявлена механічна суть задачі прогнозування несучої спроможності забивних паль та показано її особливості на числовому прикладі.

Використано метод, що поєднує в рамках однієї математичної моделі можливість проводити розрахунок фундаментів за двома групами граничних станів: деформацій та несучої спроможності.

Отримала подальший розвиток методика визначення стислої товщі зони ґрунту.

Використано новий метод оцінки ефективності проектних рішень фундаментних конструкцій з діапазоном оптимальних значень, який враховує ступінь використання деформаційних і міцнісних властивостей основи і фундаменту.

Отримано дані числових досліджень як всієї системи «основа-фундамент», так і окремих її частин, і виконано порівняння з експериментом.

### **Практичне значення отриманих результатів**

Отримані результати можуть бути використані у проектно-вишукувальних організаціях для підвищення точності розрахунків системи «наземна споруда – фундамент – основа» з урахуванням сумісної роботи її елементів.

Запропоновані моделі дозволяють оптимізувати конструктивні рішення, зменшити матеріаломісткість фундаментних конструкцій та підвищити їх надійність.

Розроблені методики можуть бути використані при обґрунтуванні проектних рішень на етапах попереднього проектування або техніко-економічного обґрунтування.

Отримані числові залежності можуть бути застосовані у науково-дослідних установах для подальших досліджень у сфері механіки ґрунтів і фундаментобудування.

Матеріали роботи можуть бути використані у навчальному процесі закладів вищої освіти, зокрема у підготовці студентів за спеціальністю «192 – Будівництво та цивільна інженерія».

### **Апробація**

Основні положення, результати та висновки магістерської кваліфікаційної роботи відображені у доповіді, а саме тезі на тему: «Застосування МСЕ, МГЕ до числового моделювання системи «наземна споруда – фундамент – основа». Апробацію: основних положень та результатів роботи, проведено на конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)» – 2025, ВНТУ.

### **Публікації**

Моргун А.С., Меть І.М., Рижкова Т.В. Теза на тему: «Застосування МСЕ, МГЕ до числового моделювання системи «наземна споруда – фундамент – основа». опублікована в рамках міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)» – 2025, ВНТУ.

URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/view/23114>

## РОЗДІЛ 1

### НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

#### 1.1 Аналіз сучасного стану питання

У процесі зведення та експлуатації, споруди та будівлі постійно перебувають у безперервному контакті з ґрунтовим середовищем. Це призводить до зміни напружено-деформованого стану (НДС) основи, що, в свою чергу, впливає на конструктивний стан самої будівлі, тому забезпечення їхньої надійності неможливе без урахування властивостей основи при проектуванні. Таким чином, система «наземна споруда – фундамент – основа» повинна розглядатись, як єдине ціле. Дослідні дані свідчать, що деформація ґрунту змінює НДС конструктивних елементів у підземній частині будівлі, що викликає реакцію наземної частини і формує зворотний зв'язок у системі. Отже, під час інженерного аналізу необхідно враховувати комплексну взаємодію всіх елементів системи «основа – фундамент – наземна споруда». Це особливо важливо, оскільки результати натурних спостережень часто значно відрізняються від розрахункових величин НДС, що підтверджує про необхідність уточнення обчислюваної моделі з урахуванням реальних умов роботи ґрунтової основи.

Сучасний розвиток будівельної галузі тісно пов'язаний із впровадженням прогресивних методів числового прогнозування, зокрема методу скінченних елементів (МСЕ), методу граничних елементів (МГЕ).

Математичне моделювання напружено-деформованого стану (НДС) системи «наземна споруда – фундамент – основа» є важливим етапом сучасного інженерного аналізу, його мета — достовірне визначення переміщень, осідань, напружень та оцінка працездатності конструкції в умовах взаємодії з основою.

Для числового розв'язання таких задач найбільш поширені два методи: метод скінченних елементів (МСЕ) та метод граничних елементів (МГЕ).

Обидва методи дозволяють дослідити НДС системи за різних геологічних, геометричних та конструктивних умов.

**Метод скінченних елементів (МСЕ)**, полягає в дискретизації об'єкта дослідження на окремі скінченні елементи, у межах яких апроксимується функція переміщень.

МСЕ дозволяє ефективно враховувати багат шарову структуру основи, нелінійну поведінку ґрунтів, сейсмічні впливи, а також особливості конструкції фундаменту (стрічковий, плитний, пальовий).

**Метод граничних елементів**, ґрунтується на розв'язанні інтегральних рівнянь теорії пружності, у яких значення функцій напружень і переміщень, обчислюються лише на межах області.

МГЕ часто застосовується у випадках, коли область розрахунку значно більша за саму конструкцію, наприклад для фундаментів заглиблених у ґрунт.

Основні переваги:

- висока точність при моделюванні напівнескінченного ґрунтового середовища;
- зменшення розмірності задачі з 3D  $\rightarrow$  2D;
- зменшення обчислювальних ресурсів.

МСЕ — потужний і гнучкий метод, але його недоліки пов'язані з складністю обчислення, геометричними обмеженнями та необхідністю точного налаштування сітки й граничних умов. Саме тому для задач з нескінченними або слабко змінюваними середовищами (наприклад, основи фундаментів) доцільно поєднувати МСЕ з МГЕ. Порівняльний аналіз цих двох методів наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Порівняльна характеристика МСЕ та МГЕ

Критерій	МСЕ	МГЕ
Тип дискретизації	Уся область (об'ємна сітка)	Лише межі, поверхні, контур (гранична сітка)
Обчислювальні ресурси	Високі, особливо при 3D та складній геометрії	Низькі, менше ввідних даних
Геометрична складність	Будь-яка складність	Обмежена до простих геометричних форм
Потреба в потужному ПК	Так. Витрати пам'яті гігабайти	Працює на менш потужних ПК. Нижчі (іноді <500 МБ)
Час розрахунку	Довгий, особливо для 3D	Швидкий при простих геометріях
Фізична нелінійність	Добре враховується	Ускладнене врахування
Контактна нелінійність	Добре реалізується	Складна реалізація
Нескінченне середовище	Потрібна штучна межа	Природно враховується
Підходить для:	Будь-які будівлі	Переважно «фундамент – основа»

МСЕ є універсальним інструментом для моделювання повного НДС складних конструкцій у будь-яких геотехнічних умовах. Він реалізований у більшості сучасних САПР (PLAXIS, LIRA-САПР, SCAD тощо) та забезпечує високу точність. МГЕ, у свою чергу, є ефективним при моделюванні нескінченного ґрунтового середовища і часто використовується для аналітичної перевірки.

У практичному проектуванні доцільно поєднувати обидва методи для перевірки результатів та отримання достовірних оцінок напружень і осідань у системі «наземна споруда – фундамент – основа».

1.2 Огляд існуючих, сучасних програмних комплексів, що дозволяють виконувати математичне моделювання системи «наземна споруда – фундамент – основа», з приміненням МСЕ, МГЕ

Потужний сучасний метод досліджень – числовий експеримент, для деяких задач єдиноможливий. Отже, числовий експеримент — це віртуальний метод випробування конструкцій, середовищ або процесів з використанням комп'ютерного моделювання, який активно застосовується в інженерії.

В будівництві, числовий експеримент — це метод дослідження, за якого поведінка об'єкта або явища моделюється за допомогою числових, математичних моделей і комп'ютерних розрахунків, без фізичного експерименту над реальним об'єктом, В даній роботі, числовий експеримент проведено за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ) та методу граничних елементів (МГЕ), суть алгоритмізації, яких полягає в перетворенні аналітичної моделі в числову.

Проблему прогнозування поведінки системи «наземна споруда – фундамент – основа» можна вирішити лише засобами числового моделювання з використанням потужних ЕОМ.

Сучасні електронно-обчислювальні машини та інформаційні технології фактично усунули бар'єр між інженером-проектувальником і програмним забезпеченням. На сьогодні ЕОМ є невід'ємним інструментом інженера-будівельника, без якого неможливо уявити професійну діяльність. Основу цифрового забезпечення становлять програми для створення креслень, а також розрахункові програмні комплекси (ПК), що забезпечують глибокий аналіз інженерних рішень. Часто вихідні умови проектування формулюються нечітко, що зумовлює необхідність внесення змін у процесі розробки. У зв'язку з цим проектування має ітераційний характер, протягом якого вирішуються завдання забезпечення економічності, міцності та безпеки об'єкта.

Актуальний підхід до розрахункового обґрунтування проєктованих будівельних конструкцій, їх фундаментів і основ передбачає чисельне моделювання напружено-деформованого стану (НДС) повної системи «наземна споруда – фундамент – основа» з використанням обчислювальних комплексів, заснованих на методі скінченних елементів (МСЕ).

На сьогодні існує понад сотню програмних комплексів, у тій чи іншій мірі орієнтованих на розрахунок конструкцій. Їх об'єднує те, що всі вони реалізують метод скінченних елементів у формулюванні за переміщеннями. Це свідчить про відсутність дієвої альтернативи цьому підходу, попри його окремі обмеження при моделюванні надземної частини споруд. Зокрема, метод не враховує граничні умови на межах лінійного контакту між суміжними елементами, які суттєво впливають на розподіл зусиль і напружень у цих зонах. Крім того, збіжність результатів за напруженнями суттєво поступається збіжності за переміщеннями. Навіть у випадках, коли об'єктом дослідження є локальна ділянка конструкції, аналіз все одно потребує побудови скінченно-елементної моделі всієї системи.

Доцільно навести стислу інформацію про сучасні найвідоміші програмні комплекси, що реалізують МСЕ та МГЕ представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Відомості про програмні комплекси

Назва програмного комплексу	Тип розрахунку	Моделювання ґрунтів	Нелінійний аналіз	ВІМ-інтеграція	Моделювання з'єднань	Підтримка ДБН/ДСТУ
1	2	3	4	5	6	7
PLAXIS (2D/3D) (рис. 1.1)	МСЕ, геотехнічне моделювання	Нелінійні моделі ґрунтів, дилатансія, руйнування	Високий рівень нелінійності, контакт, повзучість	Обмежена, але стабільна через Bentley	Не застосовується (не для сталевих каркасів)	Немає локалізації під ДБН. Геотехнічний МСЕ-ПК, працює з фізичними параметрами, без прямої нормативної перевірки (всі критерії задаються вручну)
ЛІРА-САПР (рис. 1.2)	МСЕ, статичний і динамічний аналіз	Лінійна модель, обмежене врахування нелінійностей	Присутній, але обмежений у контактах/пластичності	Обмежена підтримка IFC та Revit	Базова бібліотека, обмежений аналіз вузлів	Пряма підтримка. Вбудовані перевірки за ДБН, ДСТУ
SCAD Office (рис. 1.3)	МСЕ, конструктивний аналіз	Базові моделі, слабка геотехніка	Лінійний і обмежений нелінійний аналіз	Обмежена підтримка ВІМ	Обмежене моделювання вузлів	Часткова підтримка. Деякі модулі розрахунку згідно ДБН, особливо в модулі залізобетону і сталі (зовнішні шаблони або адаптація СНиП)

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6	7
Geo5 (рис.1.4)	Аналітичні та напівчислові методи МСЕ	Сильна геотехнічна бібліотека	Обмежене нелінійне моделювання	Початковий рівень BIM-обміну	Не застосовується	Часткова підтримка. Нормативні коефіцієнти можна змінити вручну; базова підтримка СНиП/Eurocode; ДБН слід вносити вручну
MIDAS GTS NX (рис. 1.5)	Геотехнічний МСЕ-аналіз	Нелінійна поведінка ґрунтів	Нелінійна поведінка ґрунтів	Має API для зв'язку з BIM	Не застосовується	Немає підтримки. Наукові/універсальні МСЕ-системи; всі нормативи вводяться вручну
ABAQUS/ANSYS Mechanical (рис. 1.6)	МСЕ, мультифізичне моделювання	Розширені моделі ґрунтів, підключення UEL	Дуже висока точність та контроль у нелінійності	Через сторонні плагіни	Детальне моделювання з'єднань	Немає підтримки. Наукові/універсальні МСЕ-системи; всі нормативи вводяться вручну
FEM-Design (StruSoft) (рис. 1.7)	МСЕ, конструктивний і сейсмічний аналіз	Спрощені моделі основи	Потужний нелінійний аналіз, зручний для проектів	Добра інтеграція з Revit/IFC	Розширене моделювання з'єднань	Не підтримує напряму. Працює за Eurocode (EN 199x), але допускає локальні налаштування коефіцієнтів без гарантій відповідності ДБН

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6	7
VEMFORCE (рис. 1.8)	Постпроцесинг МСЕ-моделей, гібрид МГЕ–МСЕ	Під'єднання до гідромеханіки, пружного середовища	Нелінійність потребує ручного налаштування	Не передбачено (відкрита система)	Не застосовується	Немає підтримки. Open-source гранично-елементні ПЗ, не орієнтовані на національні нормативи

3D – дозволяють виконувати тривимірні скінченно-елементні розрахункові схеми;

2D\* – лише двовимірні скінченно-елементні розрахункові схеми;

назва відповідного програмного комплексу;

BIM (Building Information Modeling) — це інформаційне моделювання будівель, сучасна технологія проектування, будівництва та експлуатації будівель, яка базується на створенні цифрової 3D-моделі об'єкта з усіма його фізичними та функціональними характеристиками.

Підключення UEL (User-defined Element subroutine) — це можливість у програмному комплексі ABAQUS (та деяких інших MCE-пакетах) створювати власні типи скінченних елементів або змінювати їхню поведінку

GUI (Graphical User Interface) — це графічний інтерфейс користувача, який дозволяє взаємодіяти з комп'ютером або програмою за допомогою візуальних елементів: вікон, кнопок, іконок, меню, вкладок тощо — без потреби вводити текстові команди.

Геотехнічне моделювання — це процес розрахункового або числового відтворення поведінки ґрунтів, основ і фундаментів під впливом навантажень, водонасичення, часу, температури тощо. Метою є точне прогнозування деформацій, осідань, стійкості схилів, взаємодії «споруда–ґрунт» та інших критичних явищ.

Статичний і динамічний аналіз — це два основні види розрахунку в інженерії та числовому моделюванні, які визначають, як конструкція реагує на навантаження. Статичний аналіз – Розрахунок напружень, переміщень і внутрішніх зусиль під дією постійного або повільно змінного навантаження, коли інерційні сили не враховуються. Динамічний аналіз – Розрахунок поведінки конструкції при швидкозмінних навантаженнях з урахуванням інерції, маси, демпфування. Включає вібрації, удари, сейсміку тощо.

Конструктивний аналіз — це процес інженерного розрахунку, спрямований на визначення внутрішніх зусиль, переміщень, деформацій, напружень і стійкості конструкції під дією різних навантажень, щоб переконатися у її міцності, надійності та придатності до експлуатації.

Мультифізичне моделювання — це числове моделювання, яке одночасно враховує взаємодію кількох фізичних процесів або полів у межах однієї задачі. Це дозволяє точніше описати поведінку конструкцій, матеріалів або середовищ, де механіка, тепло, рідина, електрика тощо впливають одне на одне.

Сейсмічний аналіз — це інженерний метод розрахунку, який дозволяє визначити реакцію будівлі чи споруди на дію землетрусу або сейсмічних хвиль. Його мета — забезпечити сейсмостійкість, тобто здатність конструкції витримати землетрус без обвалення чи критичних пошкоджень.

Лінійні моделі ґрунтів — це спрощені математичні моделі, які припускають пропорційну (лінійну) залежність між напруженням і деформацією ґрунту згідно з законом Гука. Вони широко застосовуються при попередніх розрахунках або коли вплив нелінійності вважається несуттєвим.

Нелінійні моделі ґрунтів — основа реалістичного геотехнічного моделювання. Вони дозволяють враховувати складну поведінку основи під навантаженням і точно прогнозувати деформації, осідання, зсуви, фільтрацію.

Пружне середовище — це теоретична модель матеріалу або середовища, в якому деформації повністю оборотні, тобто після зняття навантаження об'єкт повністю відновлює свою форму. Вона широко використовується у механіці суцільного середовища та геотехніці для моделювання ґрунтів, скель, фундаментів та інших структурних елементів

Bentley Systems — це міжнародна інженерна софтверна компанія зі США, яка спеціалізується на розробці програмного забезпечення для проектування,

будівництва, експлуатації та обслуговування інфраструктурних об'єктів. Вона є світовим лідером у сфері BIM (Building Information Modeling) для інфраструктури.

IFC (Industry Foundation Classes) — це відкритий, нейтральний формат обміну BIM-даними, розроблений організацією buildingSMART. Його мета — забезпечити сумісність між різними BIM-програмами, незалежно від виробника.

Autodesk Revit — це одна з найпопулярніших BIM-платформ, яка використовується для: архітектурного проєктування, конструктивного моделювання, систем опалення, вентиляції, електрики, узгодження та візуалізації всіх частин проєкту.

API (Application Programming Interface) — це інтерфейс прикладного програмування, тобто набір функцій, команд і протоколів, які дозволяють одній програмі взаємодіяти з іншою. У контексті інженерії та BIM/CAD/CAE-систем, API — це “мова”, за допомогою якої користувач або інший додаток може “спілкуватися” з програмним забезпеченням, автоматизувати дії або обмінюватися даними.

«повнота бібліотеки скінченних елементів» – для універсального програмного комплексу дуже важливо, щоб клас вирішуваних задач (стержневі системи, комбіновані системи) був достатньо широким;

Використання «суперелементів» як реалізації суперелементного підходу набуває особливої актуальності сьогодні, оскільки для моделювання сучасних будівельних об'єктів (таких як багатопротітні покриття або висотні споруди) зазвичай застосовуються багатовимірні скінченно-елементні моделі. Зважаючи на те, що у більшості програмних комплексів для розв'язання систем лінійних рівнянь впроваджені методи на основі виключень Гаусса та їх численні варіанти (зокрема фронтальний метод, метод Холецького, стрічковий метод, метод хмарочосів), ефективна кількість невідомих, яку можна обробити, обмежується приблизно 200–300 тисячами через зростання погано обумовлених матриць при збільшенні їх розміру. У цьому контексті суперелементний підхід дозволяє

суттєво зменшити розмір глобальної системи, забезпечуючи можливість ефективного аналізу складних конструкцій;

«фізична і геометрична нелінійність» – підтримка фізичної та геометричної нелінійності є надзвичайно важливою характеристикою програмного комплексу, адже при моделюванні унікальних або нестандартних будівельних об'єктів виникає потреба у використанні моделей, що максимально точно відображають реальну поведінку матеріалу та конструкції. Це стосується, зокрема, таких явищ, як тріщиноутворення й повзучість бетону, а також значна зміна форми під дією навантажень, характерна для конструкцій типу вантових систем, мембран, тонкостінних оболонок, бункерів і силосів;

«системи конструювання – залізобетон і метал» – підтримка систем конструювання для залізобетонних і металевих конструкцій є ключовим аспектом у проектуванні будівель. Важливо, щоб програмний комплекс автоматизував не лише статичний і динамічний розрахунок, а й операції, пов'язані безпосередньо з конструюванням — підбір, перевірку та оптимізацію перерізів елементів. У той час як реалізація МСЕ-процедур уже стала доступною навіть для окремих дослідників чи студентів, формалізація проектних рішень вимагає участі висококваліфікованих фахівців з глибоким практичним досвідом і знанням не лише нормативної бази, але й регіональних особливостей проектування. Саме тому, хоча програмних комплексів, що реалізують МСЕ, існує понад сотню, число систем, здатних виконувати повноцінне конструювання залізобетонних і сталевих конструкцій, значно обмежене;

«монтаж» – наявність цієї процедури в даний час викликає великий інтерес у фахівців, оскільки процес зведення складної споруди пов'язаний з багатостадійною зміною конструктивної схеми. Причому, кожна стадія зведення може бути визначальною для того чи іншого конструктивного елементу.

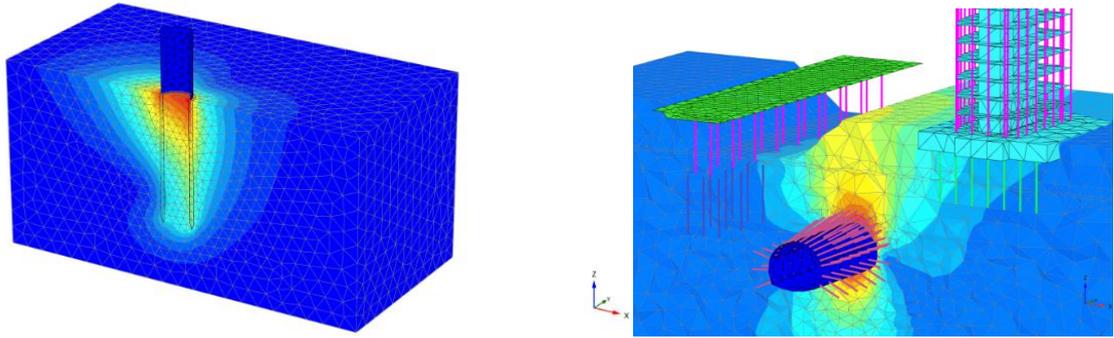


Рисунок 1.1 – ПК «PLAXIS 2D/3D» приклад візуалізації об'єкта

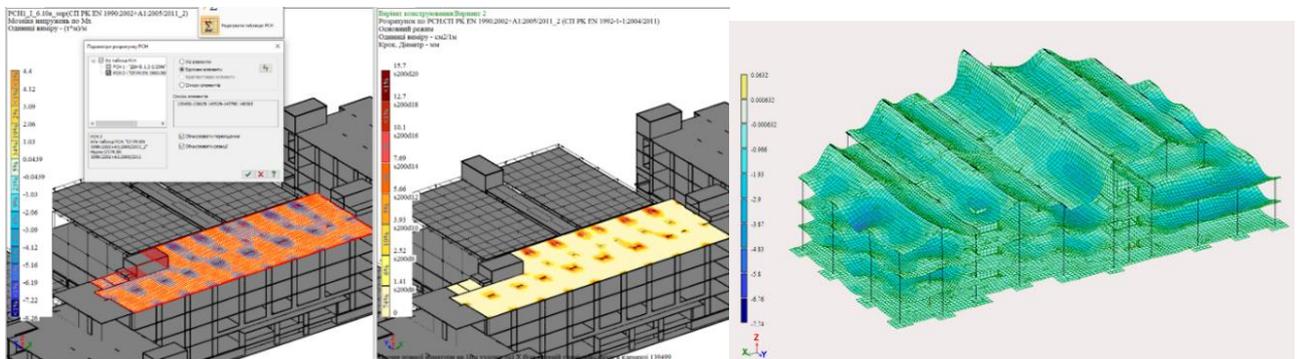


Рисунок 1.2 – ПК «ЛІРА-САПР (LIRA-FEM)» приклад візуалізації об'єкта

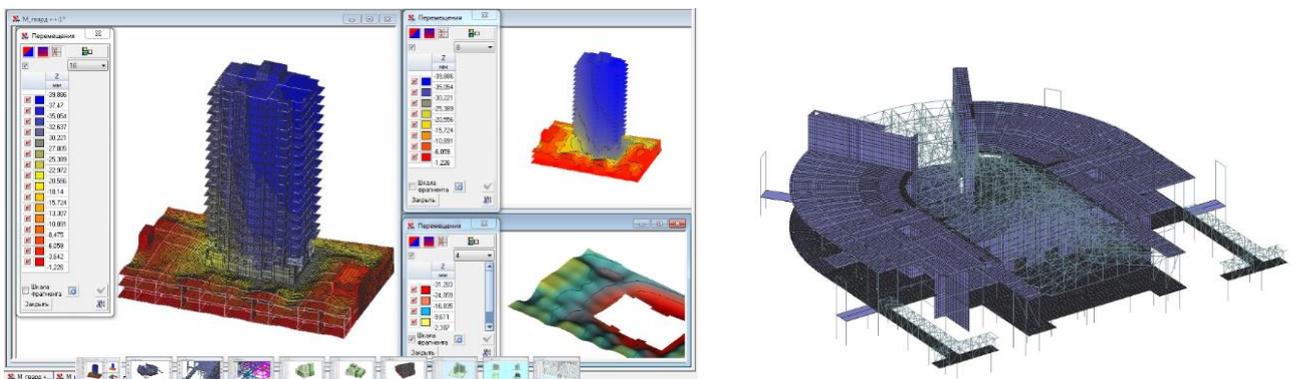


Рисунок 1.3 – ПК «SCAD Office» приклад візуалізації об'єкта

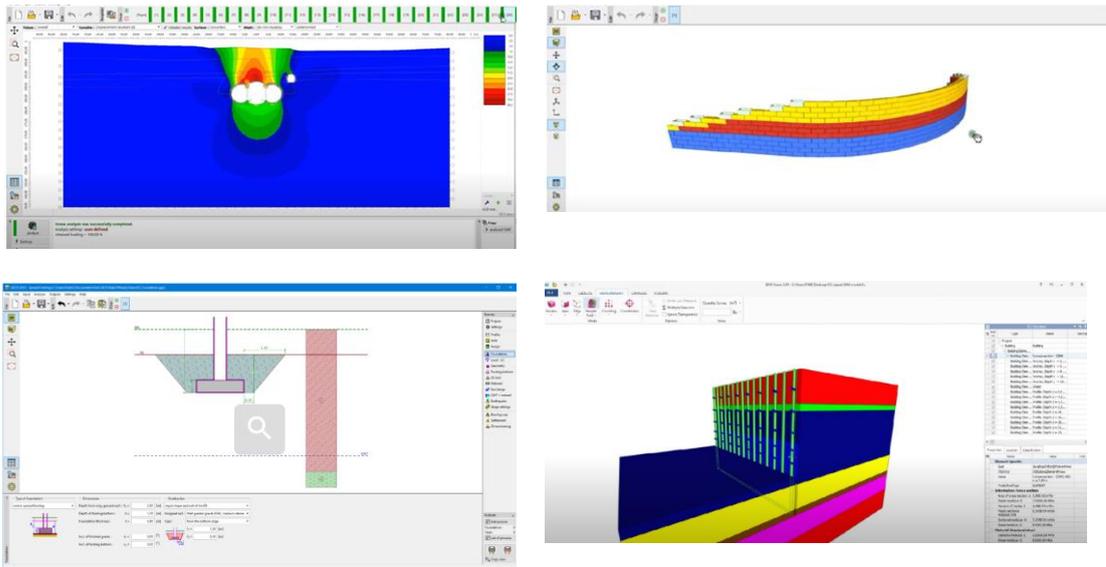


Рисунок 1.4 – ПК «GEO5 Geotechnical Software» приклад візуалізації об'єкта

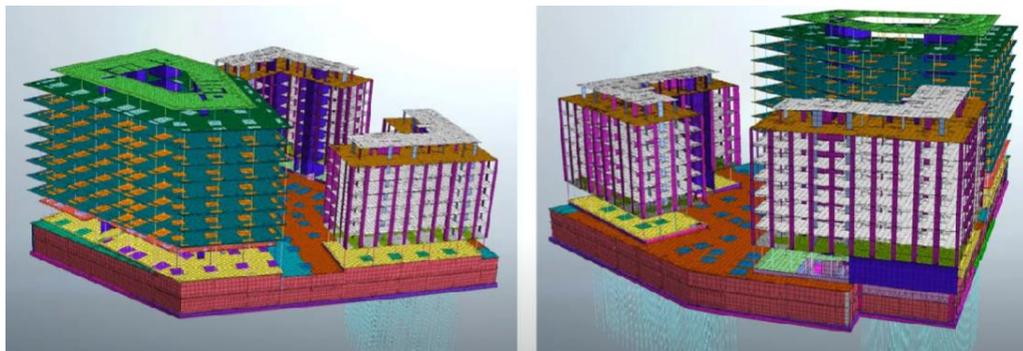


Рисунок 1.5 – ПК «MIDAS GTS NX» приклад візуалізації об'єкта

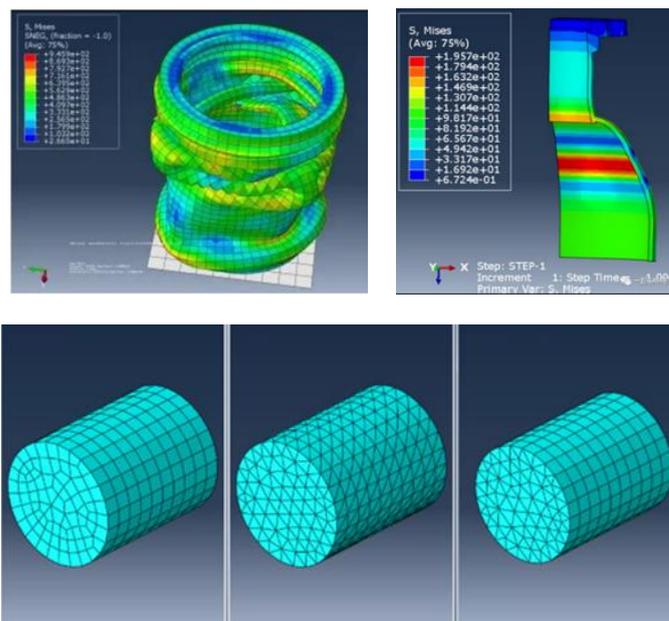


Рисунок 1.6 – ПК «ABAQUS FEA» приклад візуалізації об'єкта

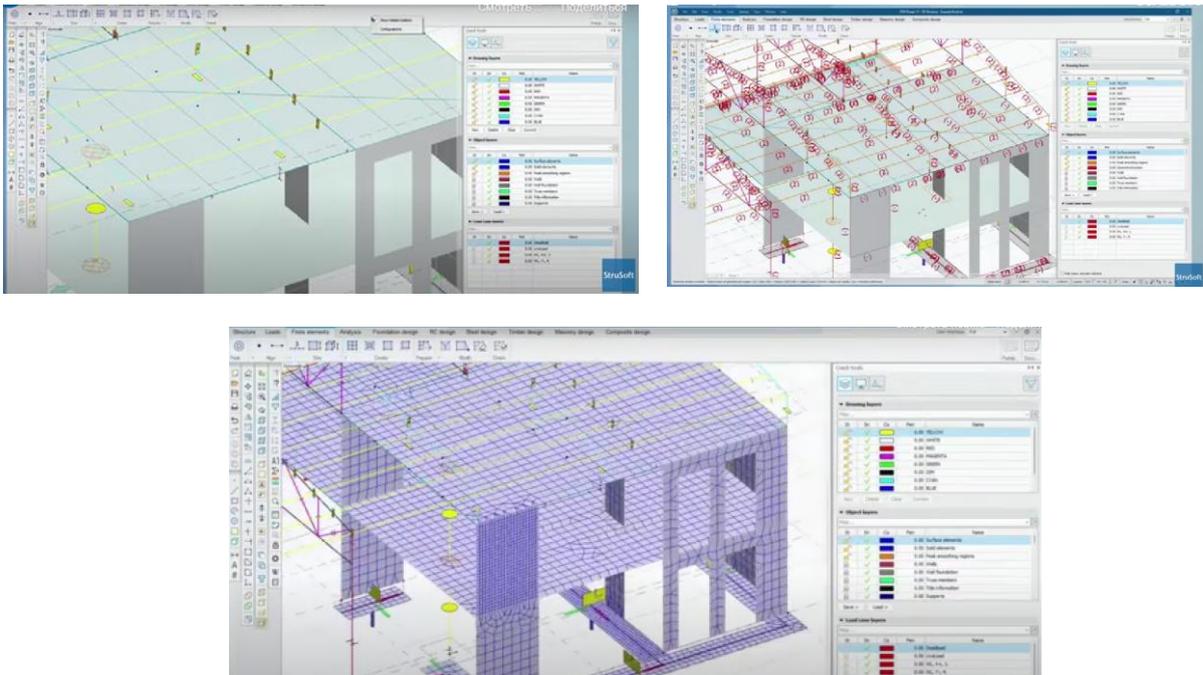
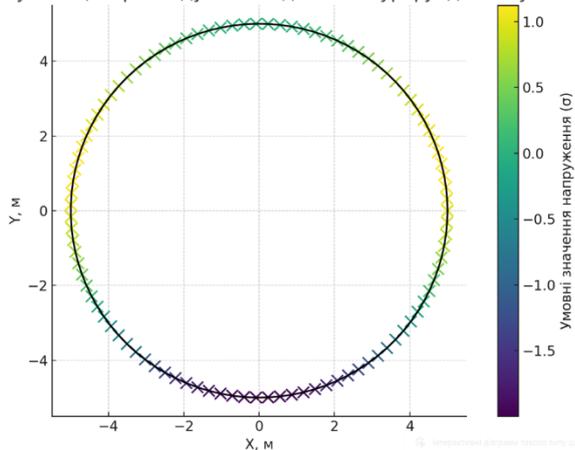


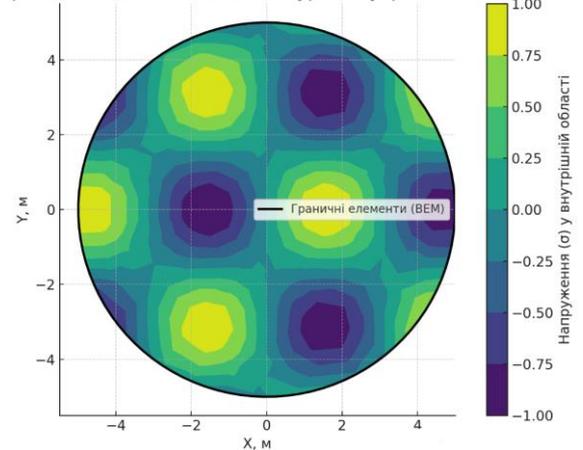
Рисунок 1.7 – ПК «FEM-Design (StruSoft)» приклад візуалізації об'єкта

Візуалізація прикладу BEM-моделі: контур фундаменту



а) приклад візуалізації моделі, характерної для методу граничних елементів (BEM): показано контур фундаментної плити з умовними ізолініями напружень на межі. Цей підхід ілюструє, як BEM обробляє лише граничні елементи, а не всю область.

Гібридна BEM-FEM модель: контур + внутрішня область



б) приклад гібридної MGE-MCE:  
 - контур фундаменту (чорна лінія) розраховується методом граничних елементів;  
 - внутрішня область заповнена MCE-сіткою (трикутники), що дозволяє моделювати просторовий розподіл напружень.

Цей підхід комбінує переваги обох методів: високу точність MGE на межі та гнучкість MCE у внутрішній області

Рисунок 1.8 – гібрид BEMFORCE та BEM++ приклад візуалізації об'єкта

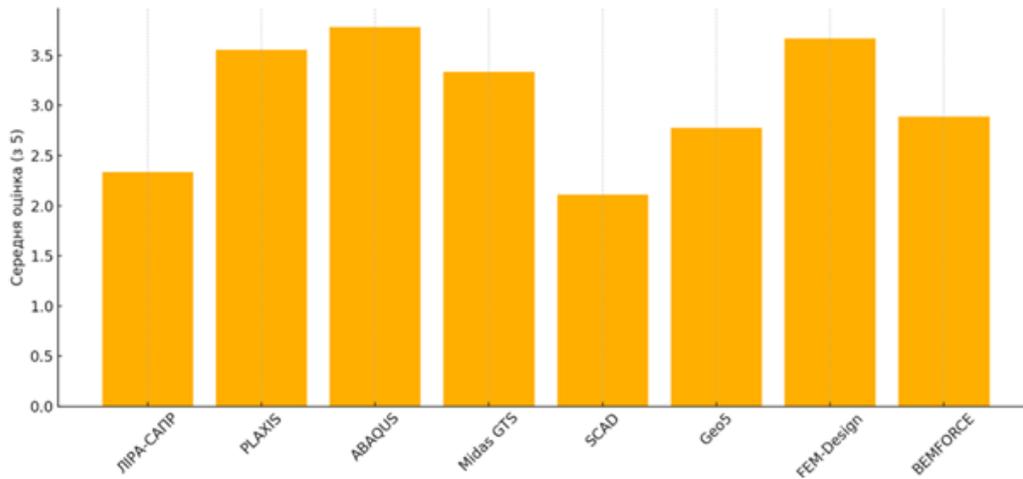


Рисунок 1.9 – Порівняльна середня оцінка програмних комплексів

Єдиний ПК, який повноцінно працює відповідно до будівельних норм України — це LIRA-САПР.

SCAD Office — другий найбільш адаптований для ДБН, хоч і з меншими можливостями.

Інші ПК (FEM-Design, PLAXIS, ABAQUS тощо) вимагають глибокого розуміння норм ДБН і ручного налаштування перевірок або використовуються для фізичних / дослідницьких розрахунків без прямої відповідності нормативам.

Для фахівця, що займається безпосередньо проєктуванням будівельних об'єктів, безумовно, зручнішим у використанні буде програмний комплекс, що має конструктивні підсистеми, в яких реалізовані стандарти і норми того регіону, для якого фахівець виконує проєктування. Американські програми, що мають конструюючі підсистеми в основному реалізують норми США і Канади. Європейські програми, включаючи програмні комплекси «STARK» і «LIRA» реалізують Єврокод. В програмних комплексах «STARK» і «LIRA» реалізовані також норми країн СНД, тому для цього регіону саме ці програмні комплекси є найпривабливішими.

Поява ПЕОМ в кінці 80-их змістила акценти в процесі створення і функціонування проєктуючих систем. У проєктувальників з'явилась можливість

виконувати проектування в режимі реального часу і в повній мірі використовувати переваги системи «інженер-комп'ютер».

Першим результатом у цьому напрямку було створення потужної графічної системи «AutoCAD». На початку 90-их років багато спеціалістів по «САПР» прийшли до висновку, що графічні системи і створювані на їхній основі моделі об'єктів повинні стати ядром майбутніх проектуючих систем.

ПК «ЛІРА» дозволяє досліджувати загальну стійкість моделей що розраховуються, перевірити міцність перерізів елементів за різними теоріями руйнувань, надає можливість проводити розрахунки з врахуванням фізичної і геометричної нелінійності, моделювати процес зведення споруди з урахуванням монтажу і демонтажу елементів. ПК ЛІРА має інформаційний зв'язок з найбільш поширеними графічними і архітектурними системами «AutoCAD», «ArhiCAD», «Allplan».

1.3 Стан питання з досліджень взаємовпливу НДС наземної та підземної частини будівель

Складність розв'язання проблеми вдосконалення складання розрахункових схем висотних каркасних будівель, полягає не лише у використанні відповідного програмного комплексу, а насамперед в прийнятті обґрунтованої фізичної моделі, що коректно описує процеси деформування матеріалу середовищ, у виборі розрахункової схеми та реалізації алгоритмів розрахунку, які забезпечують достовірність результатів розрахунку.

Ситуація ускладнюється відсутністю універсального методу чи моделі, які можна застосовувати до будь-якого середовища. Кожна постановка задачі повинна включати аналіз та особливий підхід, що вимагає від сучасного проектувальника не лише вміння правильно розробити документацію, але й мати достатні навички та знання в питаннях чисельного моделювання та механіки ґрунтів.

Врахування можливостей сучасних ЕОМ та числових методів відкриває перспективи вирішення цієї актуальної проблеми сьогодення. Отримання надійних результатів моделювання потребує використання нелінійних пружно – пластичних моделей.

Будівля в процесі свого існування знаходиться в постійному контакті та взаємодії з ґрунтовою основою, тому надійне та економічне проєктне вирішення споруди може дати аналіз її напружено-деформованого стану (НДС), отриманий при дослідженні роботи системи «будівля – основа» в цілому.

Прогнозування можливих наслідків дії деформацій просідання основи на конструкції будівель на етапі проєктування цих об'єктів є складною багатофакторною задачею. На сьогоднішній день таке прогнозування можливе лише при орієнтації на нові технології розрахунку з застосуванням засобів числового моделювання.

Сучасне діагностування будівельних об'єктів засновано на наукових платформах, які швидко розвиваються і дозволяють удосконалювати розрахункові схеми, піднімати рівень їх адекватності. Процедура моделювання поведінки будівлі в МКР реалізується на основі методу скінченних елементів (наземна частина) та методу граничних елементів (підземна частина). Розрахунок надземних конструкцій з використанням числових методів на теперішній час успішно входить в повсякденну практику проєктування. Для проєктувальників стало звичним використовувати традиційні підходи до моделювання роботи наземних конструкцій.

Конструкції наземної частини будівель моделюються стержневими і пластинчастими (оболончастими) елементами. Як вказано вище, існує велика кількість як вітчизняних так і зарубіжних програм, що дозволяють розглядати конструкції, набрані із такого типу скінченних елементів із відповідної бібліотеки СЕ.

Дуже важливим при виконанні розрахунків є можливість розрахункових схем таких популярних програм як «SCAD», «ЛИРА», «ROBOT» вільно конвертуватись в середовище одне одного. Це ж відноситься і до креслень, виконаних в програмних комплексах «AutoCAD», «ArchiCAD», «Компас».

В сучасних документах [14], що регламентують проектування основ висотних будівель, рекомендуються інженерні методики розрахунку осадок фундаментів на натуральній основі, які використовують схему «пошарового підсумовування». Такий підхід теоретично менш обґрунтований ніж використання тривимірного пружнопластичного підходу на основі МСЕ.

На теперішній час проектування несучих конструкцій будівлі чи іншої споруди базується за рідким виключенням на припущенні, що споруда опирається на нестискувану основу. В дійсності ж, вага кожної споруди стискує і деформує підстилаючий ґрунт і в результаті цього вихідне прийняте допущення ніколи строго не задовольняється.

Якщо підосва споруди залишається плоскою, то осідання не має значення, так як нормальні напруження  $\sigma$  в несучій конструкції не змінюються. Коли ж під вагою споруди навантажена поверхня прогинається, підосва споруди теж стає зігнутою, це викликає деформування всієї конструкції. Додаткові  $\sigma$ , що викликані цією деформацією, не враховуються при проектуванні конструкцій. Та в багатьох випадках вони настільки значні, що можуть погіршити зовнішній вигляд будівлі, або викликати пошкодження. В результаті складності механічних властивостей ґрунтів і впливу особливостей напластування осідання будівлі може бути передбачено лише в окремих випадках, та теоретичний аналіз явища осідання необхідний.

Епюри контактних тисків по підосві жорсткого фундаменту для різних фундаментів на початковій фазі завантаження ( $p_1$ ) та коли навантаження на фундамент сягнуло граничного ( $p_{гр}$ ) мають різні окреслення (рисунок 1.10 а,б).

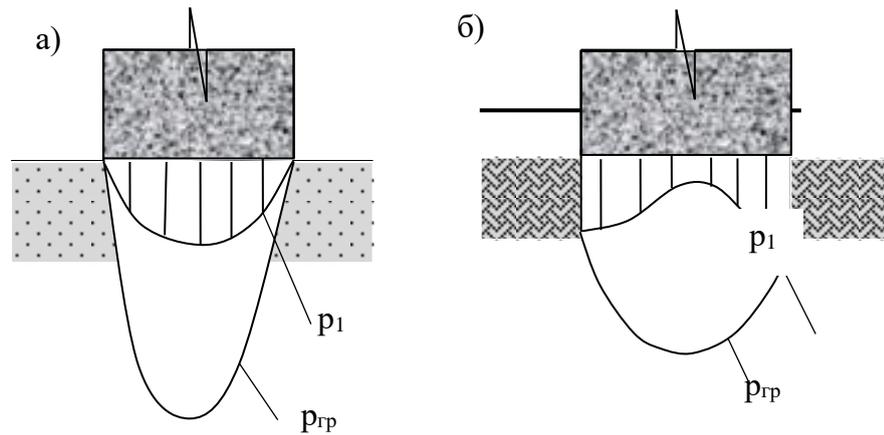


Рисунок 1.10 – Розподіл контактної тиску по підшві гладкого жорсткого фундаменту на основі із: а) піску без зчеплення; б) ґрунт проміжний між чисто зв'язними ґрунтами (глинами) та чисто сипучими (пісками)

Основна різниця в рівні напружень спостерігається в місцях порушення неоднорідності структури. Якщо фундамент чи плита не є абсолютно жорсткими, то розподіл реакцій ґрунту залежить від жорсткості фундаменту на згин (рисунок 1.11).

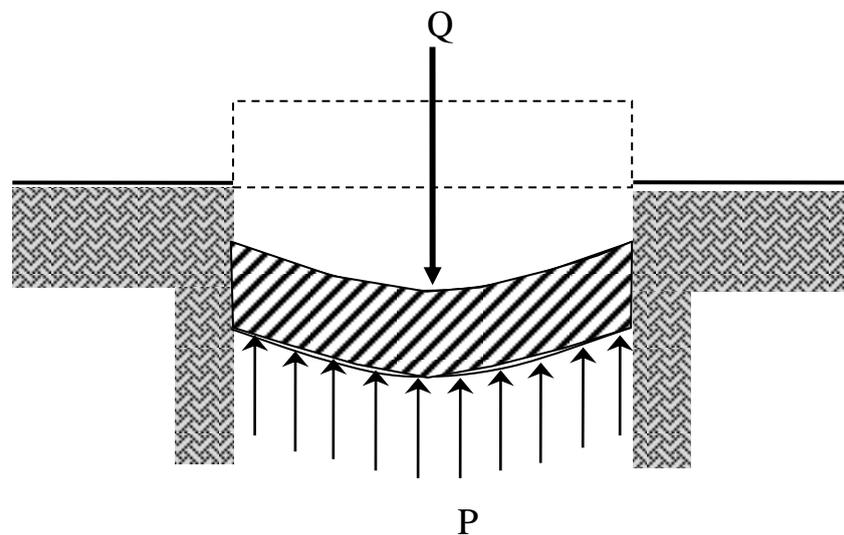


Рисунок 1.11 – Пружна плита на пружній основі під дією розподіленого навантаження

Із даних на рисунку 1.10 – співвідношення між деформаціями основи і контактним тиском по підшві жорсткого фундаменту є далеко не простим. Коли ж фундамент гнучкий, то це співвідношення стає ще більш складним і, навіть, грубе визначення епюри дійсного контактного тиску є надто громіздким. Та не знаючи хоча би наближеного контактного тиску, неможливо проєктувати і фундаментні плити. Тому загальноприйнято визначати контактний тиск на основі спрощених допусків і компоувати похибку, викликану цими припущеннями, шляхом введення коефіцієнту запасу.

Спрощені прийоми в ДБН [14] засновані на довільному і неточному припущенні, що осідання  $s$  будь-якого елемента завантаженої площі абсолютно не залежить від навантаження на примикаючі елементи. Далі приймається, на відміну від дійсності, що співвідношення

$$K = \frac{P}{S} \quad (1.1)$$

між інтенсивністю  $P$  тиску на елемент і відповідною осадкою  $s$  буде постійним і рівним  $K$  (г/см<sup>3</sup>). На відміну від дійсного контактного тиску, який діє по підшві фундаменту, фіктивний тиск  $P$ , що задовольняє (1) називається реакцією пружної постелі. Коефіцієнт  $K$  називають коефіцієнтом постелі.

Спрощені моделі роботи основи не враховують нелінійність роботи ґрунту за межами розрахункового опору з використанням традиційних характеристик, що визначаються при інженерно-геологічних вишукуваннях.

При дослідженні НДС споруд виникає необхідність урахування особливостей деформування комбінованих систем, які складаються із стержнів, пластин, оболонок, особливостей конструювання вузлів, що мають різну піддатливість при різних впливах. Регулювання НДС як окремих конструкцій, так і системи в цілому відкриває можливість оптимізації параметрів будівлі.

На теперішній час реалізація прийнятого конструктивного рішення здійснюється на основі одного з вищезгаданих програмних комплексів (ПК) після складання скінченно-елементної моделі будівлі та включає наступні етапи:

- аналіз прийнятого конструктивного рішення;
- компоновка адекватної розрахункової схеми;
- скінченно-елементне моделювання;
- реалізація обчислень, візуалізація та аналіз результатів розрахунку.

Якщо можливе осідання перевищує допустимий максимум, то проєкт має бути перероблений.

При діагностуванні наземної частини споруди краєва задача механіки замінюється задачею знаходження мінімуму функціоналу (виразу повної потенціальної енергії роботи системи, потенціалу Лагранжа). Координатні функції, що апроксимують шукані функції  $\sigma - \epsilon$  стану будівлі, підбирались з точки зору забезпечення збіжності, точності, обумовленості рішень. Це найвідповідальніший етап, оскільки саме він відповідає за збіжність методу.

На етапі дискретизації розміри сітки скінченних елементів зазвичай приймаються на основі двох попередніх розрахунків з послідовним згущенням триангуляційної сітки. Це дає можливість отримати уяву про точність числового розрахунку.

Відносна похибка результатів розрахунку за попередніми розмірами сітки, та наступними (збільшеними в 1,5 рази) не має перевищувати 1%. Прийнята дискретна розрахункова схема обумовлювала знаходження НДС об'єкту з рішень системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) високого порядку.

Корені СЛАР дають переміщення у вузлах скінченних елементів (СЕ), а по них знаходиться решта компонент НДС.

Сучасна практика розрахункового обґрунтування конструкцій будівель, що проєктуються, їх фундаментів і основ передбачає проведення досліджень НДС

повної системи «наземна споруда – фундамент – основа» на обчислювальних комплексах, що в основному реалізують метод скінченних елементів.

При проєктуванні будівлі основною задачею є забезпечення міцності наземних конструкцій, що безпосередньо залежить від ґрунтового масиву, параметри якого можуть змінюватись під дією різних факторів (сезонні впливи, технологія виконання підземних робіт, додаткове навантаження та ін.)

Головна особливість монолітного каркасу сучасних висотних будівель (більш жорсткої конструктивної схеми будівлі в порівнянні із збірним каркасом) – забезпечення спільної роботи усіх конструктивних елементів: колон, пілонів, діафрагм, плит перекриття, фундаментних конструкцій, та перерозподіл зусиль між ними.

Вірне використання цих можливостей дозволяє значно поліпшити міцнісні властивості каркасу з одночасовим зменшенням його матеріалоемності.

В основу моделі в МКР покладено узагальнений критерій пластичності І. П. Бойка [2], який поєднує критерії Мізеса-Шлейхера- , Кулона-Мора та дилатансійні співвідношення В. М. Ніколаєвського [12].

Також необхідно підкреслити, що будівля є чутливим індикатором зміни властивостей системи при зміні НДС основи, нелінійності її деформування.

Розрахунки виконувались з урахуванням поетапності робіт (природне НДС, улаштування котловану, спорудження фундаментної плити, спорудження будівлі). Таким чином, ітераційні розрахунки, що моделюють поетапне зведення будівель з урахуванням жорсткості будівлі та характеру перерозподілу навантаження дають більш достовірний прогноз НДС будівлі і ґрунтової основи.

#### 1.4 МСЕ, як математична основа для числового моделювання висотних будівель

Можливість побудови точних рішень для прикладних задач теорії пружності обмежена. Як для плоских, так і для просторових задач точні рішення можна отримати для областей з геометрично простими границями. По цій причині давно усвідомлена необхідність використання ефективних числових методів.

Теоретичною основою ПК «ЛІРА» є метод скінченних елементів (МСЕ), реалізований у формі переміщень. В МСЕ в формі переміщень шуканими функціями є переміщення, які визначаються із умови мінімуму функціоналу Лагранжа. Вибір саме цієї форми пояснюється простотою її алгоритмізації і фізичної інтерпретації, наявністю єдиних методів побудови матриць жорсткості і векторів навантажень для різних типів скінченних елементів, можливістю врахування довільних граничних умов і складної геометрії конструкції, що розраховується.

Суть принципу фрагментації – взаємодія фрагменту з іншою конструкцією замінюється дією силових або деформаційних факторів в місцях примикання відокремленої частини.

Ступеням вільності відповідають базисні (координатні, апроксимуючі) функції  $\mu_i$ , відмінні від нуля тільки на відповідних вершинах елементів і що задовольняють умову:

$$L_{j, \mu_i} = \begin{cases} 1, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases} \quad (1.2)$$

Наближене рішення  $U_h$  шукається у вигляді лінійної комбінації базисних функцій

$$U_h = \sum_{i=1}^N u_i \mu_i \quad (1.3)$$

де:  $u_i$  – числа;  $N$  - кількість ступенів вільності.

## Висновки по розділу 1

Дійсну картину напружено-деформованого стану можна отримати лише у випадку врахування сумісної роботи системи «наземна споруда – фундамент – основа», тому тема МКР є актуальна.

Сучасні методи (МСЕ, МГЕ) дають можливість проведення числових досліджень для розв'язку задачі визначення реального НДС при будівництві споруд.

Урахування сумісної роботи наземної і підземної частин висотних будівель виявляє перерозподіл зусиль між елементами цієї системи та дає можливість отримання кількісної оцінки ефективності проєктних рішень.

## РОЗДІЛ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ НДС ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬ

#### 2.1 Основні критерії складання розрахункових моделей будівель

Важливе значення теоретичних знань для прогнозування напружено-деформованого стану системи, стосовно навантаження, що діють як на конструкції будівлі, так і на її основу, можна охарактеризувати як квазістатичні процеси. Такі процеси протікають надзвичайно повільно, зміна стану, що відповідає поступовому етапу зведення будівлі.

Розрахунок фізичної моделі каркасної будівлі неможливий без суттєвої її ідеалізації. Таким ідеалізованим, спрощеним зображенням реальної будівлі є її розрахункова схема. Схема розбивається на скінченні елементи. Для відтворення сумісної роботи СЕ вони з'єднуються у вузлах. Елементи і вузли схеми нумеруються. У опорні вузли слід ввести відповідні граничні умови (заборонити переміщення або кути повертання по відповідних ступенях вільності, або обмежити переміщення вузла скінченними елементами, що моделюють роботу зв'язку).

Статичні навантаження задаються у вигляді зосереджених сил і моментів як у вузли схеми (вузлове навантаження) по напрямках осей глобальної і локальної систем координат, так і на елементи (місцеве навантаження) по напрямках місцевої або глобальної систем координат.

Динамічні впливи задаються у вигляді вузлових навантажень, діючих, уздовж осей глобальної або локальної систем координат [8].

Вага мас споруди задається як власна вага конструкцій, устаткування і т.д; при цьому допускається використання, як місцевих, так і вузлових навантажень.

Питання оцінки точності рішення задачі є дуже складним, оскільки залежить від багатьох впливових чинників:

- крок дискретизації сітки – з одного боку, згущування сітки підвищує точність, з другого боку, необмежене згущування може спричинити слабку обумовленість матриці канонічних рівнянь і втрату точності;

- фізико-механічні властивості розрахункової моделі.

Таким чином, сучасні технології розрахунку і проєктування конструкцій автоматизовані. Вони засновані на технічних платформах і операційних середовищах комп'ютерів, які дуже швидко розвиваються. Це дозволяє інтенсивно вдосконалювати розрахункові схеми, піднімати рівень їх адекватності та степінь коректності скінченно-елементних моделей. Сучасне моделювання, як правило, реалізується на основі МСЕ – числового, наближеного методу математичної фізики. МСЕ знайшов широкий вжиток в рішеннях задач лінійної і нелінійної механіки деформованого твердого тіла, теорії конструкцій, а також в задачах регулювання і оптимізації параметрів будівельних систем.

Прикладання МСЕ крім ознайомлення з його основними положеннями та формальними процедурами потребує вирішення питань збіжності рішень, стійкості, оцінки точності. Дослідженню цих питань присвячено ряд наукових робіт [10]. Оскільки в роботі розглядаються питанням розрахунку об'єктів будівництва, актуальними є методи будівельної механіки.

Процедура рішення задач за МСЕ повністю відповідає методам будівельної механіки стержневих систем. Систему рівнянь:

$$K \cdot q - P = 0 \quad (2.1)$$

до якої зводиться варіаційний метод знаходження мінімуму функціоналу виразу повної потенційної енергії роботи системи, можна трактувати як рівняння рівноваги.

В (2.1)  $q$  – степені вільності МСЕ (число незалежних параметрів, що повністю характеризують положення системи, наділяються фізичним змістом – це

шукані значення переміщень і їх похідних в вузлах розрахункової сітки; визначаються із рішення системи (2.1)

$K$ ,  $P$  – компоненти матриці жорсткості і вектора вузлових сил скінченних елементів.

Аналогом системи (2.1) в будівельній механіці стержневих систем є система канонічних рівнянь методу переміщень. Деяка різниця МСЕ від будівельної механіки спостерігається лише в процедурі складання матриці жорсткості  $K$ . В МСЕ для отримання  $K$  використовується варіаційне обчислення, в стержневих систем матриця жорсткості будується на принципах будівельної механіки для визначення переміщень.

Головними етапами побудови МСЕ-моделі є:

- побудова геометрії всієї системи «наземна споруда – фундамент – основа»;
- розбиття області на скінченні елементи тетраедри або призми у 3D;
- призначення фізико-механічних властивостей матеріалів;
- задання граничних умов (нерухомі грані, навантаження);
- формування матриці жорсткості та розв'язання системи рівнянь;
- отримання карт переміщень, напружень, деформацій;
- візуалізація та аналіз результатів розрахунку.

Всі теорії міцності використовують головні напруження  $\sigma_1 > \sigma_2 \geq \sigma_3$  і є власними значеннями тензора напружень  $T\sigma$ , і обраховуються за формулами Кардана пошуку коренів кубічних рівнянь

$$T\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix} \quad (2.2)$$

## 2.2 Етапи створення конструктивної схеми будівель

Побудова МГЕ-моделі включає такі етапи:

- ідеалізацію області задачі;
- розбиття меж на граничні елементи;
- задання граничних умов (напруження або переміщення);
- формування інтегральної системи рівнянь;
- розрахунок значень у внутрішніх точках (за потреби);
- візуалізація та аналіз результатів розрахунку.

Сучасні САПР займаються аналізом проєктування технічних об'єктів за допомогою математичного моделювання (процес створення моделі і оперування нею з метою отримання відомостей про реальний об'єкт).

Математичною моделлю технічного об'єкта на мікрорівні є система диференційних рівнянь в частинних похідних, що описує процеси в суцільних середовищах з заданими краєвими умовами.

Формування розрахункової схеми або її частини можна виконати і на основі інформації, імпортованої з «AutoCAD», «ArchiCAD» або інших систем проєктування. Однак архітектурна модель не може бути повністю автоматично перетворена на розрахункову схему через наявність в ній великої кількості «архітектурних надмірностей», що не є елементами розрахункової моделі. До елементів моделі відносяться сполучення елементів, відомості про опирання та прилягання, навантаження, матеріали та інше.

## Висновки по розділу 2

Розрахункова модель споруди (спрощене зображення реальної споруди, яке присутнє в розрахунку замість самої споруди ) розбивається на скінчені елементи (СЕ) для створення конструктивної схеми будівлі (вибір кроку дискретизації є важливим).

В вузли СЕ вводиться навантаження, в опорні вузли призначаються граничні умови, задаються фізико-механічні властивості розрахункової моделі.

Реалізація обчислень проводиться з залученням ПК на основі МСЕ в основі якого використовується варіаційне числення.

### РОЗДІЛ 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НДС СПОРУДИ З ВРАХУВАННЯМ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ ПІДЗЕМНОЇ ТА НАЗЕМНОЇ ЧАСТИН

### 3.1 Дослідження НДС наземної частини 3-х поверхової будівлі з підвалом

В роботі розраховано та проаналізовано НДС триповерхової каркасної будівлі з підвалом. Скінченно-елементна модель будівлі складається із комбінованих систем (стержнів, пластин) зображено на рисунку 3.1 (а; б). Досліджено особливості деформування цих комбінованих систем, особливості конструювання вузлів, що мають різну піддатливість при різних впливах, особливості регулювання НДС як окремих конструкцій будівлі, так і системи в цілому, з метою оптимізації будівлі в цілому.

При вирішенні міцнісної задачі будівельної механіки зусилля, що передаються в рівні фундаментної конструкції на ґрунтову основу визначались за допомогою досить відомого в Україні ПК «ЛІРА». Це потужний комплекс скінченно-елементного аналізу конструкцій будівлі. «ЛІРА» містить у своєму складі розвинені засоби підготовки даних, розрахунку та аналізу результатів, не має обмежень на розміри та форму споруд, які проєктуються. Як відомо «ЛІРА» – це система міцнісного аналізу на основі МСЕ.

Очевидно, що архітектурна модель не може бути повністю автоматично перетворена на розрахункову схем. Наявність в ній «архітектурних надмірностей», які не завжди коректно сполучені з елементами моделі, відсутність інформації про умови закріплення та завантаження, потребують доведення моделі до рівня розрахункової схеми.

Однак основні розміри, прив'язка колон та несучих стін, обриси перекриттів, розташування отворів є базою, на якій в подальшому будується розрахункова схема – сітка скінченних, задаються умови опирання та прилягання,

описуються фізико-механічні характеристики матеріалів а також відомості про навантаження.

Результати міцнісного розрахунку скінченно-елементної моделі будівлі отримано у вигляді таблиць, епюр та ізополів (рис. 3.2 а, б). За результатами розрахунку визначено невідповідні (розрахункові) сполучення зусиль (РСЗ) на основі яких вибрано зусилля тиску СЕ внизу будівлі, на ґрунтову основу.

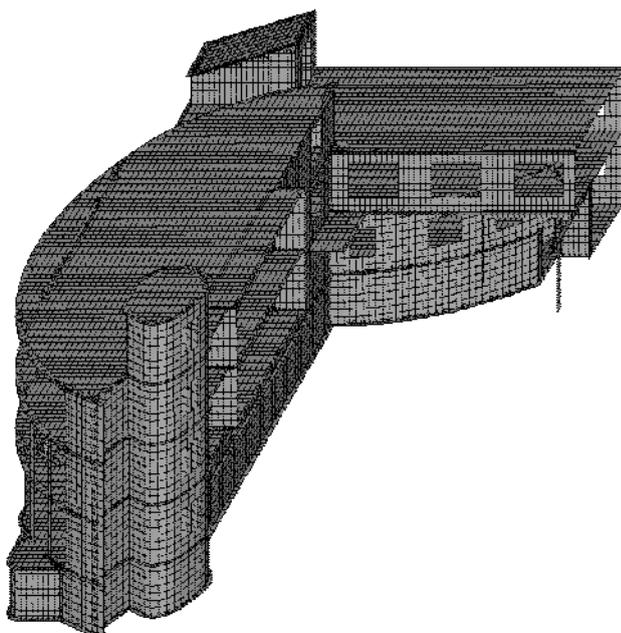
Таким чином методологія розрахунку наземної частини будівлі відображає основні тенденції сучасних САПР та складається із етапів:

- аналіз прийнятого проєктного рішення;
- компоновку адекватної розрахункової схеми;
- скінченно-елементне моделювання ;
- реалізацію обчислень, візуалізацію та аналіз результатів.

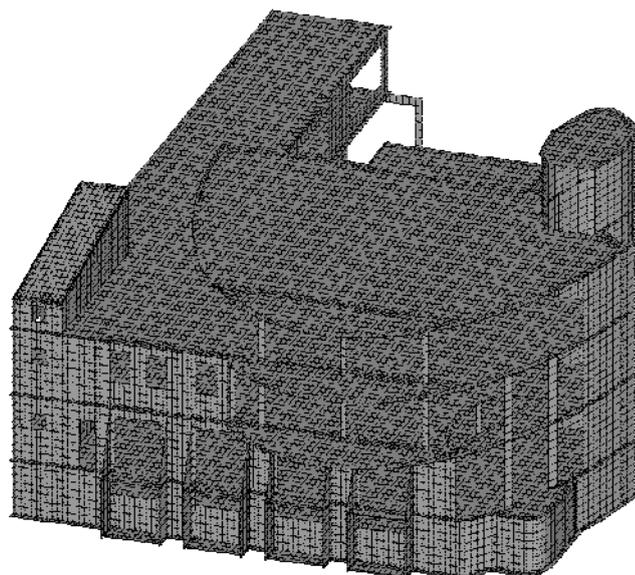
Збір навантажень, як гравітаційного так і корисного, виконано за вимогами діючих будівельних норм [7,10]. При діагностуванні наземної частини споруди краєва задача механіки замінювалась задачею знаходження мінімуму функціоналу (виразу повної потенціальної енергії роботи системи, потенціалу Лагранжа).

Координатні функції (шукані функції  $\sigma - \varepsilon$  стану будівлі) підбирались з точки зору забезпечення збіжності, точності, обумовленості рішень. Це найвідповідальніший етап, оскільки саме він відповідає за збіжність методу.

На етапі дискретизації розміри сітки скінченних елементів були прийняті на основі двох попередніх розрахунків з послідовним згущенням триангуляційної сітки. Це дало можливість отримати уяву про точність числового розрахунку. Відносна похибка результатів розрахунку за попередніми розмірами сітки (400×400 мм) та наступними (300×300 мм, зменшеними в 1,5 раз) не перевищувала 1%.



а) вигляд збоку



б) фронтальна сторона

Рисунок 3.1 – Скінченно-елементна модель 3 - поверхової будівлі з підвалом в м. Вінниця

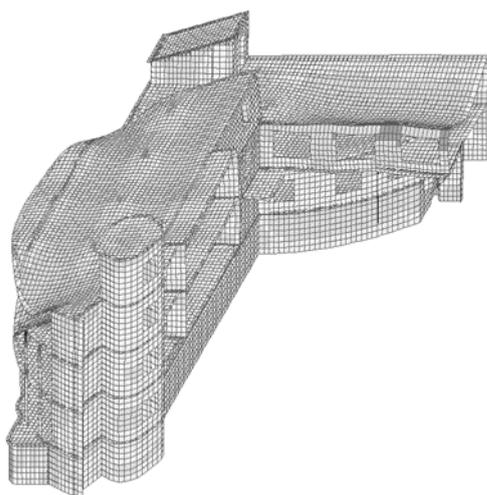
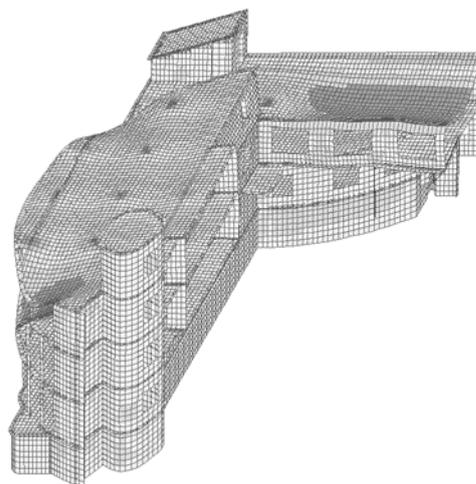
а)  $M_x$ б)  $M_y$ 

Рисунок 3.2 – Ізополя внутрішніх зусиль скінченно-елементної моделі 3-поверхової будівлі з підвалом м. Вінниця

Прийнята дискретна розрахункова схема обумовлювала знаходження НДС об'єкту з рішень рівнянь системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) високого порядку. Корені СЛАР дають переміщення у вузлах скінченних елементів (СЕ), а по них знаходиться решта компонент НДС. В процесі компоновки моделі будівлі зверталась увага на реалізацію з'єднань СЕ до вузлів системи, що мали різну жорсткість. З'єднування здійснювалось за допомогою спеціальних елементів, що мали задану піддатливість по шуканому напрямку і безмежну жорсткість по решті напрямках.

За результатами розрахунку було підібрано армування плит перекриттів для кожного поверху. Результати армування для першого та другого поверхів наведено на рисунках: 3.3 – 3.10.

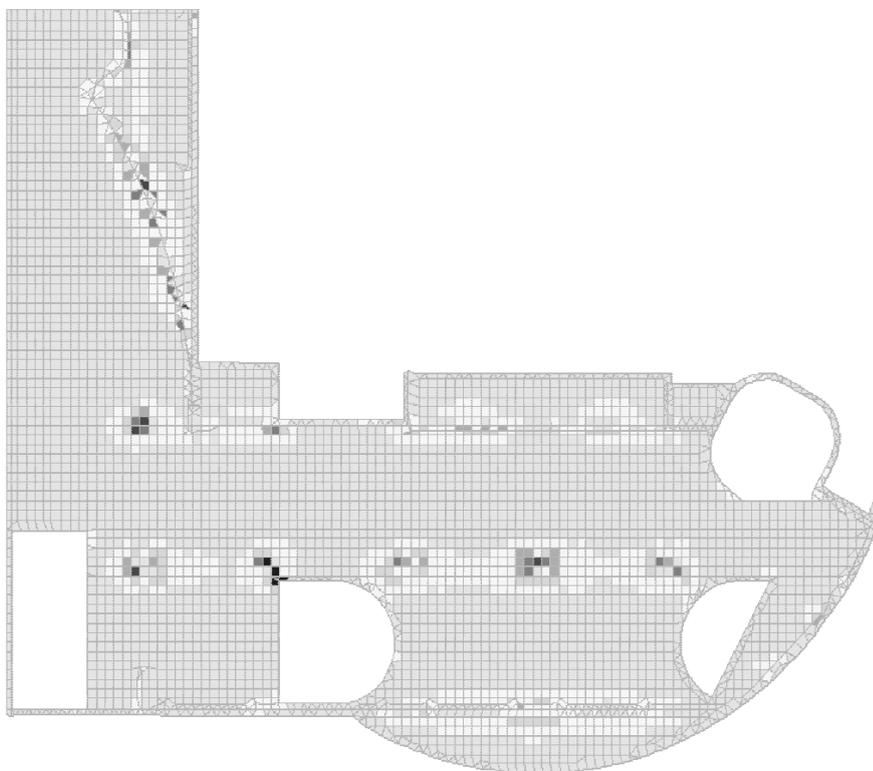
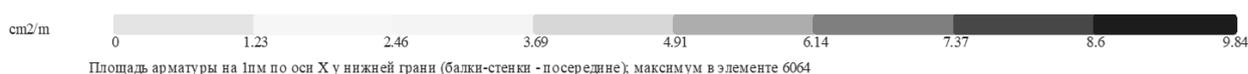


Рисунок 3.3 – Клейонка армування нижньої арматури вздовж осі X для плити перекриття 2-го поверху

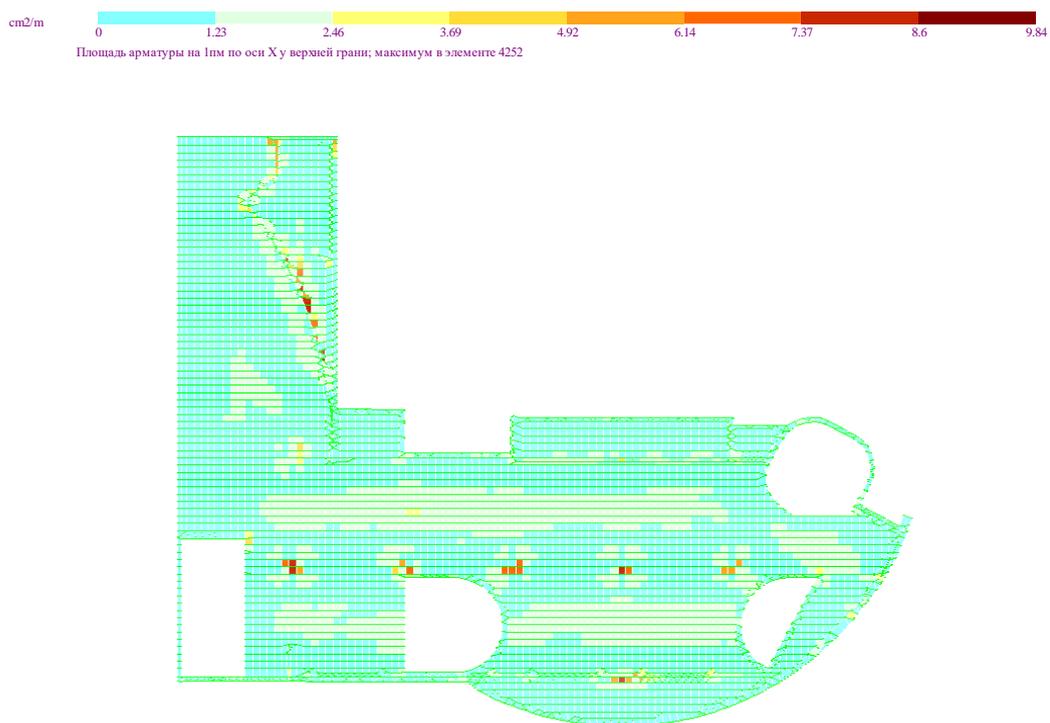


Рисунок 3.4 – Клейонка армування верхньої арматури вздовж осі X для плити перекриття 2-го поверху

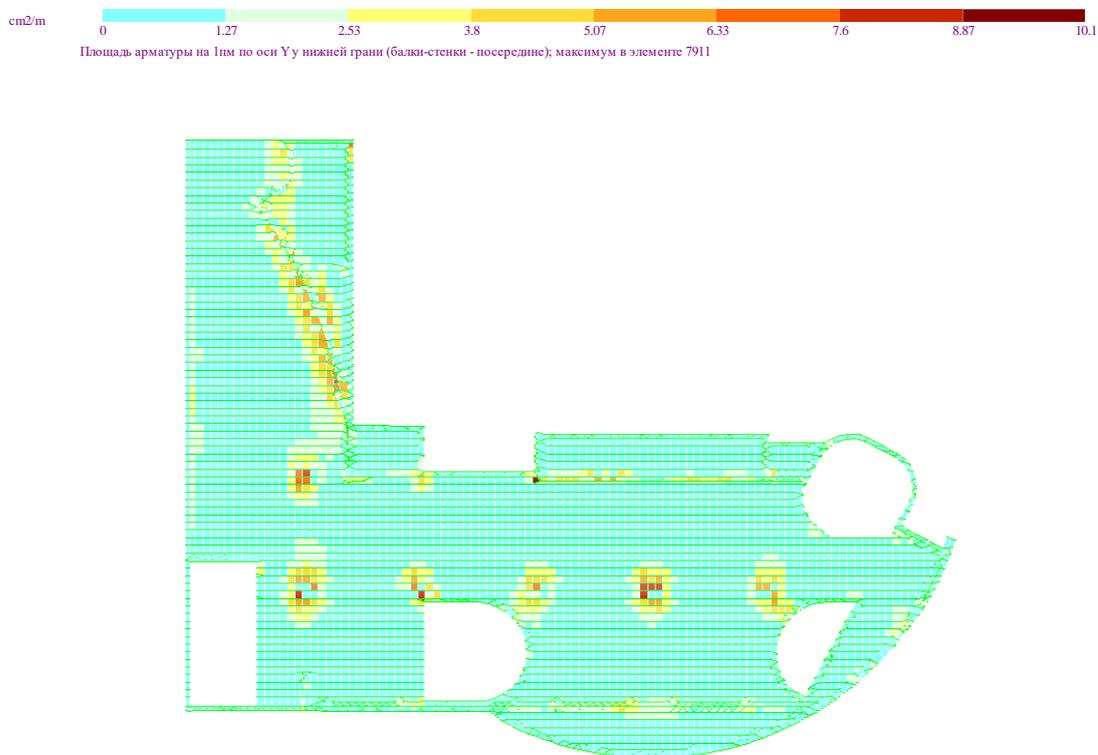


Рисунок 3.5 – Клейонка армування нижньої арматури вздовж осі Y для плити перекриття 2-го поверху

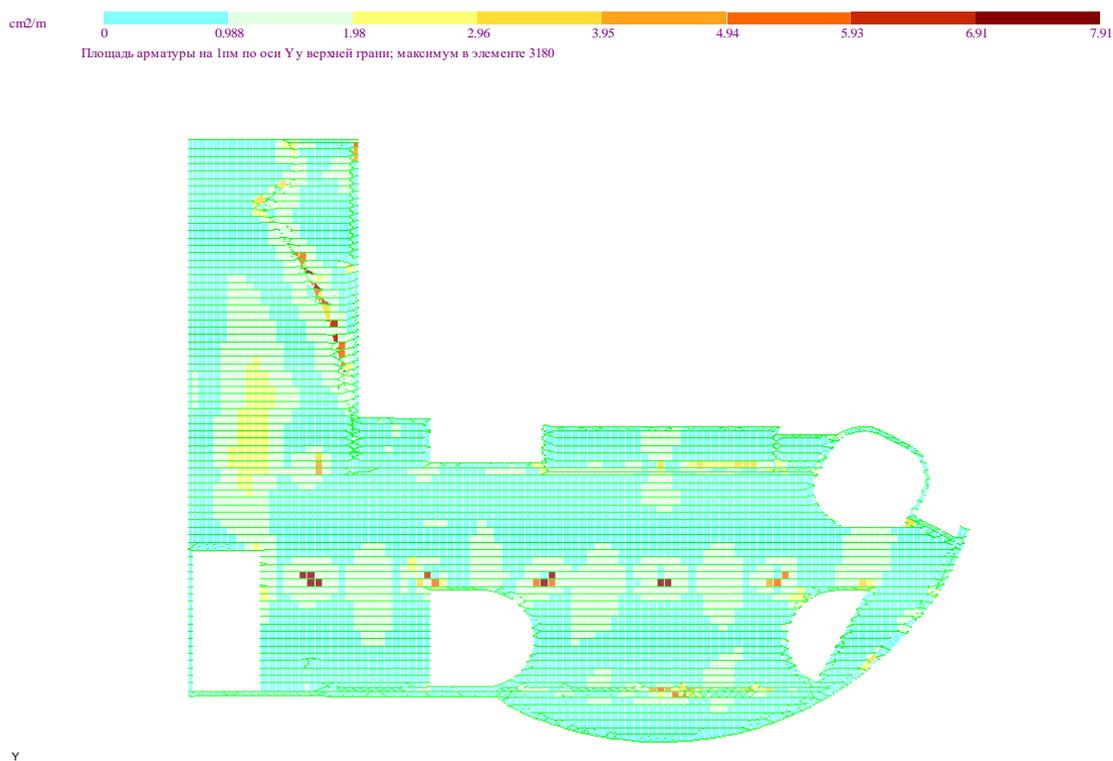


Рисунок 3.6 – Клейонка армування верхньої арматури вздовж осі Y для плити перекриття 2-го поверху

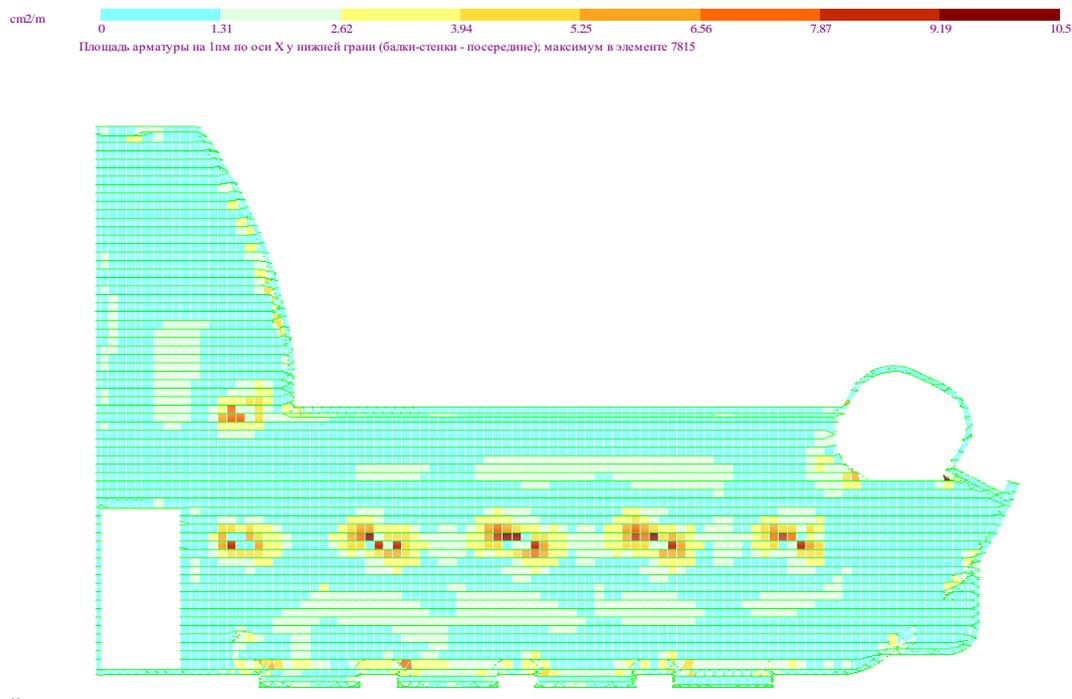


Рисунок 3.7 – Клейонка армування нижньої арматури вздовж осі X для плити перекриття 1-го поверху

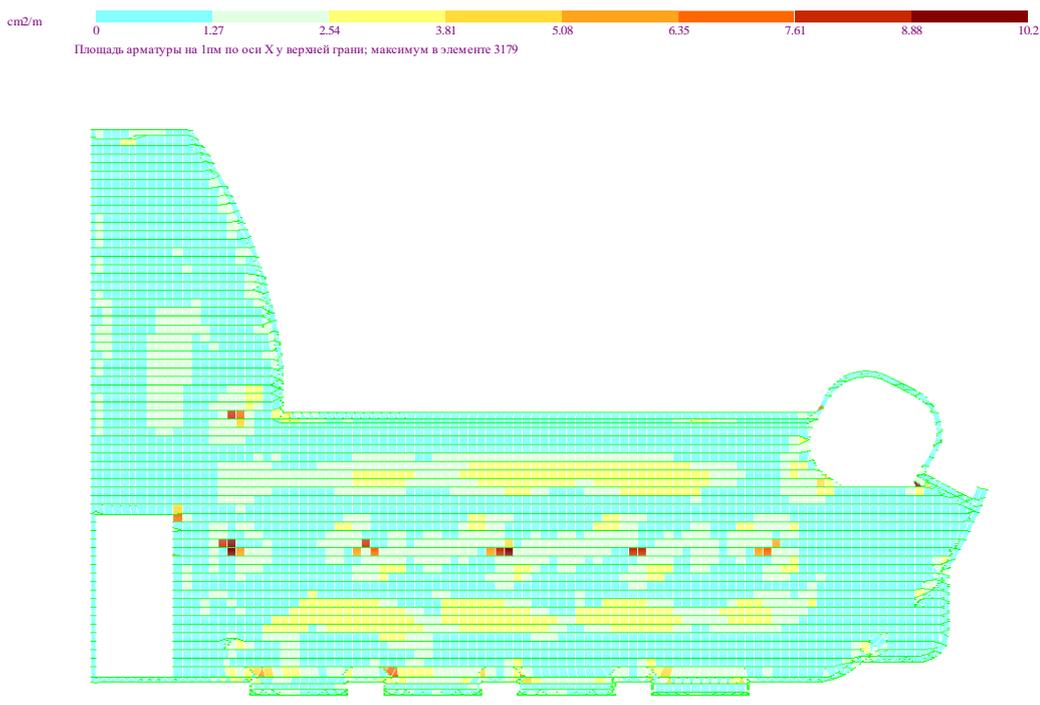


Рисунок 3.8 – Клейонка армування верхньої арматури вздовж осі X для плити перекриття 1-го поверху

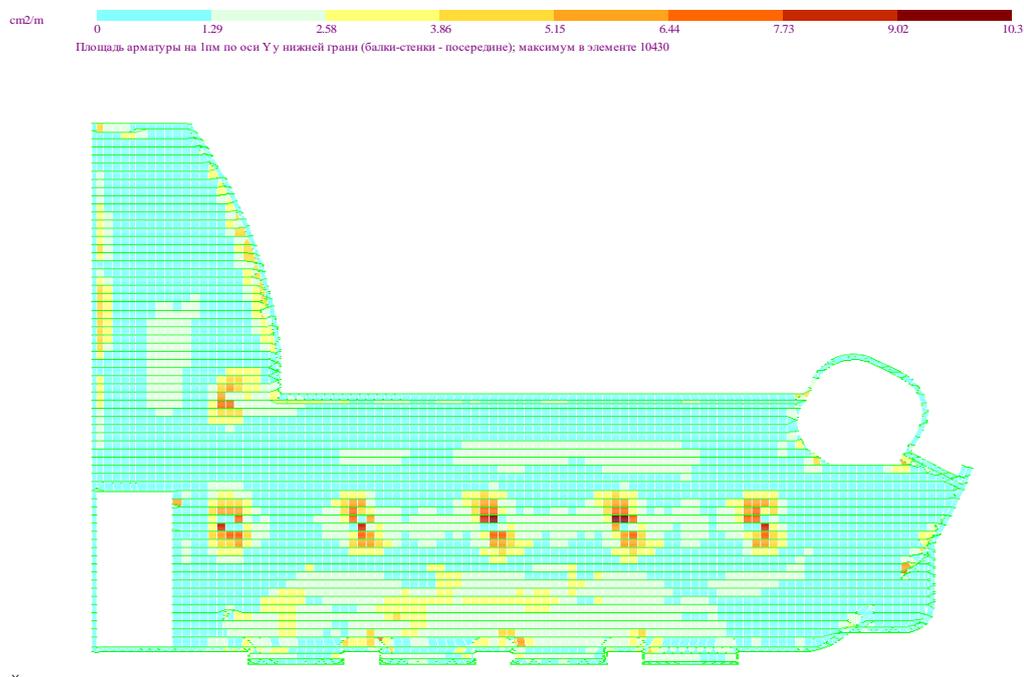


Рисунок 3.9 – Клейонка армування нижньої арматури вздовж осі Y для плити перекриття 1-го поверху

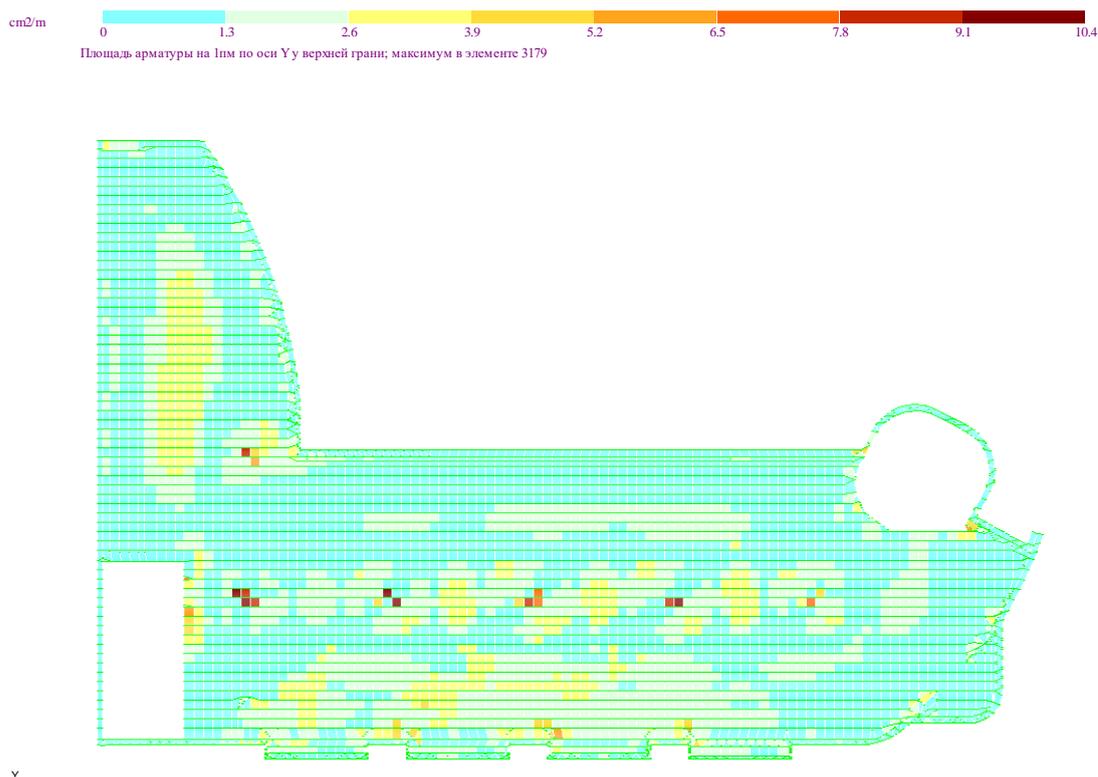


Рисунок 3.10 – Клейонка армування дждждл для плити перекриття 1-го поверху

### 3.2 Дослідження НДС підземної частини будівлі. Варіант паль-стійок

Розрахунок скінченно-елементної моделі сучасної висотної будівлі потрібно проводити з урахуванням найбільш суттєвих факторів, що визначають її НДС – фізичної нелінійності роботи основи, характеру ґрунтових напластунків, властивостей ґрунтів. Основи розраховуються по II групі граничних станів і цей розрахунок має забезпечити нормальну експлуатацію будівлі, обмеженість осідань ( $s \leq s_d$ ), прогинів, кутів повертань.

Трифазові ґрунти (тверді частинки, вода, газ) сприймають зовнішнє навантаження інакше, ніж суцільні тверді тіла. Розподіл напружень в товщі незв'язних (зернистих) ґрунтів і їх опір зовнішнім силам, обумовлені силами тертя на контакті частинок. Опір зв'язних ґрунтів (глинисті мінерали) деформаціям, під дією прикладених до них сил, обумовлений міцністю водних плівок, що обгортають частинки цих ґрунтів.

В процесі мобілізації сил внутрішнього тертя зерна незв'язного ґрунту укладаються більш щільно чи більш «рихло» в порівнянні з вихідним станом. Запис аналітичних залежностей їх укладання можливий лише надто наближений. Тому висновки механіки суцільних середовищ до оцінки деформації ґрунтів прикладались з рядом обмежень.

Аналіз ґрунтової основи реального будівельного майданчика показав, що вона має шарувату неоднорідну структуру. В верхній зоні основи залягають ґрунти, які не рекомендуються як основа будівлі (насипний ґрунт, ґрунтово-рослинний шар). Нижче в геологічній будові беруть участь суглинки та глини загальною потужністю 4 – 5 м з нормативним модулем 11 МПа, які підстеляють дресв'яні ґрунти з пісчано-глинистим заповнювачем.

На період вишукувань, який проходив до будівництва, рівень ґрунтових вод припадав на суглинок м'якопластичний і перебував на глибині 3,5-3,6 м. Функцію природної ґрунтової подушки може виконувати глина тугопластична сіра. Водонасичення ґрунту при піднятті підземних вод може призвести до додаткової деформації основи. Це може бути коли споруда запроєктована без врахування повного водонасичення ґрунтів основи. Тому властивості ґрунтів в розрахунку переймались з урахуванням вологості, та були середньозваженими по прошарках:

- модуль деформацій:  $E = 8,673$  МПа,
- коефіцієнт Пуассона:  $\nu = 0,35$ ,
- кут внутрішнього тертя:  $\varphi = 14,89^\circ$ ,
- зчеплення:  $c_{II} = 15,46$  кПа,
- щільність ґрунту вхідна мінімальна, максимальна:

$$\rho = 1,664 \text{ г/см}^3;$$

$$\rho^{\min} = 0,845 \text{ г/см}^3;$$

$$\rho^{\max} = 2,73 \text{ г/см}^3;$$

- ступінь вологості:  $S_r=0,82$ .

Показники властивостей ґрунтової породи грали роль числових параметрів і визначали степінь надійності виконання розрахунків.

На глибині 4,5-5,7 м основа підстиляється прошарком дресв'яного ґрунту з піщано-глинистим заповнювачем з розрахунковим опором  $R_0=20$  МПа.

Сили тертя ґрунту по боковій поверхні паль-стійок в розрахунках їх несучої спроможності по ґрунту основи на стискаюче навантаження не враховується [1].

Опір ґрунту по боковій поверхні в цьому випадку не враховується тому, що осідання палі, за виключенням стиснення стовбура, не буде мати місця. Опір ґрунту по боковій поверхні обумовлюється опором зсуву ґрунту і проявляє себе лише в процесі переміщення, тобто осідання палі. В практиці оправданим є інженерний метод підбору кількості паль: кількість паль підбирається шляхом ділення загальної ваги будівлі на несучу спроможність палі. Визначена таким чином кількість паль збільшується на 25–30% для компенсації різних нерівностей, впливу вітру і т. д.

Розрахунок фундаментів будівлі складався із двох частин:

1. підбір розмірів та типу фундаментної конструкції;
2. розрахунок тіла фундаменту.

В будівлі, яка проектується, фундаментна конструкція розташовується на глибині 2 м від земної поверхні, з огляду на підвальне приміщення. Згідно з інженерно-геологічними умовами будівельного майданчика на 3 м нижче подошви підвалу будівлі знаходиться дресвяний ґрунт з піщано-глинистим заповнювачем, розрахунковий опір якого  $R_0 = 20$  МПа. Тому є доцільним в якості фундаментної конструкції обрати палі-стійки СЗ-30, які будуть опиратись на практично нестискувану дресвяну основу.

Розрахунок несучої спроможності паль-стійок проведено за формулами із нормативної документації [16]:

$$N \leq \frac{\Phi}{k_n} = P, \quad (3.1)$$

де  $N$  – розрахункове навантаження на палю (поздовжнє зусилля від розрахункових навантажень на фундамент при їх найбільш несприятливому сполученні);

$\Phi$  – розрахункова несуча спроможність ґрунту основи одиночної палі (тс);

$k_i$  - коефіцієнт надійності:

а) при розрахунковому визначенні несучої спроможності  $k_i = 1,4$ ;

б) у випадку визначення несучої спроможності палі за результатами польових досліджень при статичному навантаженні  $k_i = 1,25$ .

Розрахункова несуча спроможність одиночної палі-стійки визначалась за формулою:

$$\Phi = m \cdot R_0 \cdot F, \quad (3.2)$$

де  $m = 1$ ;  $F$  – площа опирання палі,  $\text{м}^2$ ;

$R_0$  – розрахунковий опір ґрунту під нижнім кінцем палі-стійки,  $\text{т}/\text{м}^2$ .

Варіант забивної палі-стійки СЗ-30

Розрахункова несуча спроможність одиночної палі-стійки:

$$\Phi = 1 \cdot 20000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot 0,3 \text{ м} = 1800 \text{ кН} = 180 \text{ тс}$$

Розрахункове навантаження на палю С3-30

$$N = \frac{180 \text{ тс}}{1,4} = 128,6 \text{ тс.}$$

Тоді під максимально завантажену колону потрібно

$$\frac{94 \text{ тс}}{128,6 \text{ тс}} \approx 1 \text{ палю}$$

С3-30, з конструктивних міркувань приймаємо 3 палі-стійки С3-30, розташування паль у ростверку показано на рисунку. 3.11.

Міцність тіла фундаменту перевіряється за розрахунковим навантаженням. Тиск під подошвою колони (стіни) за умови жорсткої конструктивної схеми будівлі визначається за формулою:

$$\sigma_{\max} = \frac{N_1}{F_k}, (3.3)$$

де  $N_1$  – нормативне навантаження від вище розташованих поверхів;

$F_k$  – площа поперечного перерізу колони.

Міцність матеріалу фундаменту забезпечена за умови:

$$\sigma_{\max} < R_b, (3.4)$$

де  $R_b$  - розрахунковий опір на стиск матеріалу фундаменту [7, 10] .

Фундаментна конструкція проектується з бетону М350 (В25)

- розрахункова опір на стиск якого становить 14,5 МПа [7,10],
- розрахунковий опір на розтяг – 1,05 МПа [7,10].

Максимальне зусилля в колоні на рівні підвалу за даними розрахунку на ПК «ЛІРА»  $N_1 = 94$  тс. максимальний тиск під подошвою колони:

$$\sigma_{\max} = \frac{94 \text{ тс}}{0,3 \text{ м} \cdot 0,3 \text{ м}} = 1044 \frac{\text{тс}}{\text{м}^2} < R_b (\text{B25}) = 14,5 \text{ МПа} = 14500 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} = 1450 \frac{\text{тс}}{\text{м}^2}. \quad (3.5)$$

Перевірка фундаментної конструкції продавлювання під колоною у відповідності до [10] зводиться до умови:

$$F \leq \alpha \cdot R_{bt} \cdot b_m \cdot h_0, \quad (3.6)$$

де  $\alpha = 1$  - для важкого бетону;

$R_{bt}$  - розрахунковий опір бетону на розтяг;

$b_m$  - середня лінія трапеції, бокової грані піраміди продавлювання;

$h_0$  - робоча висота, достатність якої потрібно перевірити.



### 3.3 Розрахунок ростверку на протискування

Розрахунок ростверку на протискування є необхідною частиною компоновки проектного розрахунку будівлі та споруди. В якості прикладу розглянуто ростверк з розмірами:

а) робоча висота ростверку:

$$h_0 = 36 \text{ см} - 3,5 \text{ см} = 32,5 \text{ см},$$

де 3,5 см – захисний шар бетону, який при армуванні підшви ростверку зварними сітками має бути  $a \geq 35$  мм при наявності бетонної підготовки [10];

б) нижня лінія грані протискування (рис. 3.12):

$$b = 30 + 32,5 \cdot 2 = 95 (\text{см}) ; \quad (3.7)$$

в) середня лінія піраміди протискування  $b_m$  :

$$b_m = \frac{30 + 95}{2} = 62,5 (\text{см}) ; \quad (3.8)$$

г) величина продавлюючого зусилля, яке може сприйняти бетонний ростверк із бетону класу М350 (В25) при робочій висоті  $h_0 = 32,5$  см:

$$F' = \alpha \cdot R_{bt} \cdot b_m \cdot h_0 = 1 \cdot 105 \cdot 0,625 \cdot 0,325 = 21,32 (\text{тс}) ; \quad (3.9)$$

д) розрахункова сила продавлювання:

$$F = A \cdot p_{m1}, [10], \quad (3.10)$$

де  $A$  – частина площі підшви фундаменту обмежена багатокутником  $abcd$ , за межами піраміди продавлювання (рис. 3.12);

$p_{m1}$  – середній в межах площі  $A$  тиск на ґрунт від розрахункового навантаження.

З деяким запасом в формулу (3.10) можна підставити найбільший краєвий тиск  $p_{\max}$ .

При центральному завантаженні фундаменту:

$$p_{\max} = p_{\min} = \frac{N}{a \cdot b} = \frac{94}{2,1 \cdot 2,1} = 21,315 (\text{тс} / \text{м}^2); \quad (3.11)$$

$$A = \frac{2,1 + 0,95}{2} \cdot 0,575 = 0,8769 (\text{м}^2); \quad (3.12)$$

$$F = 0,8769 \cdot 21,315 = 18,69 (\text{тс}), \quad 18,69 \leq 21,32 (\text{тс}). \quad (3.13)$$

Таким чином, робоча висота ростверку  $h_0 = 32,5$  см задовольняє вимоги на продавлювання бетонного ростверку із бетону М350 (В25).

Для армування підшови ростверку зварними сітками необхідна площа перерізу арматури на смузі фундаменту шириною 1 м в кожному перетині визначається на дію згинального моменту за формулою:

$$A_s = \frac{M_I}{0,9 \cdot h_{0I} \cdot R_s} \quad (3.14)$$

де  $M_I$  – згинальний момент по грані колони в нормальному перерізі I–I (рис.3.15). Значення моменту за [10] для квадратного ростверку:

$$M_I = 0,125 \cdot p_{\max} (b_{\text{ростверку}} \cdot b_1)^2 \cdot b_{\text{ростверку}}, \quad (3.15)$$

де  $b_{\text{ростверку}}$  – ширина ростверку;

$R_s$  - розрахунковий опір арматури на розтяг (прийнято А500С;  $R_s = 365$  МПа).

$$M_I = \frac{1}{2} \cdot \frac{(2,1 - 0,3)^2}{2^2} \cdot 21,35 \cdot 2,1 = 18,128 (\text{т} \cdot \text{м}); \quad (3.16)$$

$$A_s = \frac{18,128}{0,9 \cdot 0,325 \cdot 36500} = 1,69 \cdot 10^{-3} (\text{м}^2) = 16,9 \text{ см}^2. \quad (3.17)$$

Отже приймаємо 9 стержнів А500С з кроком 200 мм. Необхідна площа перерізу одного стержня:  $A_s/9 = 16,9/9 = 1,887 \text{ см}^2$ , приймаємо стержні  $\varnothing 16$  мм, площа перерізу якого дорівнює  $2,011 \text{ см}^2$ .

Робоча висота ростверку  $h_0 = 32,5$  см має задовільняти вимогам на продавлювання бетонного ростверку із бетону М350 (В25).

При армування підшви ростверку зварними сітками необхідна площа перерізу арматури на смузї фундаменту шириною 1 м в кожному перетині визначається на дію діючого згинального моменту.

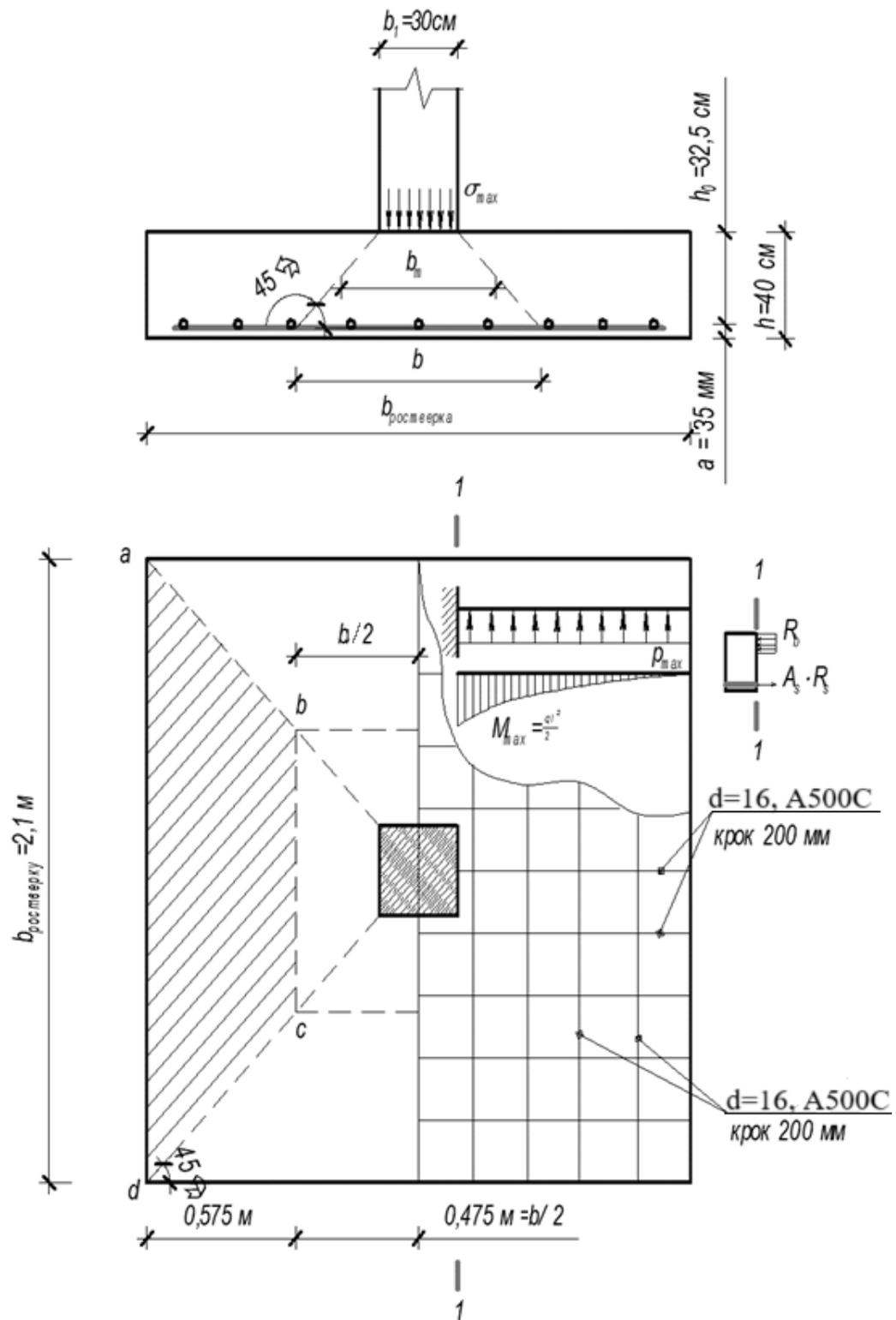


Рисунок 3.12 – Схема до розрахунку залізобетонного елемента ростверку на протискування

### 3.4 Плитний варіант фундаментів будівлі на три поверхи з підвалом м.Вінниця

Природна піддатливість ґрунту призводить до неминучості виникнення в ньому деформацій. Ці деформації на стадії проєктування необхідно передбачити та звести до мінімуму можливість виникнення аварійної ситуації. Економічне та надійне проєктне рішення може дати аналіз НДС сумісної роботи системи «будівля–основа».

В сучасних нормативних документах (ДБН), що регламентують проєктування основ висотних будівель, рекомендуються інженерні методики розрахунку осадок фундаментів на натуральній основі, які використовують схему «пошарового підсумовування». Такий підхід теоретично менше обґрунтований, ніж використання тривимірного пружнопластичного підходу на основі МСЕ, МГЕ.

Також діючі ДБН в розрахунках конструкцій просторово жорстких споруд у взаємодії із стислою основою рекомендують враховувати нелінійність деформування основ, що потребує використання тривимірного пружнопластичного підходу на основі МСЕ чи МГЕ. При використанні МСЕ виникають відомі труднощі, починаючи з вибору моделі ґрунту і забезпечення її достовірними значеннями параметрів та закінчуючи вибором розрахункової області. Ефект числового прогнозу за МСЕ залежить від ряду важко визначальних факторів. Тому діагностування НДС підземної частини системи «будівля–основа» проведено за моделлю розв'язку нелінійної задачі механіки ґрунтів, яка ґрунтується на дилатансійній теорії Ніколаєвського В. М., Бойка І. П та узагальненому критерію Мізеса-Шлейхера-Боткіна [12, 2, 24] за МГЕ.

При товщині фундаментної плити 50 см при наявності ґрунтів на будівельному майданчику згідно інженерних вишукувань:

$$E= 8673 \text{ кПа}; \rho=1,664 \text{ т/м}^3; c=15,46 \text{ кПа}; \nu=0,35; \varphi = 14,89^\circ \approx 0,260 \text{ рад}$$

Розрахункове, очікуване осідання для таких характеристик ґрунтів, осідання будівлі при сумарній вазі 18205 кПа, становить 16,58 см, що перевищує нормативно допустимі  $S_{\max}=10\text{см}$  [34] для споруд подібного улаштування (рис. 3.13; рис. 3.14; рис. 3.15).

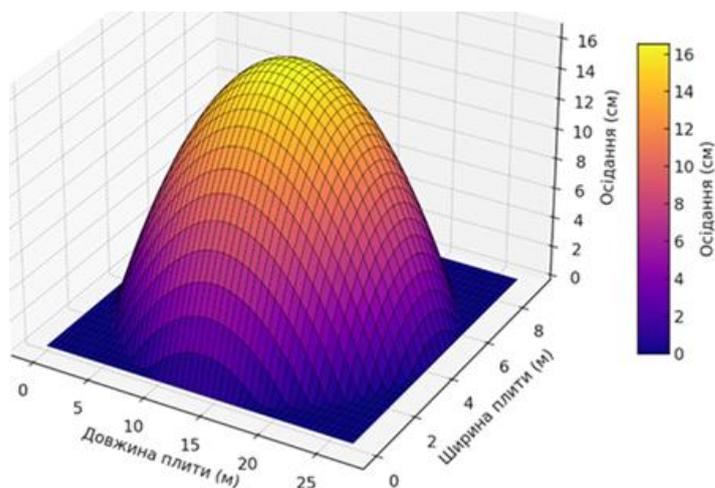


Рисунок 3.13 – 3D-поверхня, очікуване осідання на фундаментній плиті  $h=50$  см, на природних ґрунтах (згідно інженерних вишукувань на будівельному майданчику)

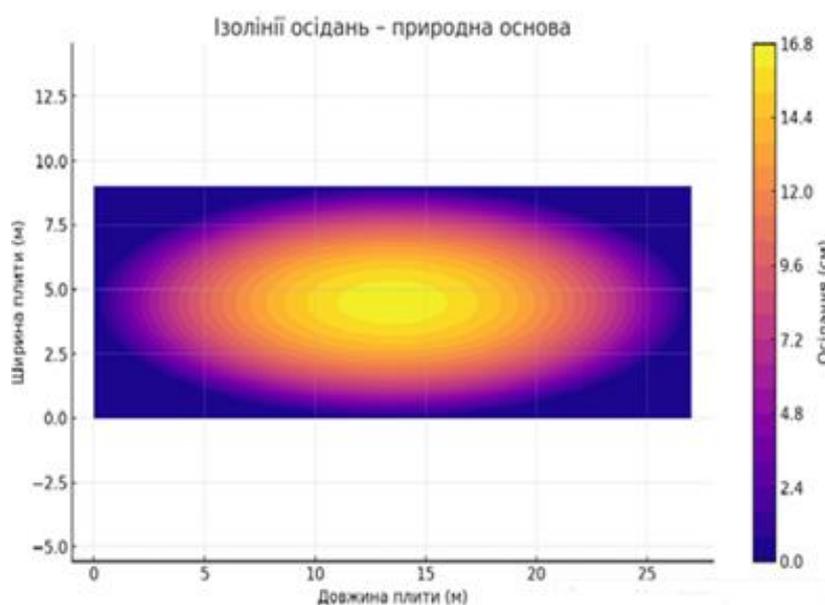


Рисунок 3.14 – Ізолінії осідань на фундаментній плиті  $h=50$  см, на природних ґрунтах (згідно інженерних вишукувань на будівельному майданчику)

Графік навантаження – осідання фундаментної плити (природна основа)

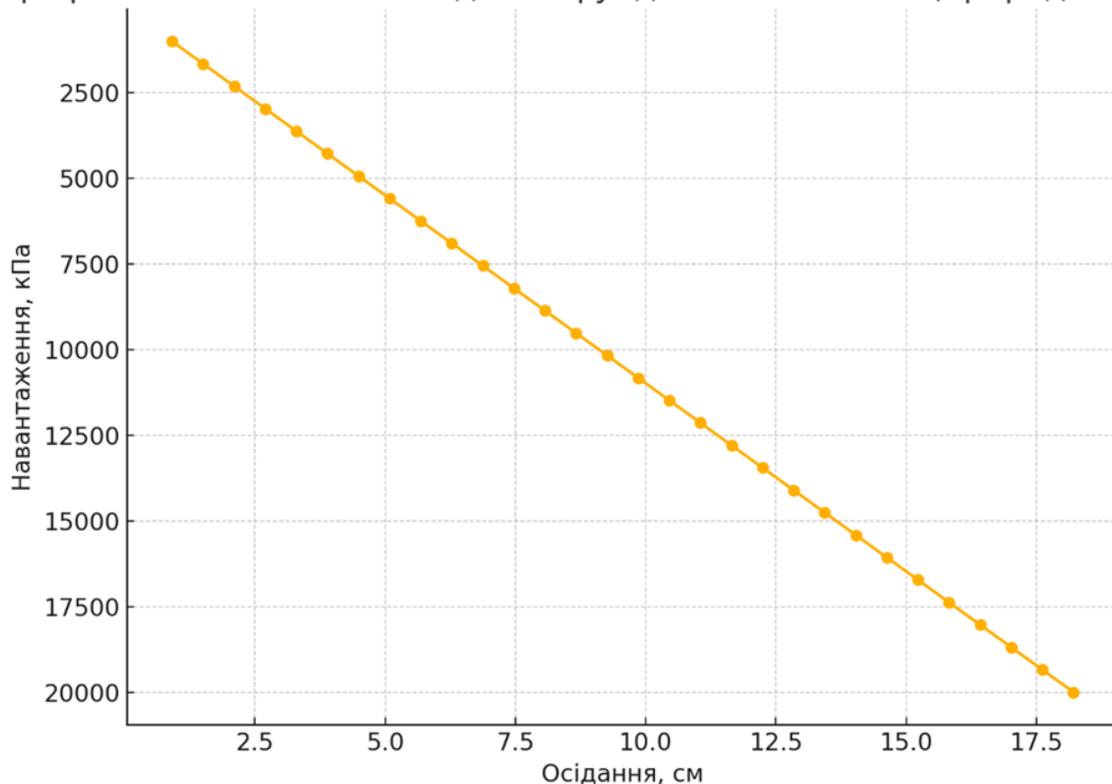


Рисунок 3.15 – Графік навантаження–осідання будівлі на фундаментній плиті  $h=50\text{см}$  на природних ґрунтах (згідно інженерних вишукувань на будівельному майданчику)

Це значно більше за допустиме значення, що свідчить про необхідність посилення основи, розглянемо варіант з заміною 1 м ґрунту безпосередньо під подошвою плити на чистий, мілкий пісок, з показниками:  $E=25\text{ МПа}$ ,  $\varphi=$ ,  $\rho=1,85\text{т/м}^3$ ;  $c=0$ ,  $\varphi=0,6283\text{ рад}$ , що дасть змогу підняти середньозважений модуль деформації до  $17520\text{ кПа}$  ( $E=17520\text{ кПа}$ ;  $\rho=1,806\text{т/м}^3$ ;  $c=12,06\text{ кПа}$ ;  $\varphi=0,3823\text{ рад}$ ). Осідання будівлі за розрахунком становитиме –  $10,19\text{см}$ , тобто майже в межах норми (рис. 3.16; рис. 3.17; рис. 3.18).

Розглянемо, ще декілька варіантів з метою визначення більш економічного варіанту. Замінемо 1 м ґрунту на відмітці низу фундаментної плити на щебнево-піщану суміш з показниками:  $E=40\text{ МПа}$ ;  $c=6\text{ кПа}$ ;  $\varphi=0,7\text{ рад}$ ;  $\rho=2\text{т/м}^3$ , фракції

10>d>2 мм. Середньозважені характеристики ґрунту в цьому випадку:  $E=21,95$  МПа;  $c=11,71$  кПа;  $\varphi=0,4389$  рад ( $25,15^\circ$ ). При висоті фундаментної плити 50см очікується осідання будівлі 7,52 см (рис. 3.19; рис. 3.20 рис. 3.21), дане значення в межах норми.

З точки зору прийняття більш економічного рішення, розглянемо варіант при зменшені висоти фундаментної плити до 30 см, очікувана величина осідання за даними розрахунку складає 5,64см (рис. 3.22; рис. 3.23 рис. 3.24).

3D-поверхня осідань - підсилення піском (1 м)

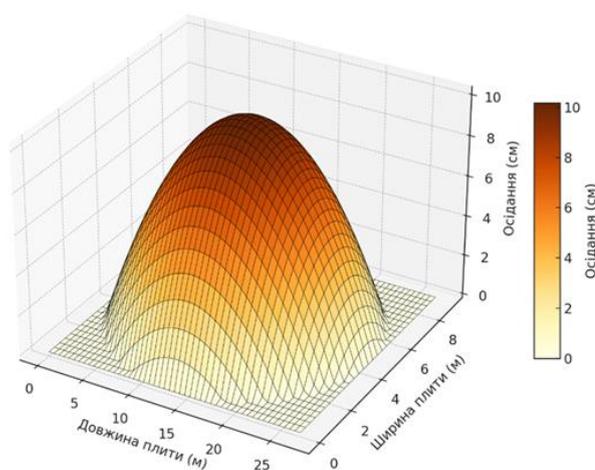


Рисунок 3.16 – 3D-поверхня, очікуване осідання на фундаментній плиті  $h=50$  см, при заміні 1м ґрунту мілким піском

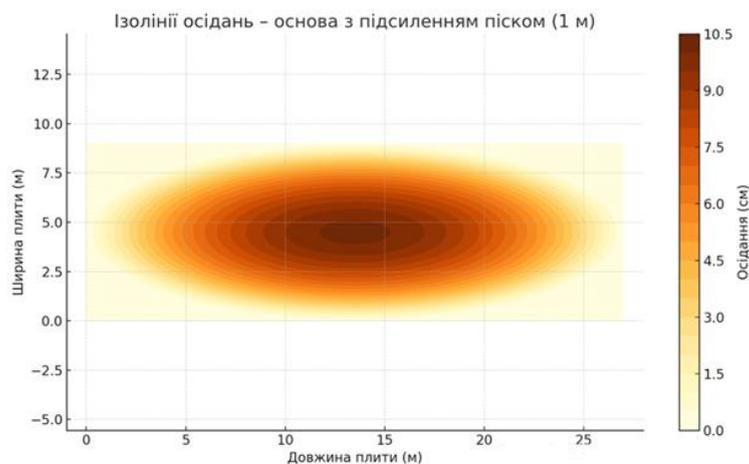
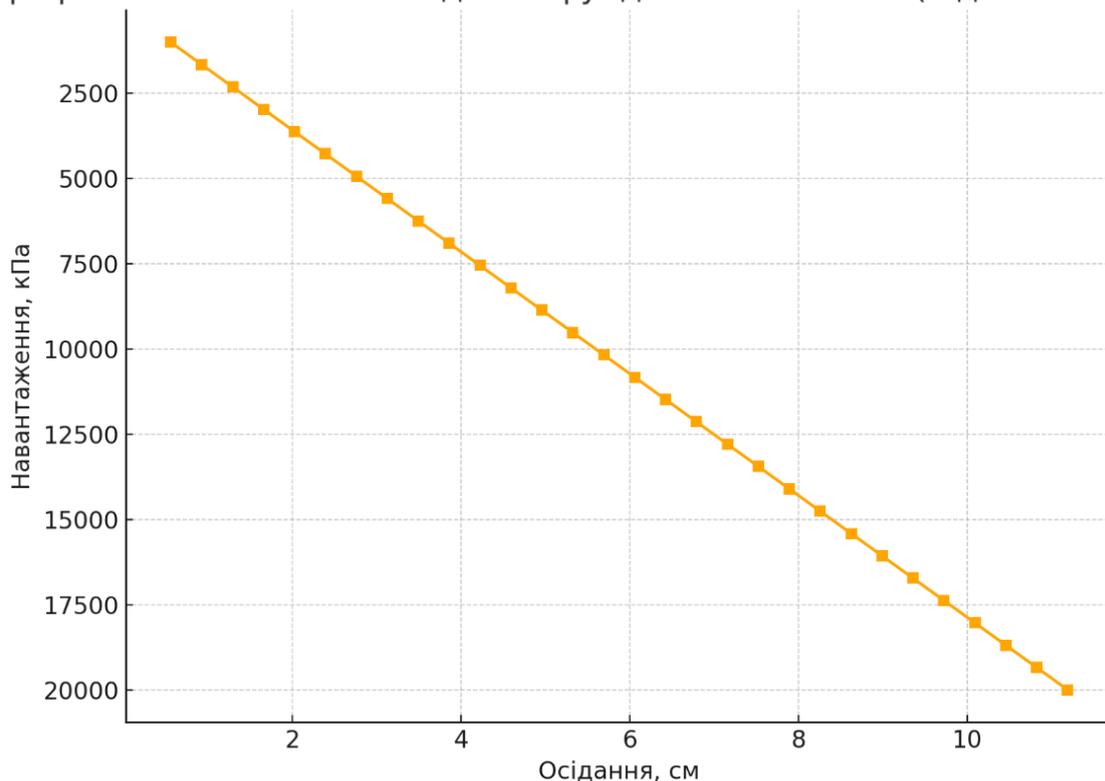
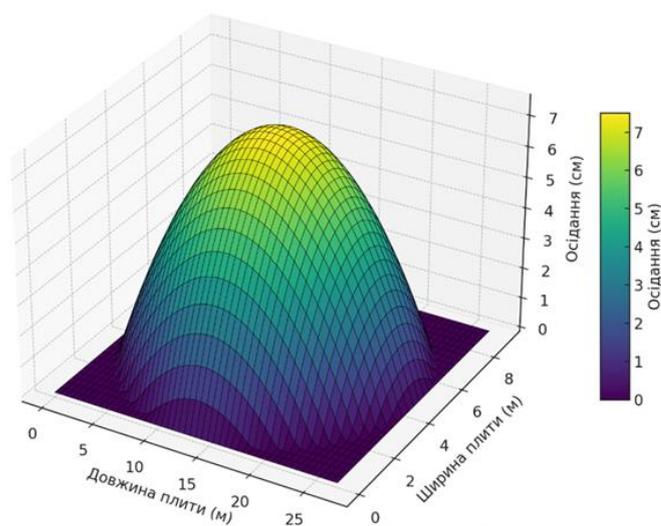


Рисунок 3.17 – Ізолінії осідань на фундаментній плиті  $h=50$  см, при заміні 1м ґрунту мілким піском

Графік навантаження – осідання фундаментної плити (підсилення піском)

Рисунок 3.18 – Графік навантаження–осідання будівлі на фундаментній плиті  $h=50$ см при заміні 1м ґрунту мілким піском

3D-поверхня осідань – підсилена основа

Рисунок 3.19 – 3D-поверхня, очікуване осідання на фундаментній плиті  $h=50$  см, при заміні 1м ґрунту на щебнево-піщану суміш

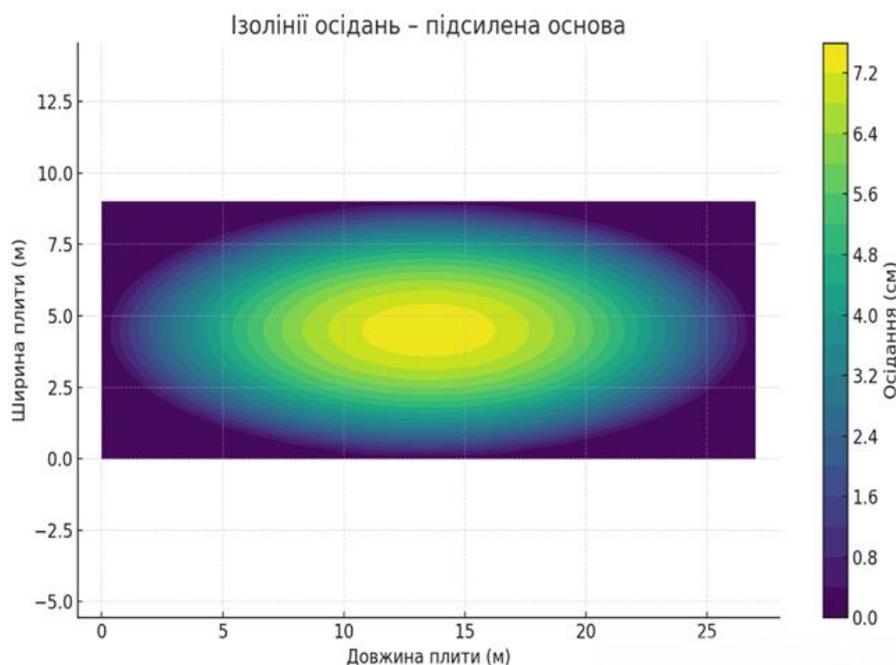


Рисунок 3.20 – Ізолінії осідань на фундаментній плиті  $h=50$  см, при заміні 1м ґрунту на щебнево-піщану суміш

Графік навантаження - осідання фундаментної плити (щебнево-піщана суміш)

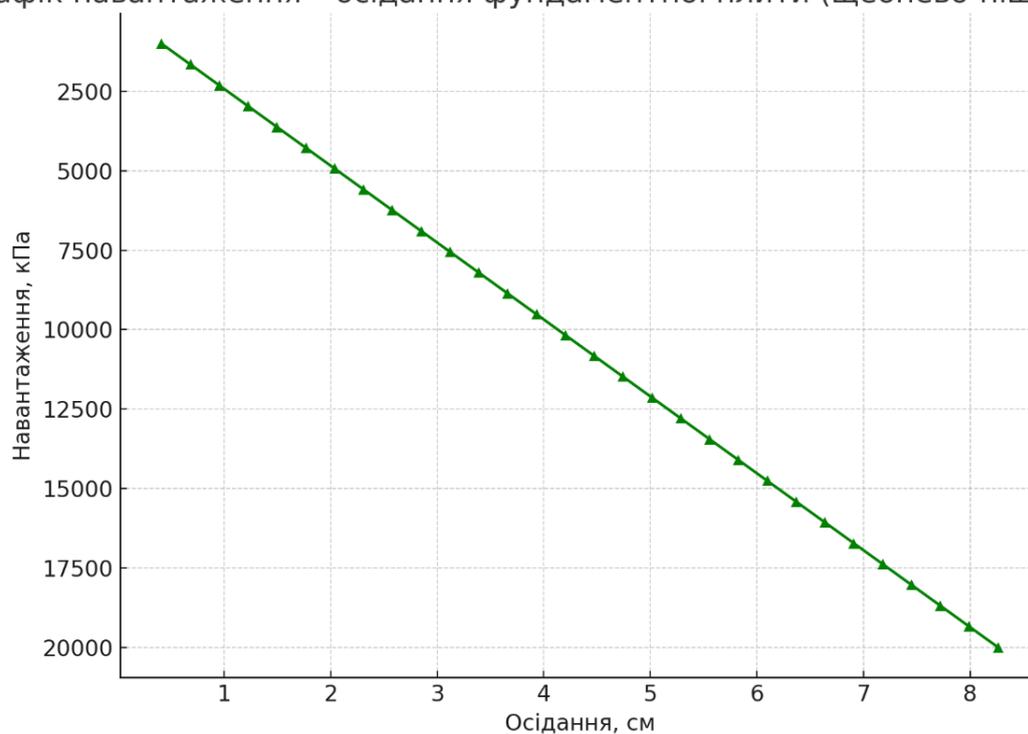


Рисунок 3.21 – Графік навантаження–осідання будівлі на фундаментній плиті  $h=50$ см при заміні 1м ґрунту на щебнево-піщану суміш

3D-поверхня осідань - плита 0.3 м + щебнево-піщана суміш (1 м)

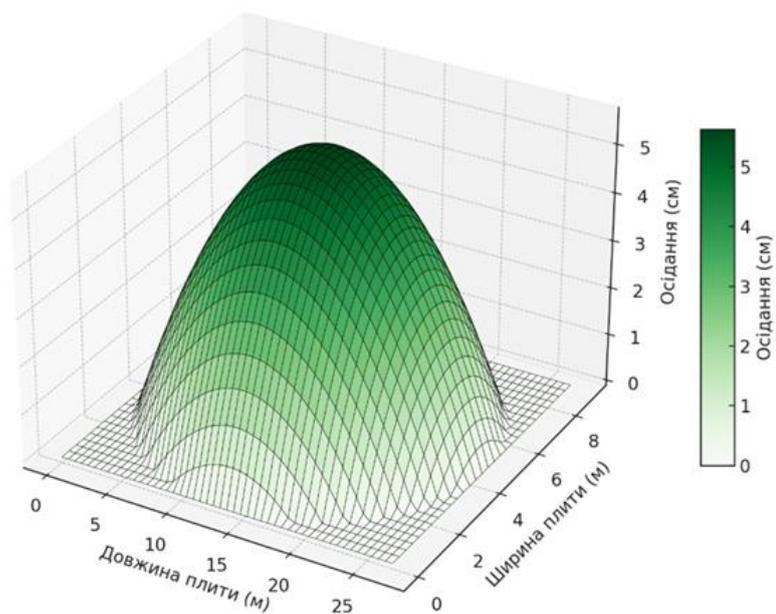


Рисунок 3.22 – 3D-поверхня, очікуване осідання на фундаментній плиті  $h=30$  см, при заміні 1м ґрунту на щебнево-піщану суміш

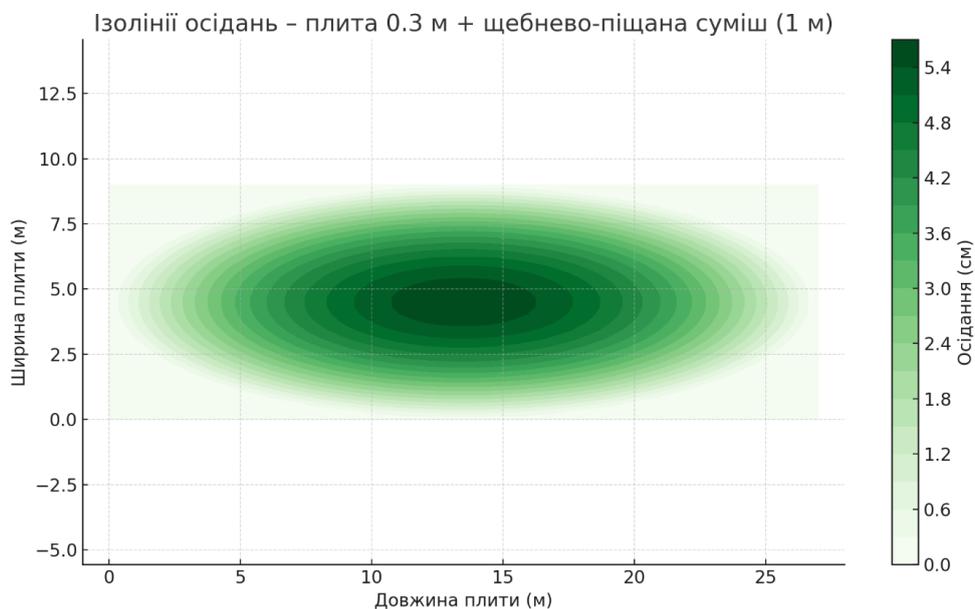


Рисунок 3.23 – Ізолінії осідань на фундаментній плиті  $h=30$  см, при заміні 1м ґрунту на щебнево-піщану суміш

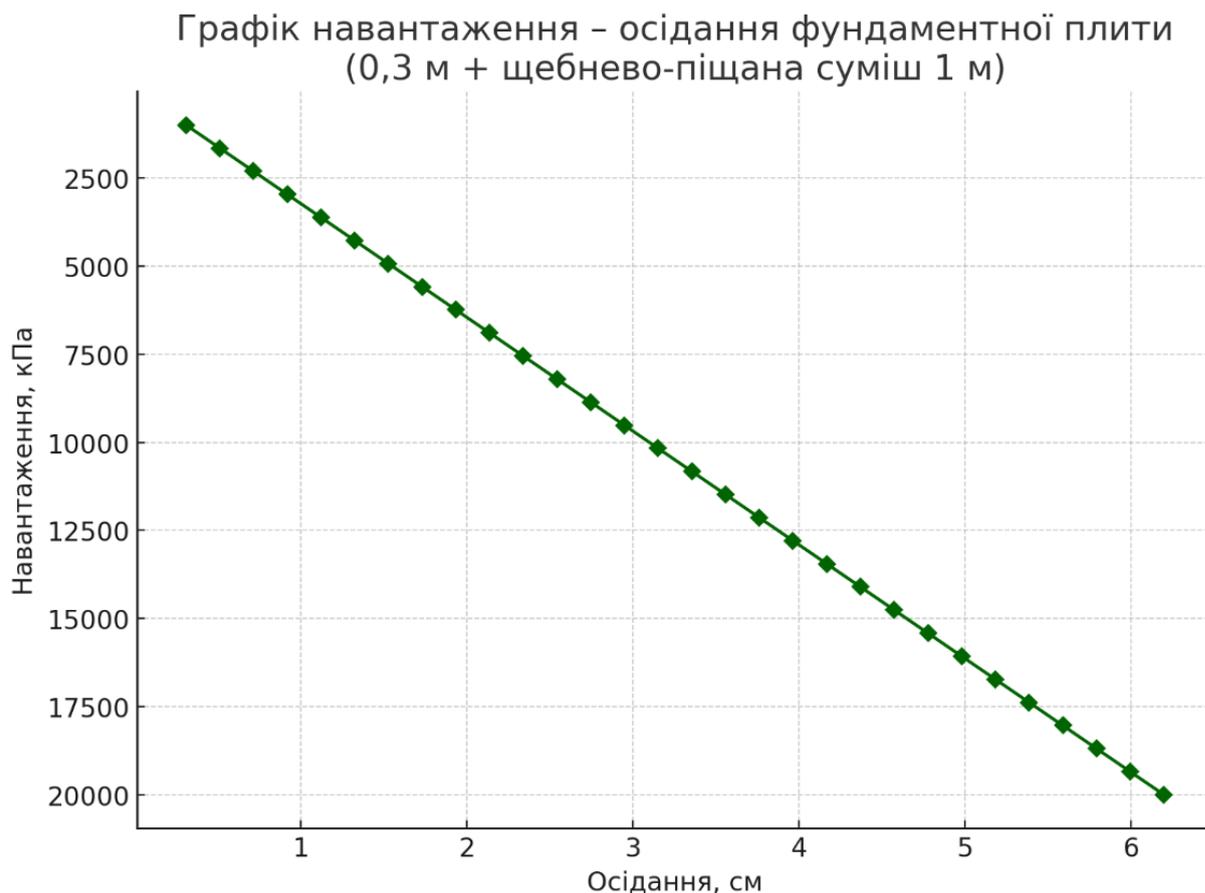


Рисунок 3.24 – Графік навантаження–осідання будівлі на фундаментній плиті  $h=30\text{см}$  при заміні 1м ґрунту на щебнево-піщану суміш

### Висновки з розділу 3

При діагностуванні наземної частини споруди краєва задача механіки замінювалась задачею знаходження мінімуму функціоналу (виразу повної потенціальної енергії роботи системи, потенціалу Лагранжа).

З метою оптимізації будівлі в цілому складено скінченно-елементну модель будівлі із комбінованих систем (стержнів, пластин) та досліджено особливості деформування цих комбінованих систем.

Пошук НДС будівлі здійснено за ПК «ЛІРА» – потужного комплексу скінченно-елементного аналізу конструкцій будівлі. «ЛІРА» - це система міцнісного аналізу на основі МСЕ.

Природна піддатливість ґрунту призводить до неминучості виникнення в ньому деформацій. Ці деформації на стадії проектування необхідно передбачити та звести до мінімуму можливість виникнення аварійної ситуації.

Розрахунок сучасної будівлі потрібно проводити з урахуванням найбільш суттєвих факторів, що визначають її НДС – фізичної нелінійності роботи основи. Основи розраховуються по II групі граничних станів, який має забезпечити нормальну експлуатацію будівлі, обмеженість осідань ( $s \leq s_d$ ). Трифазові ґрунти сприймають зовнішнє навантаження інакше, ніж суцільні тверді тіла.

Дослідження НДС підземної частини будівлі в МКР проведено у варіанті паль-стійок (згідно нормативних документів) та у вигляді фундаментної плити (за числовим МГЕ).

## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

#### 4.1 Архітектурно-будівельні рішення

Об'єкт будівництва: ресторан з баром, на три поверхи, який має цокольний поверх (підвал) з технічними приміщеннями, а також баром на 51 місце та два банкетних зала: 1-й поверх на 92 посадкових місця, 2-й поверх на 89 посадкових місць.

Згідно НК018-2023 «Класифікатор будівель та споруд», будівля класифікується за кодом 1211.5 – «Ресторани та бари» [17].

##### 4.1.1 Загальні дані об'єкта будівництва:

- каркасн-монолітна будівля на три поверхи, з підвалом;
- міжповерхове перекриття: монолітне: 400мм;
- несучі конструкції: колони та поздовжні, поперечні стіни;
- дах комбінований: частково плоский з ухилом 10%, неексплуатований, покрівля – інверсійна з облаштованою системою обігріву даху та водостоків. Дах башти конусоподібної форми;
- термін експлуатації житлового будинку становить 100 років;
- загальний розмір будівлі становить: 30м x 25м та має складну форму будівництва (рис. 4.1);
- загальна висота: 12,8 м;
- умовна висота: 11,7 м;
- висота поверху, від підлоги до стелі: 3,5 м. ДБН В.2.2-25:2009 [27];
- клас відповідальності: СС2. ДСТУ 8855:2019 [18];
- вогнестійкість: II ступінь. ДБН В.2.2-9:2018 [24]; ДБН В.2.2-25:2009 [27];
- архітектурно-будівельний район: I північно-західний. ДСТУ-Н Б В.1.1-2 [19];

- клімат: помірно континентальний. ДСТУ-Н Б В.1.1-2 [19];
- вітрове навантаження становить: 470 Па. ДБН В.1.2-2:2006 [7];
- нормативне снігове навантаження: 1360 Па. ДБН В.1.2-2:2006 [7];
- розрахункова сейсмічність: до 6 балів. ДБН В.1.1-12:2014 [9];
- розрахункова літня температура: +27 0С. ДБН В.1.2-2:2006 [7];
- розрахункова зимова температура: -21 0С. ДБН В.1.2-2:2006 [7];
- глибина промерзання ґрунту в зимовий період року: 0,9 м. ДСТУ-Н Б В.1.1-2 [19];
- тривалість опалюваного сезону становить— 189 діб. ДСТУ-Н Б В.1.1-2 [19];
- земельна ділянка забудови знаходиться в м.Вінниця в житловій зоні;
- рельєф ділянки спокійний;
- ґрунтові води на глибині – 3,5м÷3.6м;

#### 4.1.2 Характеристика функціонального призначення будівлі

Ресторан – заклад з різноманітним асортиментом продукції власного виробництва і закупних товарів, високим рівнем обслуговування і комфорту у поєднанні з організуванням відпочинку і дозвілля споживачів [28].

Проектуванні ресторанів та барів згідно з вимог: ДБН В.1.2-2, ДБН В.1.2-14, ДБН В.2.1-10, ДСТУ Б В.1.2-3 [27].

Заклади харчування на 100 і більше посадкових місць, доцільно розміщувати: у громадських та торговельно-розважальних центрах, уздовж магістральних вулиць і площ, поблизу зупинок громадського транспорту, станцій метро, вокзалів та в інших місцях з інтенсивним пішохідним потоком, а також на територіях рекреаційного призначення.. Загальна кількість посадкових місць в запроєктованому варіанті — 232 місця.

Будівля має дві функціональні груп приміщень:

- а) призначених для обслуговування відвідувачів;
- б) призначених для виготовлення кулінарної продукції;

в) адміністративного характеру.

Будівля ресторану, має технічний поверх (підвал), на якому розташоване інженерне обладнання, таких комунікаційних систем:

- котельня;
- електрощитова;
- бойлерна;
- складські приміщення.

Під час перевірок державні інспектори перевіряють також і стан приміщення на відповідність його, наприклад:

Територія закладу та приміщення, обладнані у відповідності до вимог пожежної безпеки, автоматизованою системою протипожежного захисту, а також первинними засобами пожежогасіння.

Експлікацію приміщень закладу, наведено з таблиці 4.1 по таблицю 4.4.

Таблиця 4.1 – Експлікація підвальних приміщень

№ з/п	Назва	Площа
1	Котельня	29,2 м <sup>2</sup>
2	Бойлерна	19,2 м <sup>2</sup>
3	Електрощитова	24,0 м <sup>2</sup>
4	Погріб для зберігання овочів та фруктів	51,4 м <sup>2</sup>
5	Винна кімната	17,9 м <sup>2</sup>
6	Складські приміщення	38,3 м <sup>2</sup>
7	Сходишковий мраш	10,2 м <sup>2</sup>
8	Гвинтові сходи (башта)	10,8 м <sup>2</sup>
9	Коридор	80,5 м <sup>2</sup>
Всього:		281,5 м <sup>2</sup>

Таблиця 4.2 – Експлікація приміщень 1 поверху

№ з/п	Назва	Площа
1	Сходинковий мраш	10,2 м2
2	Гвинтові сходи (башта)	10,8 м2
3	Коридор	79,4 м2
4	Санвузол	15,6 м2
5	Ресепшен	7,7 м2
6	Кімната охорони	8,5 м2
7	Гардероб	28,0 м2
8	Офісне приміщення	18,6 м2
9	Комора для інвентаря	2,7 м2
10	Фоє / Бар	102,1 м2
Всього:		283,6 м2

Таблиця 4.3 – Експлікація приміщень 2 поверху

№ з/п	Назва	Площа
1	Сходинковий мраш	10,2 м2
2	Гвинтові сходи (башта)	10,8 м2
3	Коридор	47,7 м2
4	Санвузол	11,1 м2
5	Комора для інвентаря	5,0 м2
6	Кухня	56,6 м2
7	Банкетна зала	184,0 м2
8	Балкон	3,2 м2
Всього:		328,9 м2

Таблиця 4.4 – Експлікація приміщень 3 поверху

Номер	Назва	Площа
1	Сходишковий мраш	10,2 м2
2	Гвинтові сходи (башта)	10,8 м2
3	Банкетна зала	176,9 м2
Всього:		197,9 м2

#### 4.1.3 Архітектурно-планувальне рішення майданчику будівництва. Генплан

Територія будівництва (рис. 4.1) має доволі рівномірну форму з незначними перепадами висот. Поряд з будмайданчиком проходять існуючі комунікаційні мережі міста: електро-, газо-, водопостачання, що дозволить з незначними витратами підключити будівлю, що проєктується до інженерних систем.

#### Генплан в межах забудови

#### Умовні позначення



-  - будівля, що проєктується
-  - прибудинкова територія, що проєктується
-  - покриття майданчику "прес-бетоном" (нове будівництво)
-  - озеленення (нове будівництво)
-  - дорожнє полотно
-  - існуючі забудови
-  - озеленення (існуюче)
-  - існуюча прибудинкова територія
-  - квітник (нове будівництво)
-  - парковка на 12 парко-місць (нове будівництво)
-  - парковка для людей інклюзивними особливостями (нове будівництво)

-  - укріптя закопаного типу
-  - декоративна туя (нове будівництво)
-  - трояндвий куц (нове будівництво)

Рисунок 4.1 – Генплан. Умовне позначення+

Ресторан планується розмістити на ділянці з літньою терасою, озелененням (клумби, дерева, газони), під'їздом, стоянкою на 12 авто та пішохідними доріжками.

Навколо будівлі влаштовується покриття з прес-бетону (декоративно - друкарський бетон). Дане покриття дозволяє за допомогою спеціальних штампів, отримати узорну бруківку з імітацією: дикого каменю, цегляної кладки, дошки і багато інших. Широка кольорова палітра і великий вибір візерунків дозволяє підібрати покриття до будь-якого інтер'єру (рис. 4.2).

Декоративний бетон, має високу міцність і довговічність, гарну гідроізоляцією та морозостійкий, досить стійкий до агресивних середовищ, також багато в чому перевершує дорожні покриття з асфальту та плитки.



Рисунок 4.2 – Покриття з прес-бетону з імітацією дикого каменю

Також, в межах доступності, заплановано окремо побудоване, закопаного виконання, найпростіше укриття сидячого типу з лавами на 252 особи (232 посадкових місць та 20 чоловік обслуговуючий персонал). Розміри визначаються відповідно до норм площі на 1 людину відповідно вимог ДБН В.2.2-5:2023, тобто  $0,5 \text{ м}^2$  на особу, варіант компоновки – компактний з лавами,  $14 \times 9 \text{ м}$  площею  $126 \text{ м}^2$  (рис. 4.3). Застосування в мирний час, як складське приміщення.

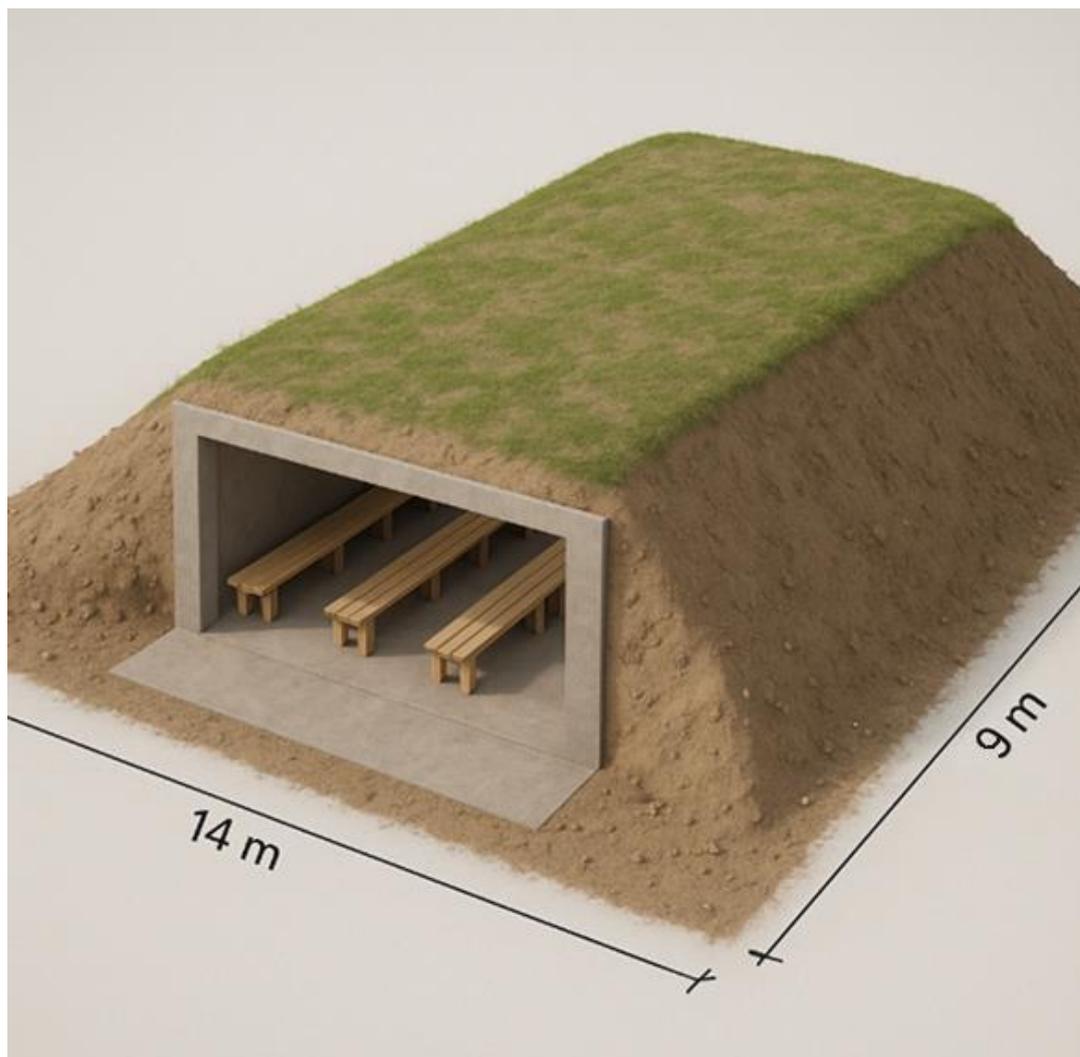


Рисунок 4.3 – Найпростіше укриття сидячого типу з лавами

## 4.2 Об'ємно-планувальні рішення

Конструктивна схема: каркасно-монолітна конструкція, з системи несучих елементів будівлі. Каркас – монолітно-залізобетонний, який сприймає основні навантаження. Основні елементи конструктивної схеми:

1. Колони квадратні 2,1х2,1м: монолітно-залізобетонного, виконання з бетону класу М350 (В25) та армокаркасу з арматури класу А500С та А240С. Вертикальні несучі елементи, що передають навантаження від перекриттів до фундаменту. Горизонтальні елементи, що з'єднують колони між собою та підтримують плити перекриття.
2. Плити перекриття, монолітно-залізобетонної конструкції товщиною 400 мм, утворюють міжповерхові перекриття і забезпечують просторову жорсткість. Вертикальні стрижневі та стінові конструкції, сходові клітки, забезпечують опір горизонтальним навантаженням (вітер, сейсміка).
1. Фундамент: пальовий з монолітно-залізобетонний з забивними палями СЗ-30 (ГОСТ 19804.1-79) суцільного квадратного перетину 300х300мм та ростверком під колони, який передає навантаження від надземної частини на ґрунт.

Типи схеми: Безбалочна (плита напряму на колони), що спрощує монтаж і розташування інженерних мереж. Каркас із колонами виконують функцію просторового стабілізатора. Переваги такої схеми гнучкість у плануванні приміщень та можливість зведення багатоповерхових будівель. А також економічно ефективно використання матеріалів.

Стіни підвалу оброблено вертикальною гідроізоляцією та утепленні по периметру екструдованим пінополістиролом – 100 мм, з врахуванням глибини промерзання ґрунту.

Сходова клітина типу Н-1. Поручні сходів металеві з дерев'яним обрамленням.

Дах: комбінований, частково плаский з ухилом 10% з приміненням мембранної системи; покрівля башти має конічну форму задля естетичний вигляду з імітацією черепиці. Покрівля неексплуатована, інверсійна з облаштованою системою обігріву даху та водостоків.

#### 4.3 Інженерні рішення

Опалення та обігрів води – від власної газифікованої мінікотельні з бойлером на цокольному поверсі, з підключенням до існуючих мереж міста.

Каналізація та водопостачання – міські мережі.

Електроживлення ресторану відноситься до III категорії електроприймачів. Відповідно проєкта: електрощитова – закритого типу, розміщена на цокольному поверсі, з доступом тільки для обслуговуючого електротехнічного персоналу. Електроживлення ресторану від існуючих електромереж постачальників міста.

Вентиляція та кондиціонування розраховано спираючись на обумовлену кількість посадкових місць 232, повітрообмін мінімум 30 м<sup>3</sup>/год. на одного відвідувача.

Інклюзивність: відповідно до ДБН В.2.2-40:2018, щодо забезпечення доступності будівель та споруд, ресторан та прибудинкова територія облаштована: пандусами, доступними парковими місцями, а також відведені спеціалізовані місця у загальних туалетах.

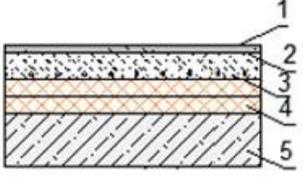
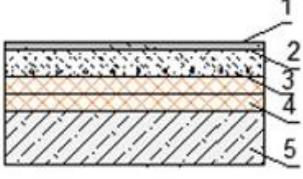
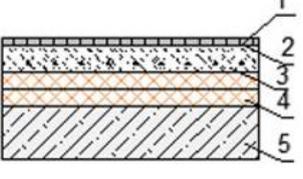
#### 4.4 Експлікація підлоги

При будівництві ресторану потрібно виконати оздоблювальні роботи приміщень зокрема підлоги, матеріал підбирається у відповідності до функціонального призначення. Відмітка чистої підлоги першого поверху прийнята за відносну відмітку 0,000. У таблиці 4.5 наведена експлікація підлоги приміщень.

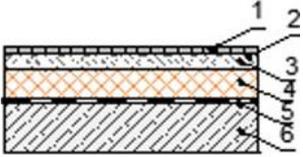
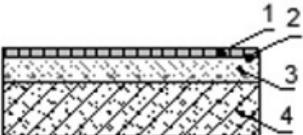
Таблиця 4.5 Експлікація підлоги

Тип приміщення	Тип	Схема підлоги або тип підлоги за серією	Дані елементів підлоги	Площа, м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5
Цокольний поверх: - котельня - бойлерна - електрощитова - погріб для овочів - винна кімната - складські приміщення - коридор	1		1. Плитка керамічна для підлог. - 10 мм 2. Ceresit CM-11 (клей для плитки) - 5мм 3. Керамзитобетон, клас густини 1,0 - 185 мм 4. Гідроізоляція - два шари гідроізолу на бітумній мастиці - 3 мм 5. Монолітний з/б плитний ростверк. бетон кл. 25/30 - 400 мм 6. Втрамбований ґрунт (глина) 1,8 т/кг <sup>2</sup>	260,5 м <sup>2</sup>
Сходова клітка	2		1. Керамічна плитка для підлог - 10 мм; 2. Ceresit CM-11 (клей для плитки) - 5 мм; 3. Захисна цементно-піщана стяжка М 150 50 мм; 4. Монолітне перекриття - 400 мм	84 м <sup>2</sup>

Продовження таблиці 4.5

1	2	3	4	5
офіс (1пов.)  кімната охорони  (1пов)	3		<p>1. Лінолеум - 3 мм; 2. Прошарок з холодної мастики на водостійких в'язучих - 1,5 мм; 3. Захисна цементно-піщана стяжка М 150 - 50 мм; 4. Звукоізоляція - плити STROPROCK - 40 мм; 5. Монолітне перекриття - 400 мм</p>	27,1 м <sup>2</sup>
Банкетні зали  (1пов.; 2пов.)  Фос/бар (1пов)	4		<p>1. Паркет. дошка 12мм; 2. Прошарок з холодної мастики на водостійких в'язучих - 1,5 мм; 3. Захисна цементно-піщана стяжка М 150 - 50 мм; 4. Звукоізоляція - плити STROPROCK - 40 мм; 5. Монолітне перекриття - 400 мм</p>	463 м <sup>2</sup>
Санвузли, комори та кухня	5		<p>1. Керамічна плитка для підлог - 10 мм; 2. Ceresit CM-11 (клей для плитки) - 5 мм; 3. Захисна цементно-піщана стяжка М 150 - 50 мм; 4. Звукоізоляція - плити STROPROCK - 40 мм; 5. Монолітне перекриття - 400мм</p>	91 м <sup>2</sup>

## Продовження таблиці 4.5

1	2	3	4	5
<p>Коридори (1пов. та 2пов.)</p> <p>ресепшен (1пов.)</p> <p>гардероб (1пов.)</p>	6		<p>1. Керамічна плитка для підлог - 10 мм;</p> <p>2. Ceresit CM-11 (клей для плитки) - 5 мм;</p> <p>3. Захисна цементно-піщана стяжка М 150 - 40 мм;</p> <p>4. Теплоізоляція - плити ROCKWOOL MONROCK MAX -155 мм;</p> <p>5. Пароізоляція - шар рубероїду набітумній мастиці - 3мм;</p> <p>5. Монолітне перекриття - 400 мм</p>	162,8 м <sup>2</sup>
Балкон (2 пов.)	7		<p>1. Керамічна плитка для підлог - 10 мм;</p> <p>2. Ceresit CM-11 (клей для плитки) - 5 мм;</p> <p>3. Захисна цементно-піщана стяжка М 150 - 50 мм;</p> <p>4. Монолітна З/б плита - 400 мм</p>	3,2 м <sup>2</sup>

## 4.5 Зовнішнє опорядження будівлі

Фасади: бокові і задні фасади з вікнами, аварійними виходами. Зовнішнє оздоблення: вентиляований фасад з декоративною штукатуркою та структурні фасади з архітектурно-будівельного скла (рис. 4.3). Таке оздоблення дозволить з вирішенням таких проблем, як енергоефективність.



Рисунок 4.3 – Фасад з архітектурно-будівельного скла

#### 4.6 Дверні та віконні прорізи

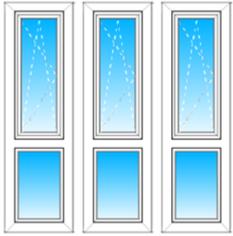
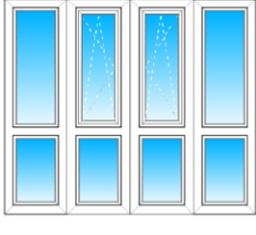
В МКР запроєктовано склопакети з енергозберігаючим склом в кожену віконну конструкцію. Теплопровідність додатково знижується завдяки використанню інертного газу аргона. Застосування таких вікон сприяє збереженню й акумулюванню енергії, що, в свою чергу дозволяє зменшити тепловтрати та скоротити витрати на опалення, детальніше структуру склопакету зображено на рисунку 4.4.

#### Потрійне скління



Рисунок 4.4 – Склопакет з енергозберігаючим склом

Таблиця 4.6 Специфікація вікон та дверей

Поз.	Ескізне зображення	Найменування	Розміри. мм	Кількість
1	2	3	4	5
В-1		Вікно металопластикове	3000x1000	12
В-2		Французький Балкон	3000x2000	1
В-3		Блок вікон металопластикових	3000x3000	9
В-4		Французький Балкон	3000x3260	4
Д-1		Двері зовнішні двостворчасті	3000x2000	1

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5
Д-2		двері прихованого монтажу	3000x1000	11
Д-3		двері прихованого монтажу	3000x800	9
Д-4		Двері маятникові двостулкові	2000x2000	1

#### Висновки за розділом 4

У технічному розділі магістерської кваліфікаційної роботи представлено комплексне архітектурно-будівельне рішення ресторанного закладу на три поверхи з підвалом в місті Вінниця. Ці рішення відповідають стадії «Проект» і призначені для практичного впровадження результатів наукових досліджень на прикладі конкретного об'єкта.

У проєкті будівля спроектована з урахуванням нормативних вимог, щодо безпеки, довговічності та енергоефективності. Загальна висота – 12,8 м; кількість посадкових місць – 232.

## РОЗДІЛ 5

### ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

В МКР проведено дослідження НДС підземної частини будівлі, на прикладі декількох варіантів будівництва фундаменту будинку. Для порівняльного аналізу, як більш економічно-доцільного варіанту, розглянуто два різновиди конструкції виконання:

- варіант №1 (рис. 5.1). Пальовий фундамент з залізобетонними забивними палями СЗ-30.
- варіант №2 (рис. 5.2). Плитний фундамент, з підсилення основи за допомогою заміни 1 м існуючого ґрунту на гравійний піщаний ґрунт, на відмітці низу фундаментної плити.

При порівнянні двох варіантів, приймається умова про однакові вихідні дані стосовно: експлуатації, навколишнього середовища, рівня вологості, хімічно шкідливого та екологічного впливів, а також конструкції та матеріалів будівництва будівлі цілком, окрім частини, що стосується зведення фундаментів.

Висновки, щодо вибору одного з конструктивів, буде виконано після визначення кошторисної вартості будівництва фрагменту фундаменту будівлі обмеженої осями «3'» - «7'» та «А» - «В» (рис. 5.1; рис. 5.2).

Різниця результатів складатиме економічний ефект, який покаже раціональність та доцільність в використанні комплексного застосування МСЕ та МГЕ до числового моделювання системи «наземна споруда – фундамент – основа» ще на стадії проектування.

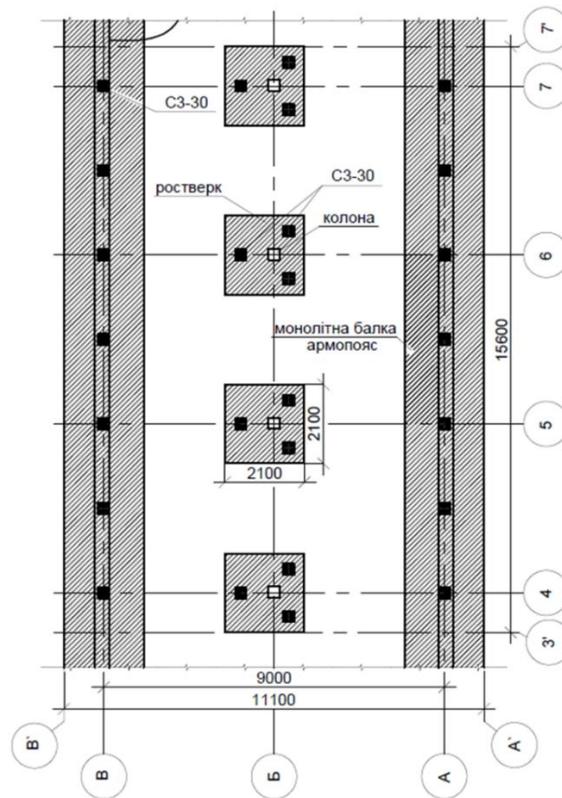


Рисунок 5.1 – Фрагмент плану улаштування пальового фундаменту

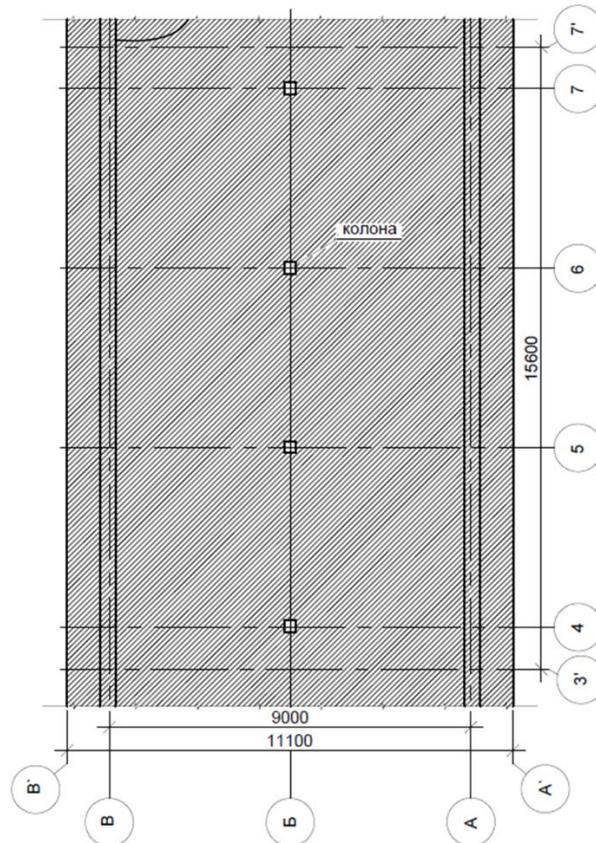


Рисунок 5.2 – Фрагмент плану улаштування монолітного плитного фундаменту

Об'єм робіт та обсяги матеріалів з улаштування досліджувальних варіантів фундаментів наведено в таблиці 5.1

Локальні кошторисні документи (форма №4) сформовано за допомогою програмного комплексу «АВК-5» (таблиця 5.2; таблиця 5.3), на підставі діючих нормативних документів:

1. «Кошторисні норми України. Настанова з визначення вартості будівництва. З урахуванням Змін № 1, № 2, № 3, № 4».
2. «Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи» (КНУ РЕКНБ).

Таблиця 5.1 – Відомість обсягу робіт та матеріалів з улаштування фундаментів

№ з/п	Найменування робіт і витрат	Од. виміру	Кількість
1	2	3	4
<b>Варіант №1. Пальовий фундамент</b>			
1.1 Фундамент з 3-х паль С3-30 під колони (4шт.) по осі «Б»			
1	Розробка ґрунту 2групи	м <sup>3</sup>	11,52
2	Заглиблення залізобетонних паль довжиною до 6 м у ґрунті групи 2	м <sup>3</sup>	3,24
3	Палі марки С3-30 ГОСТ 19804.1-79	м	36
4	Улаштування бетонної підготовки	м <sup>3</sup>	2,3
5	Виготовлення металевого каркасу	т	0,56
6	Арматура:	кг	
	16Ø А500С (А-III)		180,97
	14Ø А500С (А-III)		230,84
	12Ø А240С (А-I)		55,21
	10Ø А240С (А-I)		94,08

Продовження таблиці 5.1.

1	2	3	4
7	Улаштування бетонних фундаментів з бетону класу М350(В25)	м <sup>3</sup>	7,056
8	Зворотня засипка пазух котловану	м <sup>3</sup>	2,16
9	Ущільнення ґрунту в пазухах котловану	м <sup>3</sup>	2,16
<b>1.2 Фундамент з 14 паль С3-30 під стіни по осях «А» та «В»</b>			
10	Розробка ґрунту 2групи	м <sup>3</sup>	37,44
11	Заглиблення залізобетонних паль довжиною до 6 м у ґрунти групи 2	м <sup>3</sup>	3,78
12	Палі марки С3-30 ГОСТ 19804.1-79	м	42
13	Улаштування бетонної підготовки	м <sup>3</sup>	7,488
14	Виготовлення металевого каркасу	т	2,08
15	Арматура: 16Ø А500С (А-III) 14Ø А500С (А-III) 12Ø А240С (А-I) 10Ø А240С (А-I)	кг	672,1 857,42 205,05 349,44
16	Улаштування бетонних фундаментів з бетону класу М350(В25)	м <sup>3</sup>	26,208
17	Зворотня засипка пазух котловану	м <sup>3</sup>	3,744
18	Ущільнення ґрунту в пазухах котловану	м <sup>3</sup>	3,744
<b>Варіант №2. Плитний фундамент</b>			
19	Розробка ґрунту 2групи	м <sup>3</sup>	255,528

Продовження таблиці 5.1.

1	2	3	4
20	Щебенево-піщана суміш (розробка, виготовлення, перевезення)	м <sup>3</sup>	182,52
21	Улаштування вирівнювального шару 1м з щебенево-піщаної суміші	м <sup>3</sup>	182,52
22	Ущільнення та трамбівка ґрунту з щебенево-піщаної суміші	м <sup>3</sup>	182,52
23	Улаштування фундаментних залізобетонних плоских плит з бетону класу М350(В25) (бетонна підготовка включена в розцінку)	м <sup>3</sup>	51,948
24	Виготовлення металевого каркасу армування	т	5,51
25	Арматура: 16Ø А500С (А-III) 14Ø А500С (А-III) 12Ø А240С (А-I) 10 Ø А240С (А-I)	кг	1776,49 2266,04 541,93 923,52
26	Зворотня засипка пазух котловану	м <sup>3</sup>	2,808
27	Ущільнення ґрунту в пазухах котловану	м <sup>3</sup>	2,808

Таблиця 5.2

**Локальний кошторис на будівельні роботи №02-02-01**  
**на Пальові фундаменти.**  
**Варіант 1 . Пальові фундаменти.**

Основа:  
креслення (специфікації ) №

Кошторисна вартість 117593,801 тис. грн.  
 Кошторисна трудомісткість 0,84979 тис.люд.год.  
 Кошторисна заробітна плата 70,952 тис. грн.  
 Середній розряд робіт 3,6 розряд

Складений за поточними цінами станом на "15 лютого" 2024 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
					на одиницю	всього					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ1-17-2	1.1 Фундаменти з 3-х паль С3-30 під колонни (4шт) по осі "Б" Розроблення ґрунту з навантаженням на автомобілі-самоскиди екскаваторами одноковшовими дизельними на гусеничному ходу з ковшом місткістю 1 [1-1,2] м3, група ґрунтів 2	1000м3	0,01152	<u>33588,08</u> 760,10	<u>32783,23</u> 7742,14	387	9	<u>378</u> 89	<u>11,7300</u> 83,1300	<u>0,14</u> 0,96
2	КБ5-3-2	Заглиблення дизель-молотом на гусеничному копрі залізобетонних паль довжиною до 6 м у ґрунти групи 2	м3	3,24	<u>4203,38</u> 448,04	<u>3471,47</u> 494,69	13619	1452	<u>11248</u> 1603	<u>5,6400</u> 4,9610	<u>18,27</u> 16,07
3	С1411-136	Палі квадратного та прямокутного перерізу суцільні та з круглою порожниною, довжина до 8 м, периметр боків 1001-1200 мм	м	36	<u>869,73</u> -	-	31310	-	-	-	-
4	КБ6-1-1	Улаштування бетонної підготовки	100м3	0,02	<u>390031,37</u> 10244,59	<u>2455,11</u> 960,47	7801	205	<u>49</u> 19	<u>150,7000</u> 10,6641	<u>3,01</u> 0,21
5	КБ9-75-2	Виготовлення металевого каркасу	т	0,56	<u>20406,51</u> 13812,48	<u>5566,14</u> 371,50	11428	7735	<u>3117</u> 208	<u>176,0000</u> 4,1760	<u>98,56</u> 2,34

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	C124-24	Гарячекатана арматурна сталь періодичного профілю, клас А-III, діаметр 16-18 мм	т	180,97	<u>45006,59</u> -	-	8144843	-	-	-	-
7	C124-23	Гарячекатана арматурна сталь періодичного профілю, клас А-III, діаметр 14 мм	т	230,84	<u>46742,45</u> -	-	10790027	-	-	-	-
8	C124-4	Гарячекатана арматурна сталь гладка, клас А-1, діаметр 12 мм	т	55,21	<u>41931,10</u> -	-	2315016	-	-	-	-
9	C124-3	Гарячекатана арматурна сталь гладка, клас А-1, діаметр 10 мм	т	94,08	<u>43001,22</u> -	-	4045555	-	-	-	-
10	КБ6-1-2	Улаштування бетонних фундаментів загального призначення під колони об'ємом до 3 м3	100м3	0,07056	<u>446070,48</u> 36590,40	<u>9709,56</u> 3791,28	31475	2582	<u>685</u> 268	<u>495,0000</u> 42,1083	<u>34,93</u> 2,97
11	КБ1-166-1	Засипка вручну траншей, пазах котлованів і ям, група ґрунтів 1	100м3	0,0216	<u>9388,08</u> 9388,08	-	203	203	-	150,4500	3,25
12	КБ1-134-1	Ущільнення ґрунту пневматичними трамбівками, група ґрунтів 1, 2 1.2 Фундаменти з 14 паль С3-30 під стіни в осях "А" та "В".	100м3	0,0216	<u>2677,37</u> 1306,50	<u>1370,87</u> 401,61	58	28	<u>30</u> 9	<u>18,3600</u> 5,1175	<u>0,4</u> 0,11
13	КБ1-17-2	Розроблення ґрунту з навантаженням на автомобілі-самоскиди екскаваторами одноковшовими дизельними на гусеничному ході з ковшом місткістю 1 [1-1,2] м3, група ґрунтів 2	1000м3	0,03744	<u>33588,08</u> 760,10	<u>32783,23</u> 7742,14	1258	28	<u>1227</u> 290	<u>11,7300</u> 83,1300	<u>0,44</u> 3,11
14	КБ5-3-2	Заглиблення дизель-молотом на гусеничному копрі залізобетонних паль довжиною до 6 м у ґрунти групи 2	м3	3,78	<u>4203,38</u> 448,04	<u>3471,47</u> 494,69	15889	1694	<u>13122</u> 1870	<u>5,6400</u> 4,9610	<u>21,32</u> 18,75
15	C1411-136	Палі квадратного та прямокутного перерізу суцільні та з круглою порожниною, довжина до 8 м, периметр боків 1001-1200 мм	м	42	<u>869,73</u> -	-	36529	-	-	-	-
16	КБ6-1-1	Улаштування бетонної підготовки	100м3	0,07488	<u>390031,37</u> 10244,59	<u>2455,11</u> 960,47	29206	767	<u>184</u> 72	<u>150,7000</u> 10,6641	<u>11,28</u> 0,8
17	КБ9-75-2	Виготовлення металевого каркасу	т	2,08	<u>20406,51</u> 13812,48	<u>5566,14</u> 371,50	42446	28730	<u>11578</u> 773	<u>176,0000</u> 4,1760	<u>366,08</u> 8,69
18	C124-24	Гарячекатана арматурна сталь періодичного профілю, клас А-III, діаметр 16-18 мм	т	627,1	<u>45006,59</u> -	-	28223633	-	-	-	-
19	C124-23	Гарячекатана арматурна сталь періодичного профілю, клас А-III, діаметр 14 мм	т	857,42	<u>46742,45</u> -	-	40077911	-	-	-	-
20	C124-4	Гарячекатана арматурна сталь гладка, клас А-1, діаметр 12 мм	т	205,05	<u>41931,10</u> -	-	8597972	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21	С124-3	Гарячекатана арматурна сталь гладка, клас А-1, діаметр 10 мм	т	349,44	<u>43001,22</u>	-	15026346	-	-	-	-
22	КБ6-1-2	Улаштування бетонних фундаментів загального призначення під колони об'ємом до 3 м3	100м3	0,26208	<u>446070,48</u> 36590,40	<u>9709,56</u> 3791,28	116906	9590	<u>2545</u> 994	<u>495,0000</u> 42,1083	<u>129,73</u> 11,04
23	КБ1-166-1	Засипка вручну траншей, пазух котлованів і ям, група ґрунтів 1	100м3	0,03744	<u>9388,08</u> 9388,08	-	351	351	-	150,4500	5,63
24	КБ1-134-1	Ущільнення ґрунту пневматичними трамбівками, група ґрунтів 1, 2	100м3	0,02744	<u>2677,37</u> 1306,50	<u>1370,87</u> 401,61	73	36	<u>37</u> 11	<u>18,3600</u> 5,1175	<u>0,5</u> 0,14
		Разом прями витрати по кошторису					117560242	53410	<u>44200</u> 6206		<u>693,54</u> 65,19
		Разом будівельні роботи, грн.					117560242				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів та комплектів, грн.					117462632				
		всього заробітна плата, грн.					59616				
		Загальновиробничі витрати, грн.					33559				
		трудоємність в загальновиробничих витратах, люд.год.					91,06				
		заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.					11336				
		<b>Всього будівельні роботи, грн.</b>					<b>117593801</b>				
		-----									
		<b>Всього по кошторису</b>					<b>117593801</b>				
		Кошторисна трудоємність, люд.год.					849,79				
		Кошторисна заробітна плата, грн.					70952				

Склав

\_\_\_\_\_ [посада, підпис ( ініціали, прізвище )]

Перевірів

\_\_\_\_\_ [посада, підпис ( ініціали, прізвище )]

Таблиця 5.3

**Локальний кошторис на будівельні роботи №02-03-01**  
на Плитний фундамент.  
Варіант 2 . Плитний фундамент.

Основа:  
креслення (специфікації ) №

Кошторисна вартість 248771,686 тис. грн.  
Кошторисна трудомісткість 1,47339 тис.люд.год.  
Кошторисна заробітна плата 123,491 тис. грн.  
Середній розряд робіт 3,7 розряд

Складений за поточними цінами станом на "15 лютого" 2024 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
										тих, що обслуговують машини	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати	на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ1-17-2	Розроблення ґрунту з навантаженням на автомобілі-самоскиди екскаваторами одноковшовими дизельними на гусеничному ходу з ковшом місткістю 1 [1-1,2] м3, група ґрунтів 2	1000м3	0,255528	<u>33588,08</u> 760,10	<u>32783,23</u> 7742,14	8583	194	<u>8377</u> 1978	<u>11,7300</u> 83,1300	<u>3</u> 21,24
2	КБ27-12-4	Улаштування вирівнювальних шарів основи із щебеневно-піщаної суміші автогрейдером Розроблення щебеневно-піщаної суміші.	100м3	1,8252	<u>9960,01</u> 1185,39	<u>8228,69</u> 1130,17	18179	2164	<u>15019</u> 2063	<u>17,1200</u> 11,0052	<u>31,25</u> 20,09
3	КБ1-16-8	Розроблення ґрунту з навантаженням на автомобілі-самоскиди екскаваторами одноковшовими дизельними на гусеничному ходу з ковшом місткістю 1,6 [1,25-1,6] м3, група ґрунтів 2	1000м3	0,18252	<u>30943,47</u> 572,83	<u>30337,08</u> 6218,23	5648	105	<u>5537</u> 1135	<u>8,8400</u> 65,1780	<u>1,61</u> 11,9
4	С311-5	Перевезення ґрунту до 5 км  кільк. 182,52 x 2,04	т	372,3408	<u>57,72</u> -	<u>57,72</u> 8,80	21492	-	<u>21492</u> 3277	<u>-</u> 0,0990	<u>-</u> 36,86

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	КБ1-19-2 Н1=2	Ремонт і утримування ґрунтових землевозних доріг на кожні 0,5 км довжини, група ґрунтів 2	1000м3	0,18252	<u>3250,13</u> -	<u>2981,63</u> 943,09	593	-	<u>544</u> 172	- 10,7586	- 1,96
6	КБ1-134-1	Ущільнення ґрунту пневматичними трамбівками, група ґрунтів 1, 2	100м3	1,8252	<u>2677,37</u> 1306,50	<u>1370,87</u> 401,61	4887	2385	<u>2502</u> 733	<u>18,3600</u> 5,1175	<u>33,51</u> 9,34
7	КБ6-1-16	Улаштування фундаментних плит залізобетонних плоских	100м3	0,51948	<u>444386,13</u> 18436,39	<u>8992,83</u> 2923,64	230850	9577	<u>4672</u> 1519	<u>249,4100</u> 32,7235	<u>129,56</u> 17
8	КБ9-75-2	Виготовлення металевого каркасу	т	5,51	<u>20406,51</u> 13812,48	<u>5566,14</u> 371,50	112440	76107	<u>30669</u> 2047	<u>176,0000</u> 4,1760	<u>969,76</u> 23,01
9	С124-24	Гарячекатана арматурна сталь періодичного профілю, клас А-III, діаметр 16- 18 мм	т	1776,49	<u>45006,59</u> -	- -	79953757	-	- -	- -	- -
10	С124-23	Гарячекатана арматурна сталь періодичного профілю, клас А-III, діаметр 14 мм	т	2266,04	<u>46742,45</u> -	- -	105920261	-	- -	- -	- -
11	С124-4	Гарячекатана арматурна сталь гладка, клас А-1, діаметр 12 мм	т	541,93	<u>41931,10</u> -	- -	22723721	-	- -	- -	- -
12	С124-3	Гарячекатана арматурна сталь гладка, клас А-1, діаметр 10 мм	т	923,52	<u>43001,22</u> -	- -	39712487	-	- -	- -	- -
13	КБ1-166-1	Засипка вручну траншей, пазух котлованів і ям, група ґрунтів 1	100м3	0,02808	<u>9388,08</u> 9388,08	- -	264	264	- -	150,4500 -	4,22 -
14	КБ1-134-1	Ущільнення ґрунту пневматичними трамбівками, група ґрунтів 1, 2	100м3	0,02808	<u>2677,37</u> 1306,50	<u>1370,87</u> 401,61	75	37	<u>38</u> 11	<u>18,3600</u> 5,1175	<u>0,52</u> 0,14
		Разом прямі витрати по кошторису					248713237	90833	<u>88850</u> 12935		<u>1173,43</u> 141,54
		Разом будівельні роботи, грн.					248713237				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів та комплектів, грн.					248533554				
		всього заробітна плата, грн.					103768				
		Загальновиробничі витрати, грн.					58449				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год.					158,42				
		заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.					19723				
		<b>Всього будівельні роботи, грн.</b>					<b>248771686</b>				
		-----									
		<b>Всього по кошторису</b>					<b>248771686</b>				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Кошторисна трудомісткість, люд.год.					1473,39				
		Кошторисна заробітна плата, грн.					123491				

Склав \_\_\_\_\_  
[посада, підпис ( ініціали, прізвище )]

Перевірив \_\_\_\_\_  
[посада, підпис ( ініціали, прізвище )]

Порівняння результатів обчислення варіантів будівництва фундаментів на основі локальних кошторисів наведені в таблиці 5.4

Таблиця 5.4 – Порівняння варіантів фундаментів

Показники	Варіанти фундаментів	
	Варіант №1 Пальовий фундамент	Варіант №2 Плитний фундмент
Прямі витрати, грн.	117 560 242	248 713 237
Кошторисна трудомісткість, люд.грн.	850	1 473
Кошторисна заробітна плата, грн.	70 952	123 491
Загальновиробничі витрати, грн.	33 559	58 449
Всього по кошторису, грн	117 593 801	248 771 686

Дані з таблиці 5.4 свідчать про те, що влаштування фундаменту у відповідності до варіанту №1 майже в два рази дешевший за варіантом №2, так як цей варіант має найменшу кошторисну вартість.

#### Висновки по розділу 5

Для розглянутої в роботі, трьохповерхової будівлі в м.Вінниця, варіант будівництва пальового фундаменту з залізобетонними забивними палями СЗ-30, являється більш економічно вигіднішим порівняно, з варіантом плитного фундаменту (з підсиленням основи за допомогою заміни 1 м існуючого ґрунту на гравійний піщаний ґрунт, на відмітці низу фундаментної плити), тобто останній дорожчий на 112%.

## ВИСНОВКИ

Дійсну картину напружено-деформованого стану можна отримати лише у випадку врахування сумісної роботи системи «наземна споруда – фундамент – основа», тому тема МКР є актуальна.

Сучасні методи (МСЕ, МГЕ) дають можливість проведення числових досліджень для розв'язку задачі визначення реального НДС при будівництві споруд.

Урахування сумісної роботи наземної і підземної частин будівель виявляє перерозподіл зусиль між елементами цієї системи та дає можливість отримання кількісної оцінки ефективності проектних рішень.

Пошук НДС будівлі здійснено за ПК «ЛІРА» – потужного комплексу скінченно-елементного аналізу конструкцій будівлі. «ЛІРА» - це система міцнісного аналізу на основі МСЕ.

Природна піддатливість ґрунту призводить до неминучості виникнення в ньому деформацій. Ці деформації на стадії проектування необхідно передбачити та звести до мінімуму можливість виникнення аварійної ситуації.

Розрахунок сучасної будівлі потрібно проводити з урахуванням найбільш суттєвих факторів, що визначають її НДС – фізичної нелінійності роботи основи.

Отримані результати можуть бути використані у проектно-вишукувальних організаціях для підвищення точності розрахунків системи «наземна споруда – фундамент – основа» з урахуванням сумісної роботи її елементів.

Запропоновані моделі дозволяють оптимізувати конструктивні рішення, зменшити матеріаломісткість фундаментних конструкцій та підвищити їх надійність.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баженов В. А., Криксунов Е.З., Перельмутер А.В., Шишов О. В. Інформатика. Інформаційні технології в будівництві. Системи автоматизованого проектування : посібник для студентів вищих учбових закладів. Київ : Вид-во «Каравела», 2004. 325 с.
2. Бойко І. П., Сахаров В. О. Напружено-деформований стан ґрунтового масиву при прибудові нових фундаментів поблизу існуючих будинків. Основи і фундаменти : Міжвідомчий науково-технічний збірник. Київ : КНУБА, 2004. Вип. 28. С. 3 – 10.
3. Шашенко О.М., Механіка ґрунтів : підручник. Дніпро : НТУ «ДП», 2024. 339 с.
4. Барабаш М. С., Сорока М. М., Сурянінов М. Г. Нелінійна будівельна механіка з ПК ЛІРА-САПР : навч. посіб. Київ : Екологія, 2018. 248 с.
5. ПК ЛІРА-САПР. Приклади розрахунку і проектування : навч. посіб. / [уклад. В. В. Ластовецький, С. А. Макєєв та ін.]. Київ : ЛІРА-САПР, 2020. 352 с.
6. Ромашко В. М. Розрахунок залізобетонних елементів і конструкцій за деформаційно-силовою моделлю: Рекомендації. – Рівне : НУВГП, 2016. 126 с.
7. ДБН В 1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі змінами № 1 та № 2. [Чинний від 2007-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінбуд України, 2020. 72 с.
8. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. [Чинний від 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінбуд України, 2006. 55 с.
9. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво в сейсмічних районах України. [Чинний від 2014-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 118 с.
10. ДБН В.2.6-98:2009/ Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі Зміною № 1. [Чинний від 2020-06-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2009. 14 с.

11. Моргун А. І., Моргун А. С. Розрахунок конструкцій на пружній основі : навч. Посібник. Вінниця : ВНТУ, 1997. 120 с.
12. Моргун, А. С. Нелінійні проблеми механіки ґрунтів : монографія А. С. Моргун. Вінниця : ВНТУ, 2016. 135 с.
13. Шкодін М. М., Моргун А. І., Моргун А. С. Програмування та чисельні методи в розрахунках інженерних споруд : навчальний посібник. Київ : НМК ВО, 1992. 208 с.
14. Сахаров В. О. Моделювання багатоповерхового будинку на нелінійній основі в умовах прибудови : «Світ геотехніки», № 4 – Київ.: НДІБК, 2006, С 25–28.
15. ДСТУ Б В.2.1-27:2010. Основи та фундаменти споруд. Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань. [Чинний від 2011-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегбуд України, 2010. 14 с.
16. Моргун А.С. Метод граничних елементів в розрахунках паль : монографія А.С. Моргун. Вінниця : «УНІВЕРСУМ-Вінниця» 2000, 131 с.
17. НК018-2023. Класифікатор будівель і споруд. [Чинний від 2024-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2023. 17 с.
18. ДСТУ 8855:2019. Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності). [Чинний від 2019-12-01]. Вид. офіц. Київ : ДП УкрНДНЦ України, 2019. 17 с.
19. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Вид. офіц. Київ : Міненергобуд України, 2010. 58 с.
20. ДСНіП. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості тонебезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30] Вид. офіц. Київ : України, 2014. 31 с.
21. С.У. Jim, Heat-sink effect and indoor warming imposed by tropical extensive green roof, Ecological Engineering, Volume 62, 2014, Pages 1-12, ISSN 0925-8574.

22. ДБН В.2.2-15:2019. Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. Зі Зміною № 1. [Чинний від 2019-12-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 45 с.
23. Методичні вказівки для визначення економічної ефективності витрат науково-дослідної частини в магістерських роботах студентів будівельних спеціальностей / Уклад. О. Г. Лялюк. Вінниця : ВНТУ, 2011. 41 с.
24. ДБН В.2.2-9:2018. Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення. Зі Зміною № 1. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2022. 49 с.
25. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегбуд України, 2018. 42 с.
26. ДСТУ-Н Б В.1.1-44:2016. Настанова щодо проектування будівель і споруд на просідаючих ґрунтах. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ» України, 2017. 100 с.
27. ДБН В.2.2-25:2009. Будинки і споруди. Підприємства харчування (заклади ресторанного господарства). З змінами. [Чинний від 2020-06-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегбуд України, 2020. 57 с.
28. ДСТУ 3862-99. Громадське харчування. Терміни та визначення. Зі Зміною № 1 (ІПС № 10-2003). [Чинний від 1999-10-01]. Вид. офіц. Київ : МЗЕЗторг України, 1999. 26 с.
29. ДСТУ 3760:2019 Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. [Чинний від 2019-08-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ» України, 2018. 21 с.
30. ДСТУ Б В.2.6-65:2008. Конструкції будинків і споруд. Палі залізобетонні. Технічні умови. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 74 с.
31. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. [Чинний від 2023-11-01]. Вид. офіц. Київ : Мінінфраструктури України, 2023. 122 с.

32. ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. Зі Змінами № 1 та № 2. [Чинний від 2022-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2023. 37 с.

33. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ» України, 2015. 37 с.

## **ДОДАТКИ**

## Додаток А

## ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Застосування метода скінчених елементів, метода граничних елементів до числового моделювання системи «наземна споруда-фундамент-основа»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота  
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ кафедра БМГА, ФБЦЕІ  
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 18.51 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Бікс Ю. С. доцент, гарант ОП  
(прізвище, ініціали, посада)

Швець В. В. доцент, зав. каф. БМГА  
(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)  
(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку (підпис)

Блашук Н. В.  
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник (підпис)

Моргун А. С., проф.  
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач (підпис)

Рижкова Т. В.  
(прізвище, ініціали)

**ДОДАТОК Б**  
**ВІДОМІСТЬ АРКУШІВ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ**

Аркуш	Найменування	Примітка
1	Тема роботи	Плакат 1
2	Вступ. Актуальність теми	Плакат 2
3	Система «Наземна споруда – фундамент – основа»	Плакат 3
4	Метод скінченних елементів (МСЕ)	Плакат 4
5	Метод граничних елементів (МГЕ)	Плакат 5
6÷13	Розгляд сучасних інженерних програмних комплексів з функцією моделювання МСЕ, МГЕ	Плакат 6÷13
14	Порівняльна середня оцінка програмних комплексів	Плакат 14
15	Результати побудови та розрахунку МСЕ моделі будівлі (числовий експеримент, «ПК «Ліра»)	Плакат 15
16	Ізополя внутрішніх зусиль скінченно-елементної моделі (числовий експеримент, ПК «Ліра»)	Плакат 16
17	Клейонка армування перекриття по поверхах (числовий експеримент, ПК «Ліра»)	Плакат 17
18	План пальового поля. Варіант фундаментна конструкція з забивних паль-стійок	Плакат 18
19	Графіки навантаження–осідання будівлі. Плитний варіант фундаментної конструкції	Плакат 19
20	Висновок	Плакат 20
21	Геологічний розріз будівельного майданчика. Генплан в межах забудови. Фундамент з забивних паль. Відомість витрат сталі по вісі «Б» для 4 колон	
22	План розташування паль. План підвалу. План 1-го поверху. Фасад 1. Експлікація підвальних приміщень. Експлікація приміщень 1 поверху	
23	План 2 поверху. План 3 поверху. Фасад 2 Експлікація приміщень 2 поверху. Експлікація приміщень 3 поверху	
24	Генплан будівництва. Експлікація тимчасових приміщень	

**Магістерська кваліфікаційна робота Рижкової Т.В.**

**на тему:**

Застосування метода скінчених елементів (МСЕ), метода  
граничних елементів (МГЕ) до числового моделювання системи  
«наземна споруда-фундамент-основа»

## Вступ

До цього часу, не існує достовірної універсальної методики розрахунку висотних будівель з одночасним прорахунком основи, а найчастіше наземна частина приймається в розрахунках як жорстко защемлена. Проте реальну картину напружено-деформованого стану можна отримати лише у випадку врахування сумісної роботи системи «наземна споруда – фундамент – основа».

Зростання урбанізації в найбільших містах України, а також обмеженість вільних земельних ділянок під забудову, обумовлюють підвищений попит на висотне будівництво. У зв'язку з цим каркасно-монолітні конструкції набувають все більшої популярності, як одна з найперспективніших сучасних технологій зведення будівель.

Популярність таких конструкцій пояснюється низкою переваг, зокрема, каркасно-монолітні будівлі в середньому на 15–20% легші за збірні аналоги, що дозволяє суттєво скоротити витрати на матеріали для надземної частини та фундаментів. Це, у свою чергу, веде до зменшення загальної вартості будівництва. Також слід відзначити істотно менші строки спорудження каркасно-монолітних будівель у порівнянні з цегляними.

Однією з ключових технічних переваг, є здатність конструкції рівномірно перерозподіляти внутрішні зусилля між несучими елементами каркасу, що забезпечує однорідне осідання споруди та мінімізує ризик утворення тріщин.

Очікуваний строк експлуатації таких будівель може сягати до 300 років.

Високий попит на будівництво багатоповерхівок та споруд футуристичного вигляду з складними формами, а також активний розвиток сфери новітніх технологій, вимагає удосконалення розрахункових схем, спрямованих на забезпечення надійності роботи конструкцій та оптимального використання матеріалів. Водночас, актуальною залишається проблема коректного врахування взаємодії елементів системи «наземна споруда – фундамент – основа», оскільки на практиці наземну частину часто розглядають, як жорстко защемлену, що не відображає реальний напружено-деформований стан об'єкта.

## Актуальність теми

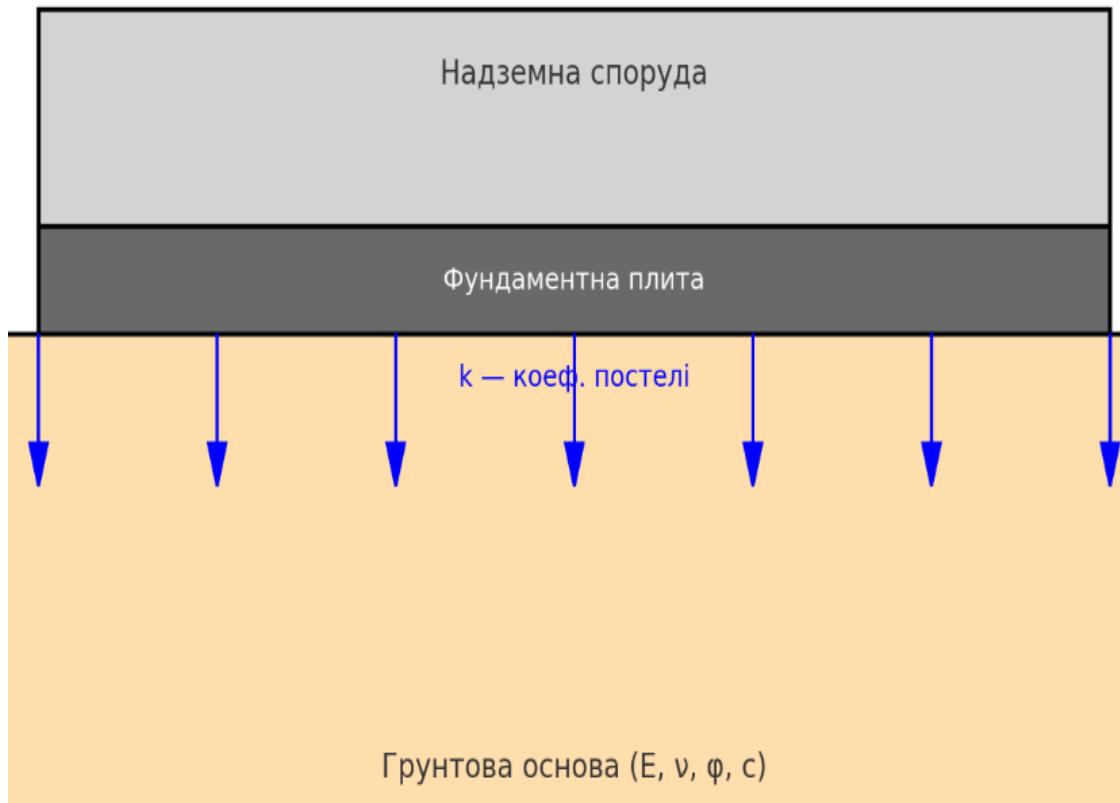
Стійке зростання обсягів будівельних робіт зі зведення різноманітних споруд, зумовлює необхідність впровадження сучасних підходів до розрахунку системи «наземна споруда – фундамент – основа» з метою аналізу її поведінки під дією зовнішніх навантажень. Потреба у точних розрахункових моделях вже набула практичного значення.

У цьому контексті, магістерська кваліфікаційна робота на тему «Застосування МСЕ та МГЕ до числового моделювання системи «наземна споруда – фундамент – основа» є своєчасною та актуальною. Вона відповідає сучасному рівню наукових досліджень у сфері лінійного й нелінійного прогнозування напружено-деформованого стану зазначеної системи.

У роботі використано метод скінченних елементів (МСЕ), метод граничних елементів (МГЕ), а також дилатансійну модель дисперсного ґрунтового середовища для забезпечення максимальної достовірності розрахунків.

# Система «наземна споруда-фундамент-основа»

Система «наземна споруда – фундамент – основа» — це узагальнене поняття, яке використовується в будівельній механіці, геотехніці та проектуванні для опису взаємодії трьох основних компонентів конструкції:



**Наземна споруда** - частина будівлі або споруди, яка розташована над рівнем землі. Види конструкцій: каркасні, безкаркасні, монолітні, збірні тощо.

Функція: забезпечує експлуатаційне призначення споруди — житлове, офісне, промислове тощо.

Навантаження: власна вага, корисне навантаження, вітер, сніг, сейсмічні дії.

**Фундамент** - проміжна частина, що передає навантаження від надземної споруди на ґрунтову основу. Типи фундаментів: мілкового закладання (стрічкові, плитні, стовпчасті); глибокого закладання (свайні, кесонні, ростверки).

Функції: рівномірний розподіл навантажень; зменшення осідань і деформацій; забезпечення стійкості споруди.

**Основа** - природний або штучно ущільнений ґрунтовий масив, що сприймає тиск від фундаменту. Типи ґрунтів: скельні, піщані, супіски, суглинки, глинисті. Може бути підсилено: піщано-гравійною подушкою, геотекстилем, палями.

Параметри: модуль деформації (E), коефіцієнт Пуассона ( $\nu$ ), коефіцієнт постелі (k), зчеплення (c), кут внутрішнього тертя ( $\phi$ ).

## Зв'язки між елементами системи

У реальних умовах ці три частини перебувають у взаємодії:

- Вплив жорсткості споруди на розподіл зусиль у фундаменті.
- Вплив нерівномірних деформацій основи на НДС надземної частини.
- Зворотна дія ґрунту (реакція основи) визначається через моделі типу Винклера, Паскаля, Буссінеска, або за допомогою чисельного моделювання (МСЕ / МГЕ / метод скінчених різниць)

# Метод скінченних елементів (МСЕ) у будівництві

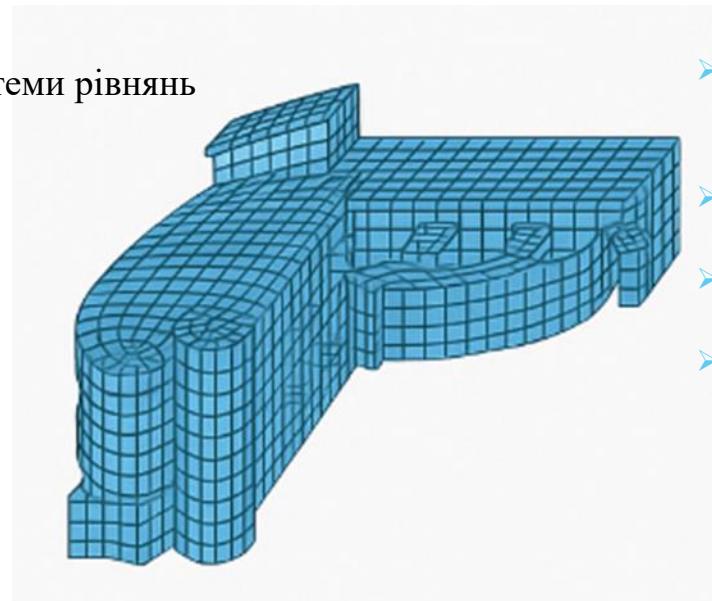
**Метод скінченних елементів (МСЕ)** у будівництві — це потужний чисельний метод, який застосовується для аналізу механічної поведінки конструкцій та ґрунтових мас. Основна ідея полягає в розбитті складних конструктивних систем (наприклад, будівель, мостів, тунелів або фундаментних систем) на менші, простіші елементи, для яких аналітичні рішення знаходяться легше.

## Основні напрямки застосування МСЕ в будівництві:

- Аналіз напружено-деформованого стану (НДС)
- Аналіз взаємодії «споруда – фундамент – основа»
- Аналіз тріщиноутворення і пластичних деформацій
- Розрахунок теплоперенесення та вогнестійкості
- Аналіз деформацій під впливом динамічних навантажень

## Алгоритм за МСЕ в будівництві:

- Створення геометрії конструкції
- Розбиття на елементи
- Призначення матеріалів
- Задання граничних умов
- Формування і розв'язання системи рівнянь
- Аналіз результатів



## Переваги використання МСЕ в будівництві:

- Висока точність розрахунків навіть для складних конструкцій, де традиційні методи не можуть бути застосовані.
- Гнучкість: дозволяє розраховувати конструкції з різними матеріалами та геометріями, включаючи нестандартні форми.
- Моделювання нелінійних ефектів: таких як пластичні деформації, тріщиноутворення, взаємодія між різними матеріалами тощо.
- Аналіз різних сценаріїв навантажень: можна легко варіювати навантаження і умови експлуатації конструкцій.

## Недоліки МСЕ

- Залежність від якості сітки (дискретизації)
- Трудомістка підготовка моделі
- Обчислювальні ресурси
- Проблеми з точністю у випадку розривів і концентраторів напружень
- Потреба у професійному досвіді
- Модель не завжди відображає реальну поведінку
- Обмеження при моделюванні нескінченних/напівнескінченних середовищ

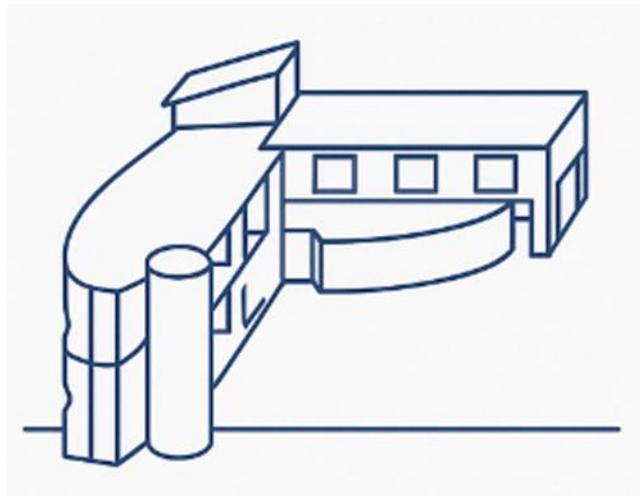
# Метод скінченних елементів (МГЕ) у будівництві

**Метод граничних елементів** (МГЕ) у будівництві — це числовий метод, який використовується для аналізу напружено-деформованого стану (НДС) будівельних конструкцій і ґрунтових основ, причому обчислення ведуться не по всьому об'єму тіла, а лише по його поверхні або границі. У будівельній практиці МГЕ застосовується для моделювання поведінки: фундаментів, масивних бетонних елементів, підземних споруд, конструкцій, що взаємодіють з ґрунтом або водою.

МГЕ особливо ефективний там, де навколишнє середовище можна вважати нескінченним або напівнескінченим (наприклад, ґрунтова основа під фундаментом).

## Основні напрямки застосування МГЕ в будівництві:

- Геотехнічного моделювання
- Проектування фундаментів і основ
- Аналізу тріщин у конструкціях
- Підземного і гідротехнічного будівництва
- Розв'язку динамічних задач



## Алгоритм за МГЕ в будівництві:

- Формулювання фізичної задачі
- Побудова граничної геометричної моделі
- Формулювання граничних інтегральних рівнянь
- Розбиття межі на граничні елементи
- Задання граничних умов і навантажень
- Формування та розв'язання системи рівнянь
- Обчислення внутрішнього поля
- Аналіз, перевірка та інтерпретація результатів

## Переваги використання МГЕ в будівництві:

- Зменшення розмірності задачі: лише границя моделюється менше елементів.
- Природна обробка нескінченних/напівнескінчених середовищ (наприклад, ґрунт).
- Висока точність у зонах з концентрованими напруженнями (тріщини, кути).
- Менші обчислювальні витрати для задач з простою геометрією межі.
- Ідеальне моделювання контактних задач і межових умов.

## Недоліки МГЕ

- Складність застосування до нелінійних задач (наприклад, пластичність, тріщиностійкість).
- Неєфективність для задач з внутрішніми неоднорідностями (шари, армування).
- Обмеженість у випадку складної об'ємної геометрії (3D конструкцій).
- Складність реалізації в деякому програмному забезпеченні — обмежена підтримка у популярних САЕ-системах (на відміну від МСЕ).
- Потрібен фундаментальний математичний апарат для реалізації методу.

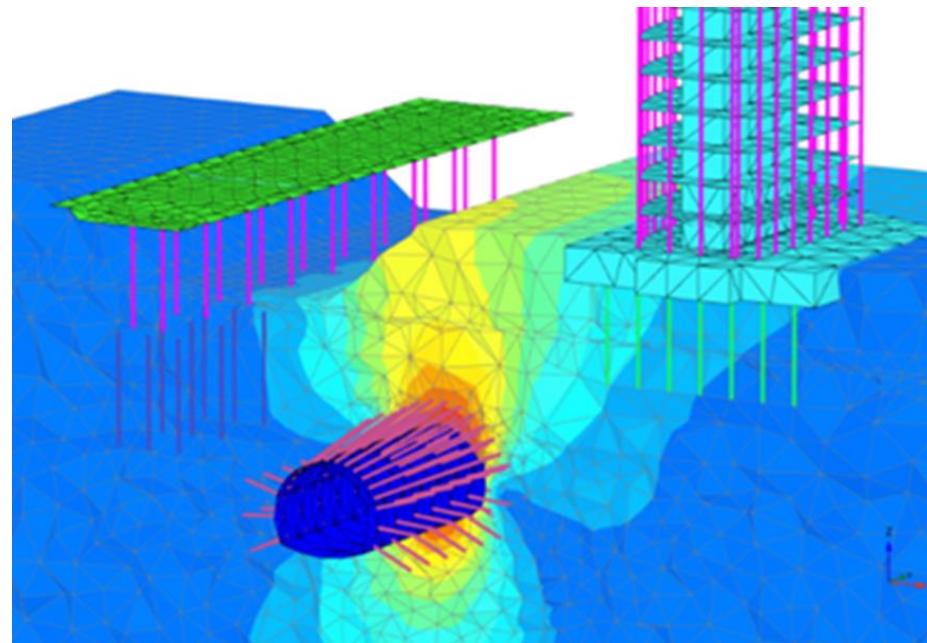
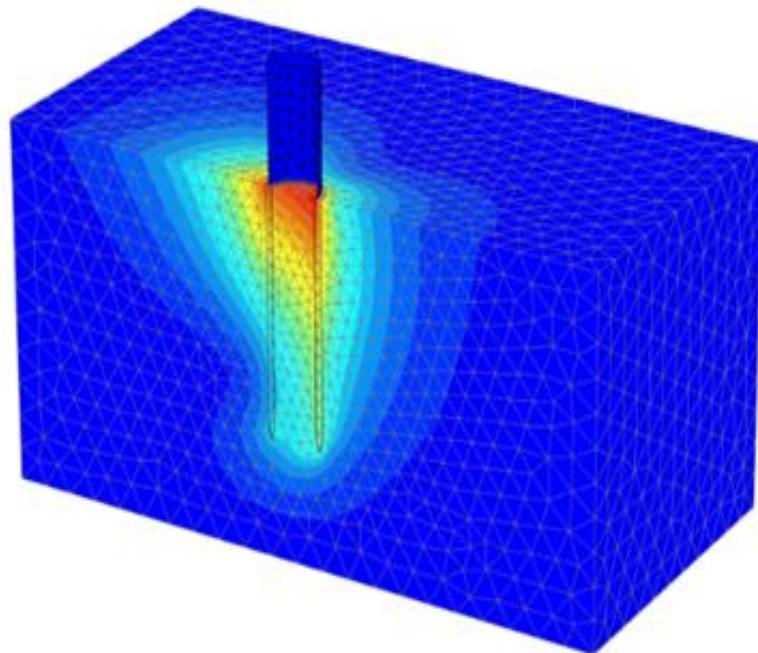
**PLAXIS** — це провідний програмний комплекс для геотехнічного моделювання за методом скінченних елементів (МСЕ), призначений для аналізу напружено-деформованого стану (НДС) у ґрунтах, основах, фундаментах і підземних спорудах.

**Ключові можливості PLAXIS:**

- ✓ Геотехнічна нелінійність (зчеплення, дилатансія, пластичність)
- ✓ Поривий тиск, фільтрація, ґрунтові води
- ✓ Стадійність будівництва (наприклад, послідовне риття котловану)
- ✓ Врахування власної ваги та ущільнення
- ✓ Повзучість, тривале навантаження (creep)
- ✓ Сейсмічні хвилі, імпульсні динамічні навантаження

**PLAXIS** — це найкращий вибір для:

- геотехнічного моделювання,
- аналізу взаємодії «фундамент – ґрунт»,
- складних задач осідань, зсувів, сейсміки, дренажу.



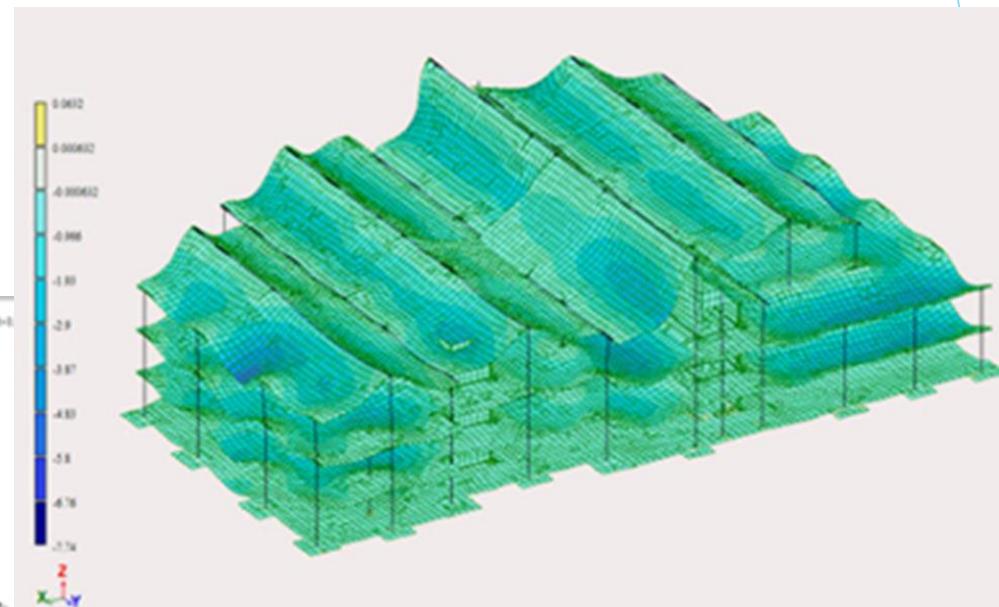
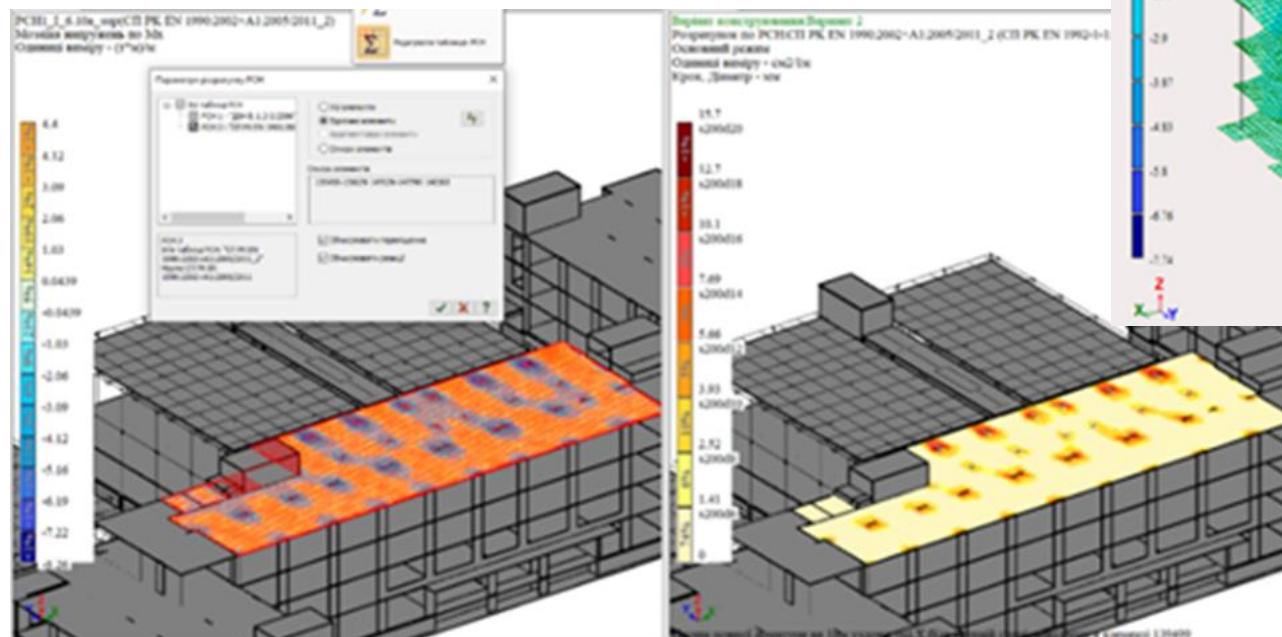
**ЛІРА-САПР** — програмний комплекс для розрахунку, аналізу та проектування будівельних і інженерних конструкцій методом скінченних елементів (МСЕ), який широко використовується в Україні та Східній Європі.

**Ключові можливості:**

- ✓ Аналіз НДС конструкцій будь-якої складності
- ✓ Підбір арматури згідно з ДБН, СП, СНиП, EN
- ✓ Повна підтримка українських будівельних норм (ДБН)
- ✓ Потужний модуль геометричної та фізичної нелінійності
- ✓ Можливість моделювання будівництва за стадіями
- ✓ Інтерактивна побудова розрахункових моделей (САПФІР)
- ✓ Власна бібліотека скінченних елементів (1D/2D/3D/контактні)

**ЛІРА-САПР** — це найбільш адаптований ПК для будівництва в Україні, який поєднує:

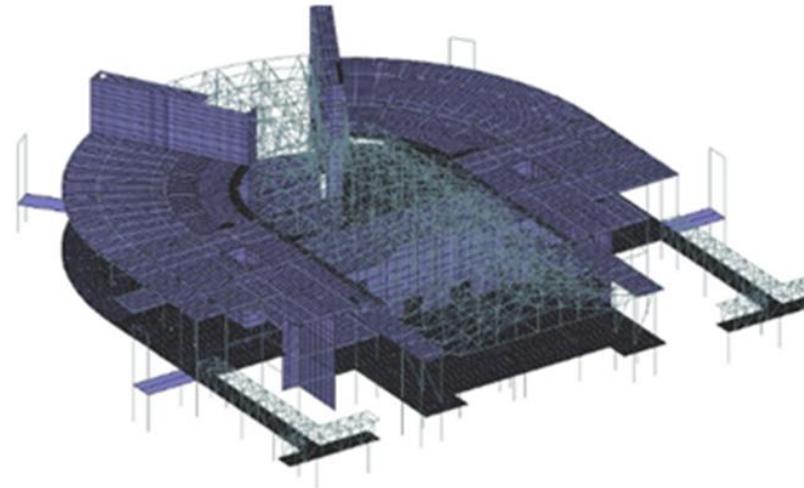
- повну відповідність ДБН,
- потужні МСЕ-алгоритми,
- підбір арматури та перевірку елементів,
- BIM-інтеграцію з Revit/IFC.



**SCAD Office** — це інженерний програмний комплекс для розрахунку та аналізу будівельних і конструктивних систем за методом скінченних елементів (МСЕ), широко використовуваний в Україні та Казахстані.

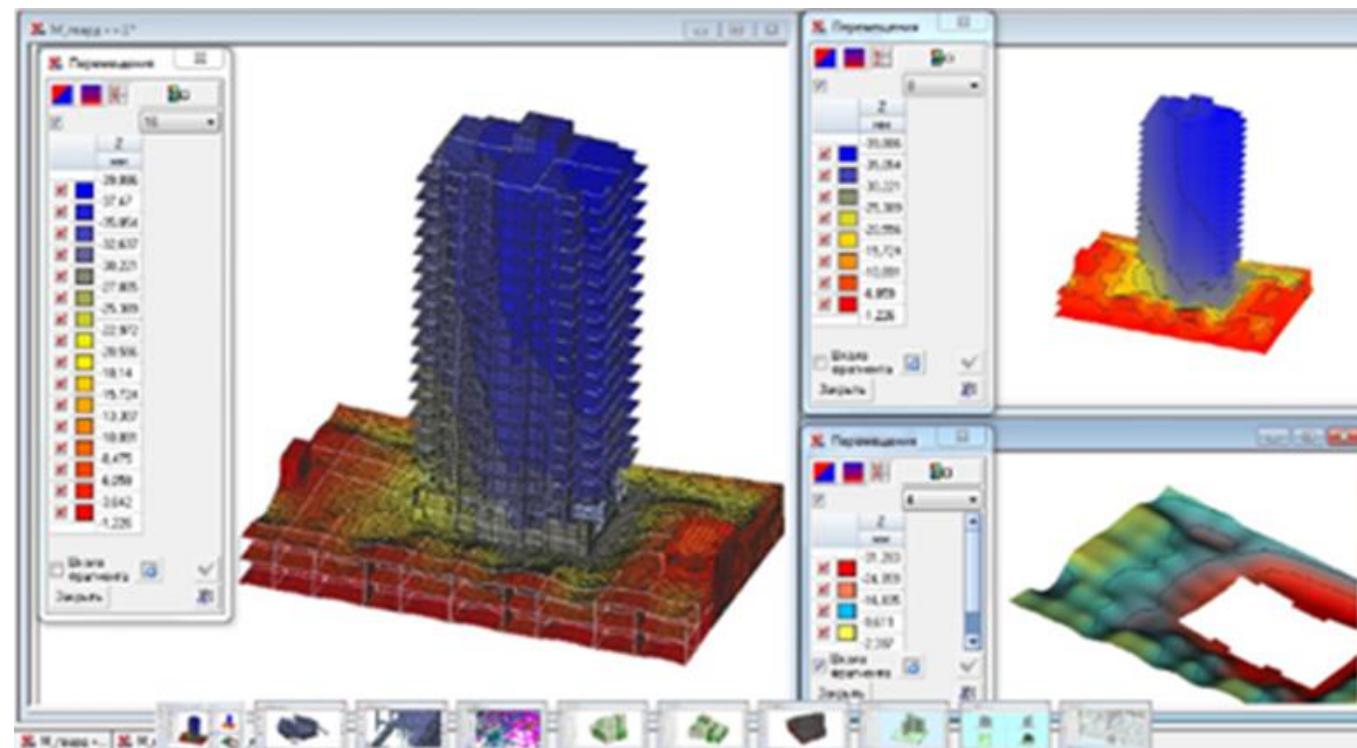
**Ключові можливості:**

- ✓ МСЕ-аналіз конструкцій будь-якої просторової схеми
- ✓ Підбір і перевірка залізобетонних елементів
- ✓ Аналіз сталевих конструкцій
- ✓ Моделювання фундаментів та основ
- ✓ Сейсмічний розрахунок
- ✓ Теплові та температурні навантаження
- ✓ Візуалізація розрахунків і результатів
- ✓ Генератор геометрії (вбудований)
- ✓ Підтримка навчального процесу



**SCAD Office** — це надійний МСЕ-комплекс для:

- лінійного аналізу конструкцій,
- перевірки армування і металу,
- розрахунку фундаментів та каркасів,
- базового сейсмічного аналізу.
- Ідеально підходить для малих і середніх проєктів, а також для освітніх цілей, але має обмежену підтримку ВІМ, геотехніки та складної нелінійності.



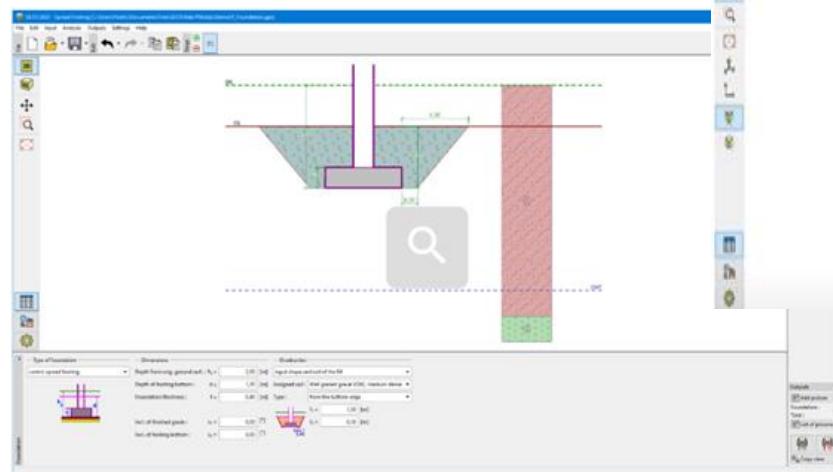
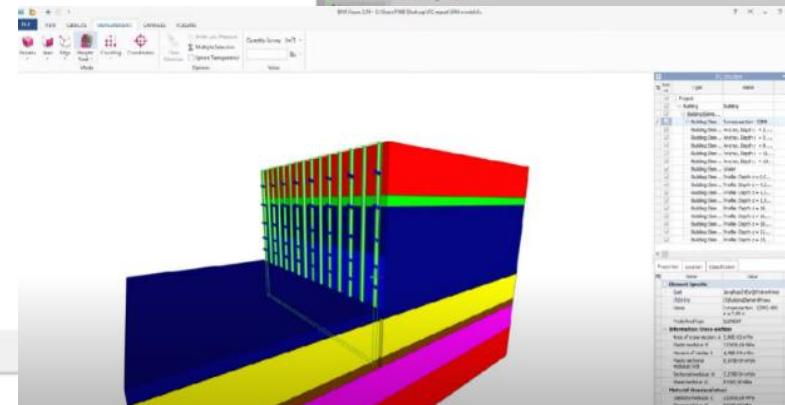
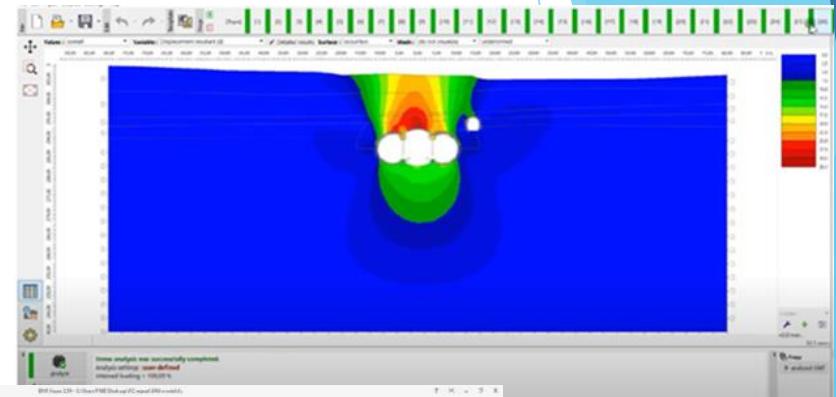
**GEO5** Geotechnical Software — це модульна система геотехнічних програм для аналізу ґрунтів, фундаментів, підпірних стін, схилів, паль, тунелів тощо. Використовує аналітичні методи, граничну рівновагу та частково метод скінченних елементів (МСЕ).

**Ключові можливості:**

- ✓ Геотехнічний розрахунок широкого спектра задач
- ✓ Розрахунок осідання та несучої здатності
- ✓ Аналіз стійкості схилів (Slope Stability)
- ✓ МСЕ-аналіз (2D) — модуль МСЕ
- ✓ Сейсмічний аналіз
- ✓ Побудова ґрунтових профілів (Stratigraphy)
- ✓ Генерація звітів та графіків
- ✓ Інтеграція та обмін даними
- ✓ Інтуїтивний інтерфейс із покроковим майстром введення

**GEO5** — це потужна, гнучка й надійна система для інженерів-геотехніків, з орієнтацією на:

- аналітичну надійність,
- легкість створення моделей,
- ефективну генерацію технічних звітів.



**MIDAS GTS NX** (Geotechnical & Tunnel System – Next Generation) — це високорівнева система геотехнічного моделювання на основі методу скінченних елементів (FEM) для аналізу складних взаємодій між ґрунтом, фундаментами, тунелями, схилами та підземними спорудами.

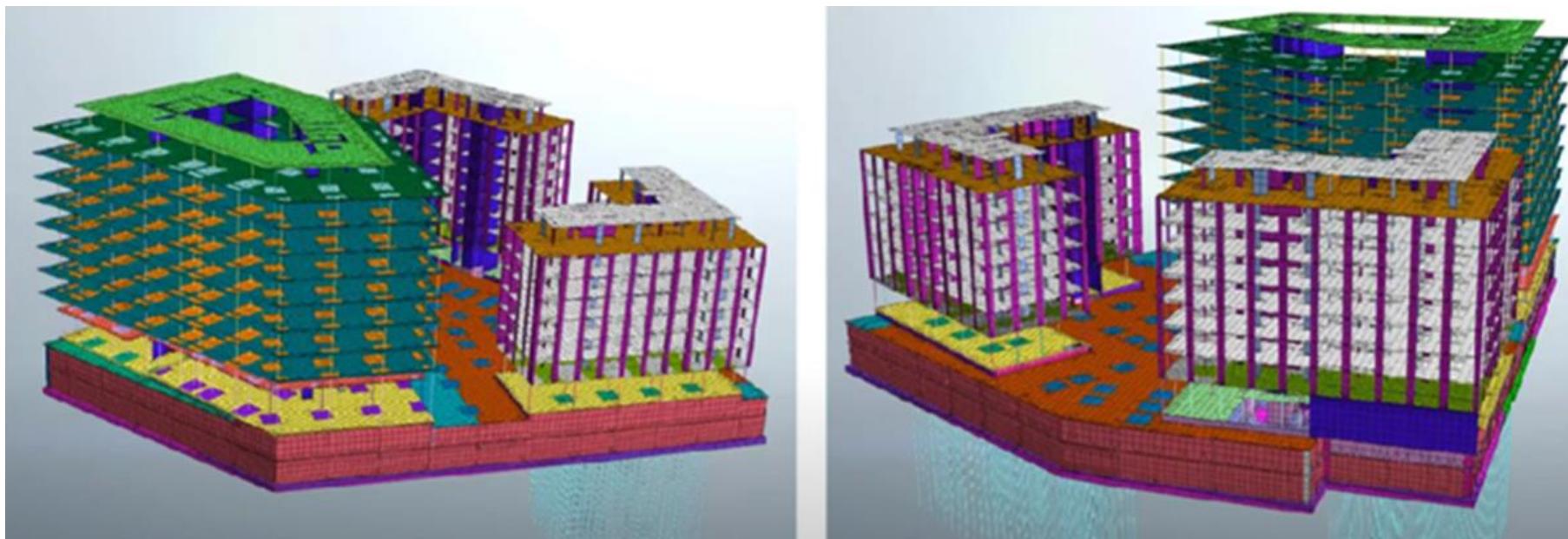
**Ключові особливості:**

- ✓ Просторове моделювання багат шарової геології
- ✓ Профілі буріння (Borehole Explorer)
- ✓ Побудова складних меж геологічних тіл
- ✓ Покрокове моделювання етапів виїмки, монтажу, навантаження
- ✓ Деактивація ґрунтів, анкерів, бетонування оболонок
- ✓ Аналіз порового тиску
- ✓ Дренажні системи та вплив ґрунтових вод
- ✓ Сейсмічне навантаження:
- ✓ Динаміка ґрунтів, обвалів, інтерфейсна нестійкість
- ✓ Мультифізика: Одночасне моделювання механіки + гідравліки + температури

**MIDAS GTS NX** — це висококласний геотехнічний МСЕ-комплекс для:

- глибокого аналізу НДС в складних умовах (тунелі, палі, котловани),
- складних ґрунтових моделей,
- стадійного будівництва,
- мультифізики,
- сейсміки.

Рекомендовано для великих проєктів, дослідницьких задач, проєктів із високими вимогами до точності.



**ABAQUS FEA** — це універсальний мультифізичний програмний комплекс для н-лінійного розрахунку напружено-деформованого стану (НДС), термомеханіки, контактних задач, руйнування, повзучості, динаміки тощо, заснований на методі скінченних елементів (МСЕ).

**Ключові можливості ABAQUS:**

✓ Лінійний і нелінійний МСЕ-аналіз

Геометрична нелінійність

Матеріальна нелінійність

Контактна нелінійність (контакти, зіткнення, розриви)

✓ Геотехнічні задачі

Пористе середовище, осідання, консолідація

Моделі ґрунтів з часом

Палі, котловани, тунелі, осідання з урахуванням гідравліки

✓ Динамічний і сейсмічний аналіз

Спектральний та модальний аналіз

Поглинання енергії, поширення хвиль

✓ Термомеханічні задачі

Аналіз теплопередачі та термомеханічних деформацій

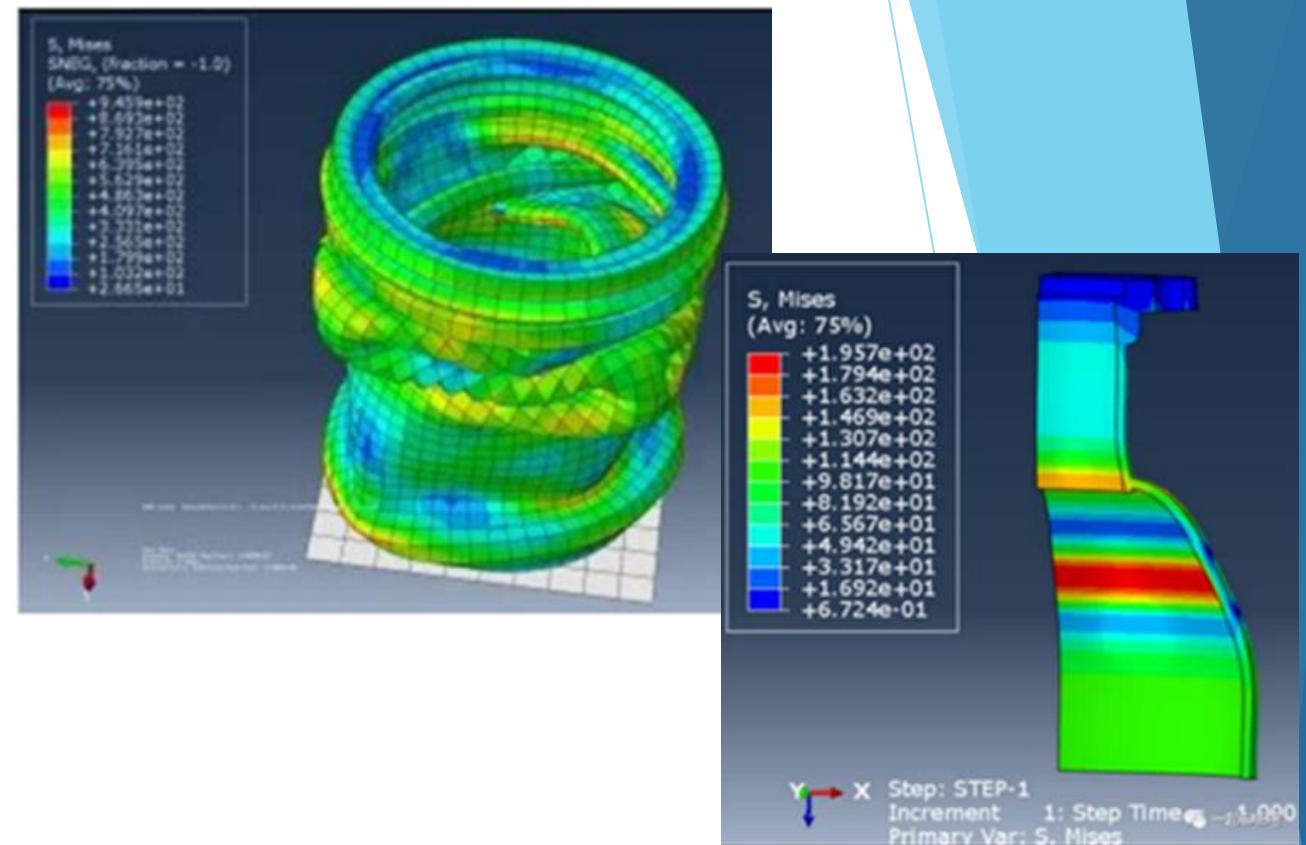
Термовтома, термоупругість

✓ Мікромеханіка та пошкодження

Тріщиноутворення, руйнування, розвиток дефектів

✓ Моделювання тривких процесів

Повзучість, релаксація, старіння, в'язкопружність

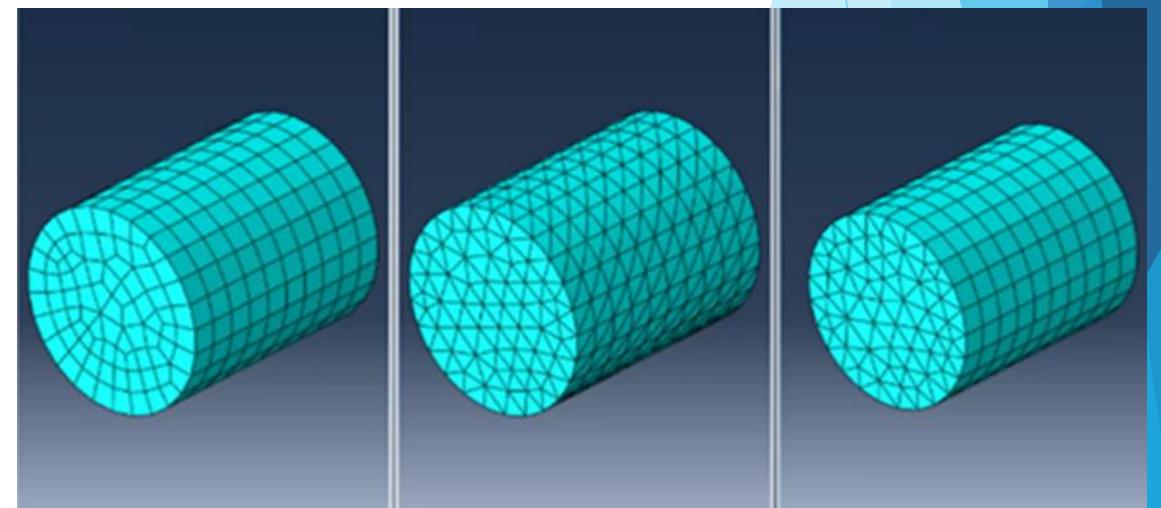


**ABAQUS FEA** — це потужний, багатфункціональний і універсальний інструмент для глибокого інженерного аналізу:

- застосовується в дослідницьких та промислових проєктах, де потрібна точність,
- складні фізико-механічні процеси, контакт і руйнування.

Рекомендовано для:

- великих інфраструктурних або наукових задач,
- складних ґрунтово-фундаментних систем із нестандартними умовами.



**FEM-Design** — це потужне, інтуїтивне програмне забезпечення для моделювання МСЕ, розрахунку та перевірки будівельних конструкцій відповідно до європейських норм (Eurocode). Особливо зручне для архітекторів і інженерів-проектувальників.

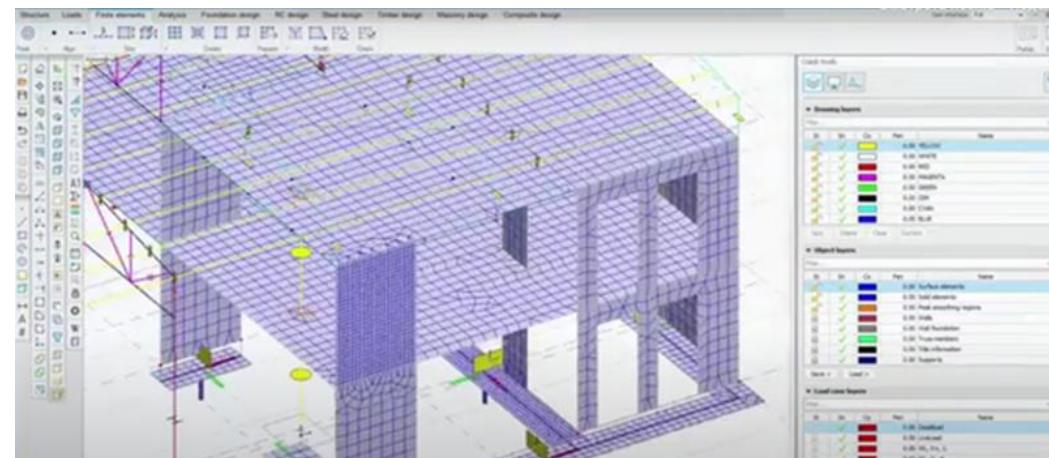
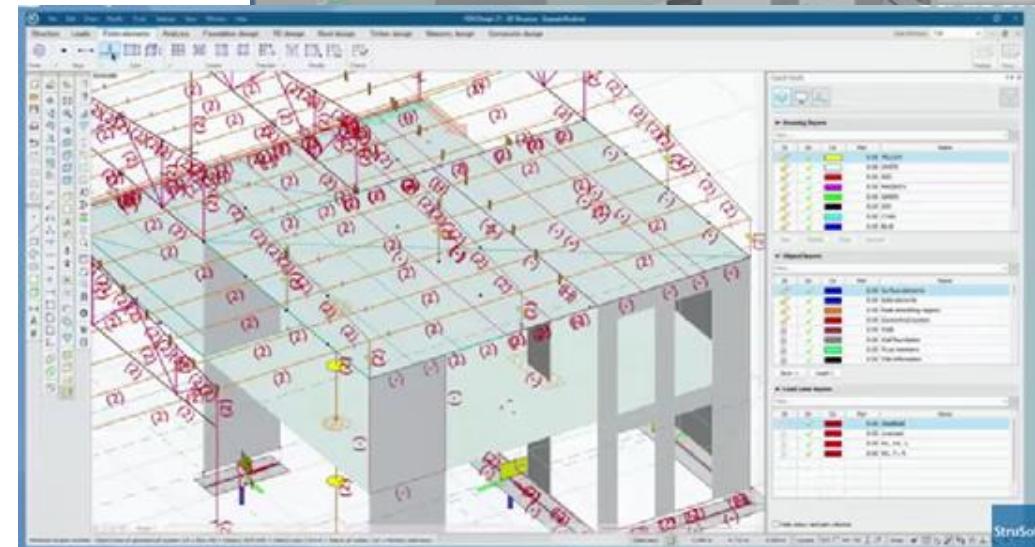
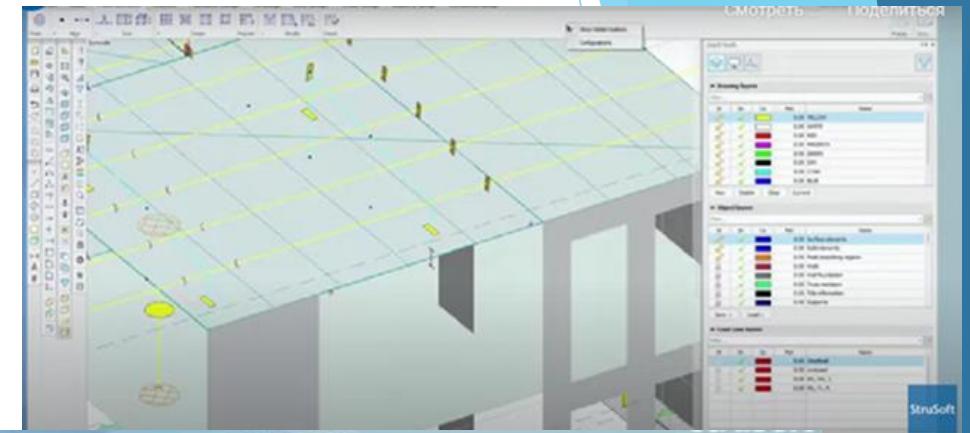
**Ключові можливості FEM-Design:**

- ✓ Просторове моделювання конструкцій
  - Повний 3D МСЕ-аналіз
  - Визначення внутрішніх зусиль, напружень, деформацій
  - Гнучке створення геометрії через CAD-інтерфейс
- ✓ Армування та перевірка залізобетону
  - Підбір і перевірка арматури згідно Eurocode 2
  - Графічна візуалізація площ армування
  - Врахування тріщиностійкості, прогинів, деформацій
- ✓ Перевірка сталевих конструкцій
  - Всі класи перерізів, зварні/болтові з'єднання
  - Витонченість, стійкість, пожежна перевірка
- ✓ Автоматичне навантаження
  - енерация вітрових, снігових, температурних навантажень
  - Повна підтримка навантажувальних комбінацій згідно з ЕС
- ✓ Динаміка та сейсміка
  - Модальний аналіз
  - Сейсмічне навантаження: спектральний метод
  - Аналіз коливань перекриттів, тремтіння
- ✓ Візуалізація результатів

**FEM-Design (StruSoft)** — оптимальне рішення для:

- інженерів-конструкторів,
- автоматизованого розрахунку конструкцій,
- проектів у системі BIM + Eurocode.

Це не геотехнічний інструмент, але надзвичайно ефективний для архітектурно-будівельної частини та перевірки конструкцій будівель.



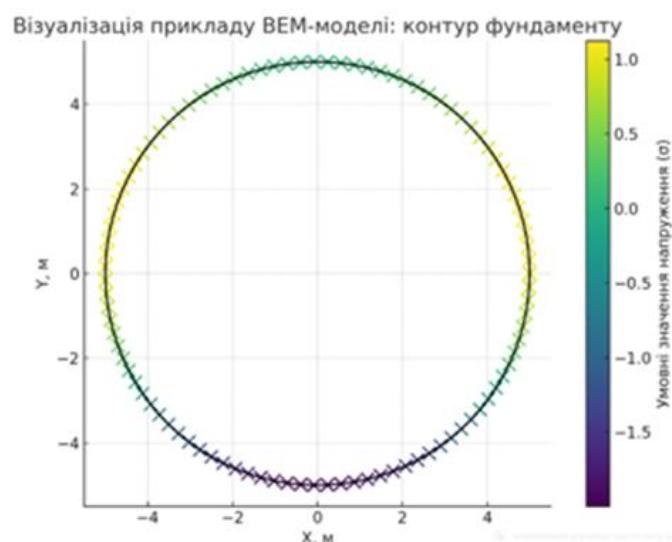
**BEMFORCE** — це спеціалізований числовий програмний комплекс для аналізу задач пружності, ґрунтової механіки та взаємодії «споруда–основа» на основі **методу граничних елементів (МГЕ)**. Особливо ефективний для **моделювання фундаментів, підірних конструкцій, тунелів, ущільненого середовища** тощо.

**Ключові можливості BEMFORCE:**

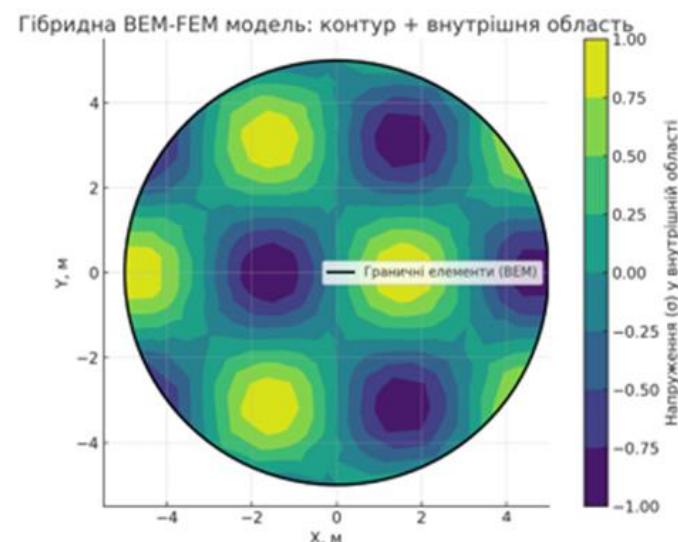
- ✓ Аналіз НДС фундаментів, тунелів, анкеронок, масивів ґрунту
- ✓ Теорія пружності, контактні задачі, пружне середовище
- ✓ Статичні, контактні, пружно-пластичні задачі BEM
- ✓ Постпроцесинг МСЕ-моделей, гібрид МГЕ–МСЕ
- ✓ Графіки переміщень, тиску, ізолінії, контурні діаграми
- ✓ Краєві квадратичні/лінійні елементи
- ✓ Фундаменти, взаємодія споруда–основа, укоси, анкери

BEM++ — потужний open-source фреймворк для наукових і інженерних задач BEM.

**BEMFORCE** — приклад вузькоспеціалізованого інструменту для геотехнічного аналізу з високою точністю при моделюванні взаємодії споруди з основою, хоча і з обмеженнями на складність сценаріїв.



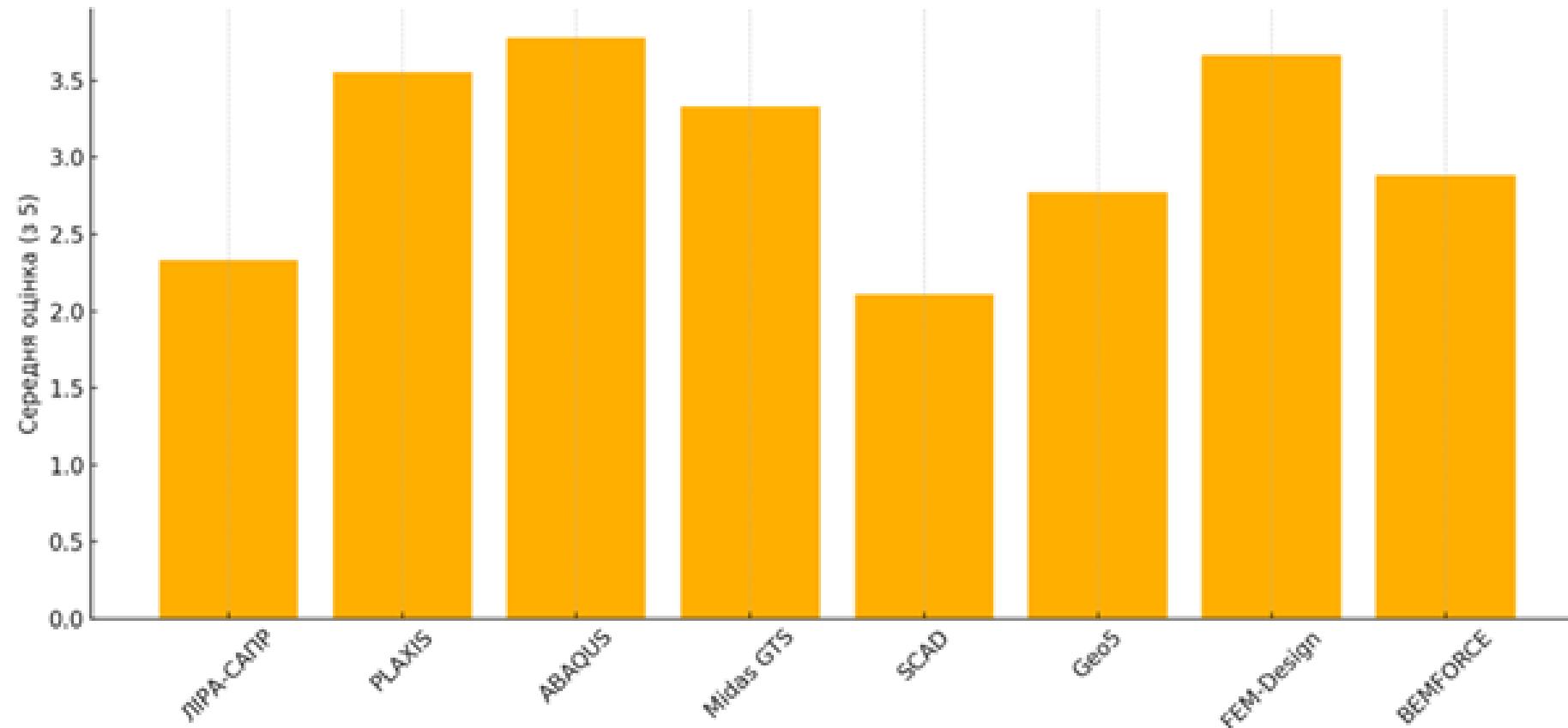
а) приклад візуалізації моделі, характерної для методу граничних елементів (BEM): показано контур фундаментної плити з умовними ізолініями напружень на межі. Цей підхід ілюструє, як BEM обробляє лише граничні елементи, а не всю область.



б) приклад гібридної МГЕ-МСЕ:  
- контур фундаменту (чорна лінія) розраховується методом граничних елементів;  
- внутрішня область заповнена МСЕ-сіткою (трикутники), що дозволяє моделювати просторовий розподіл напружень.

Цей підхід комбінує переваги обох методів: високу точність МГЕ на межі та гнучкість МСЕ у внутрішній області

# Порівняльна середня оцінка програмних комплексів



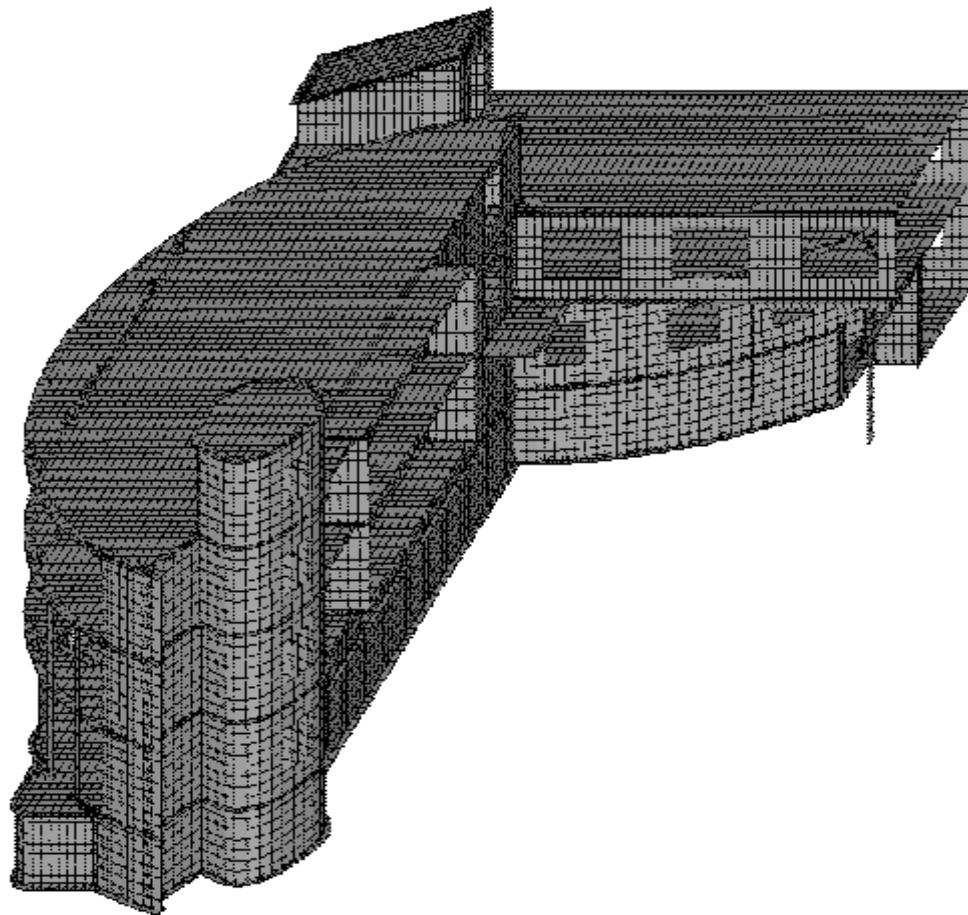
## Основні критерії оцінювання

- **Функціональність** (широта застосування, типи конструкцій, види навантажень, моделі)
- **Зручність інтерфейсу** (інтуїтивність, графіка, легкість створення моделей)
- **Підтримка національних норм** (відповідність ДБН, Eurocode, SNIP5)
- **ВІМ-інтеграція / експорт** (IFC, Revit, Tekla, DWG, DXF, API6)
- **Гнучкість моделювання** (можливість редагувати сітку, задавати власні навантаження та моделі)
- **Підтримка геотехніки** (моделі ґрунтів, підсилення, дренажі, консолідація)
- **Швидкодія та ресурсоемність** (продуктивність на складних задачах)
- **Документування / звіти** (автоматичне формування звітів, креслень, таблиць)
- **Вартість / ліцензування** (доступність, можливості для навчання та академічних потреб)

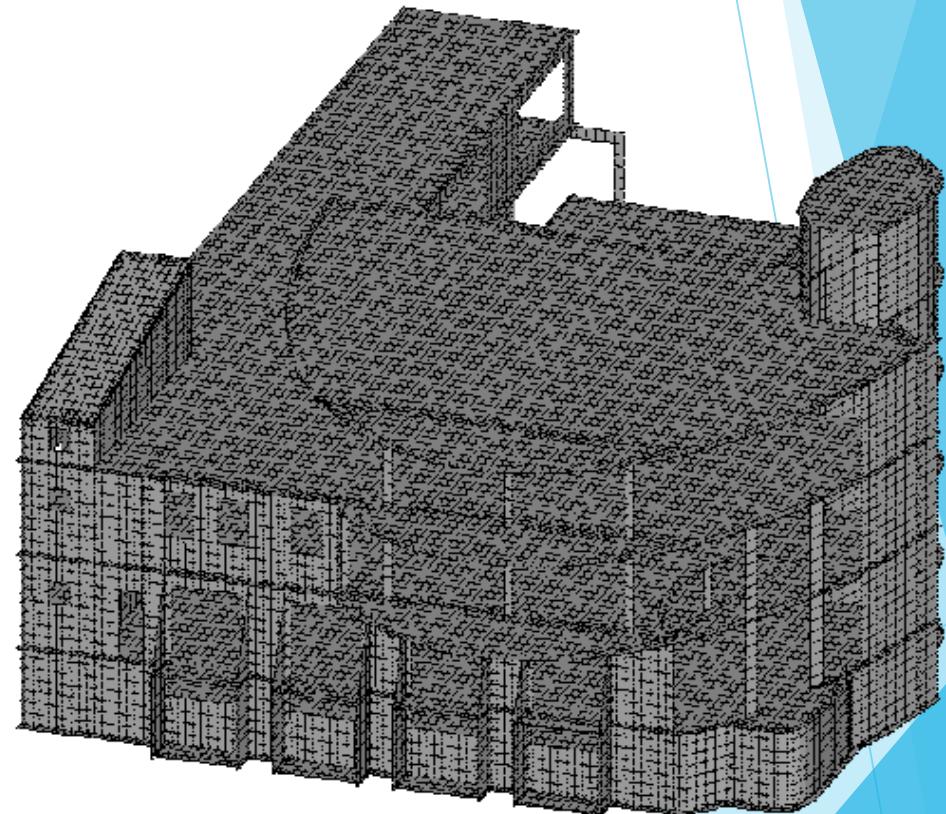
# Результати побудови та розрахунку МСЕ моделі будівлі за допомогою ПК «ЛІРА-САПР»

## Скінченно-елементна модель 3-х поверхової будівлі з підвалом

На етапі дискретизації розміри сітки скінченних елементів були прийняті за результатами розрахунків з послідовним згущенням триангуляційної сітки. Це дало можливість отримати уяву про точність числового розрахунку. Відносна похибка результатів розрахунку за попередніми розмірами сітки (400×400 мм) та наступними (300×300 мм, зменшеними в 1,5 раз) не перевищувала 1%.

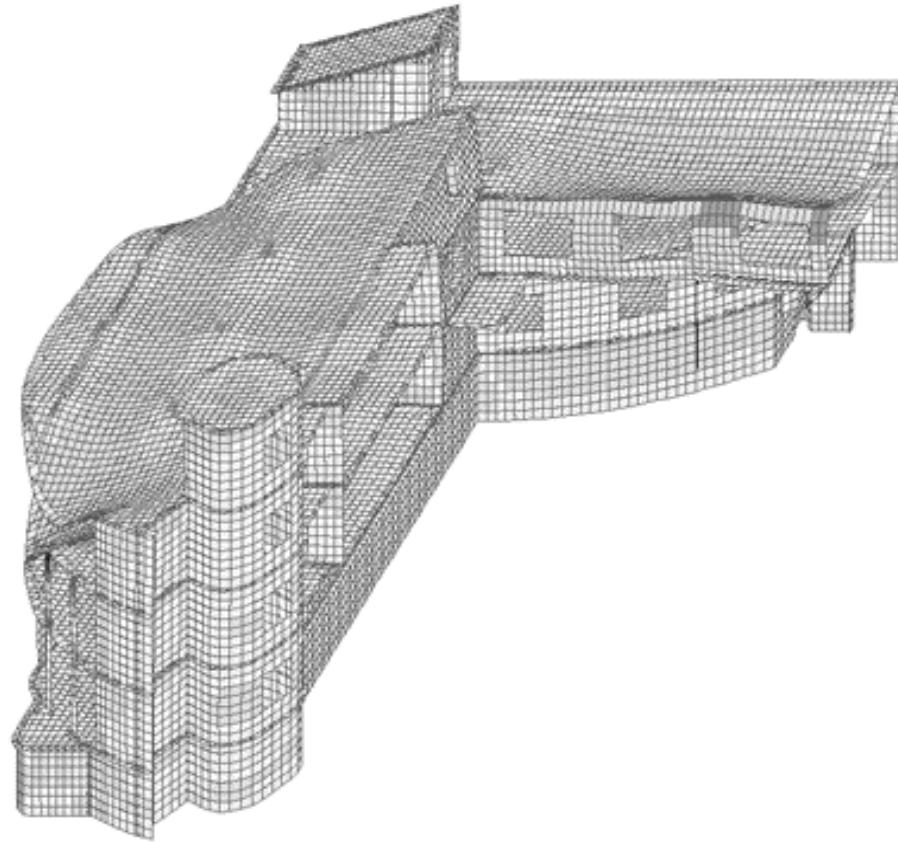
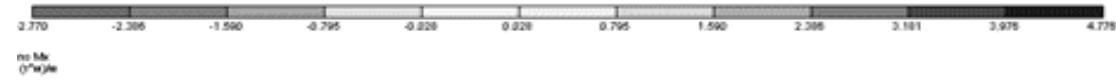


а) вигляд збоку

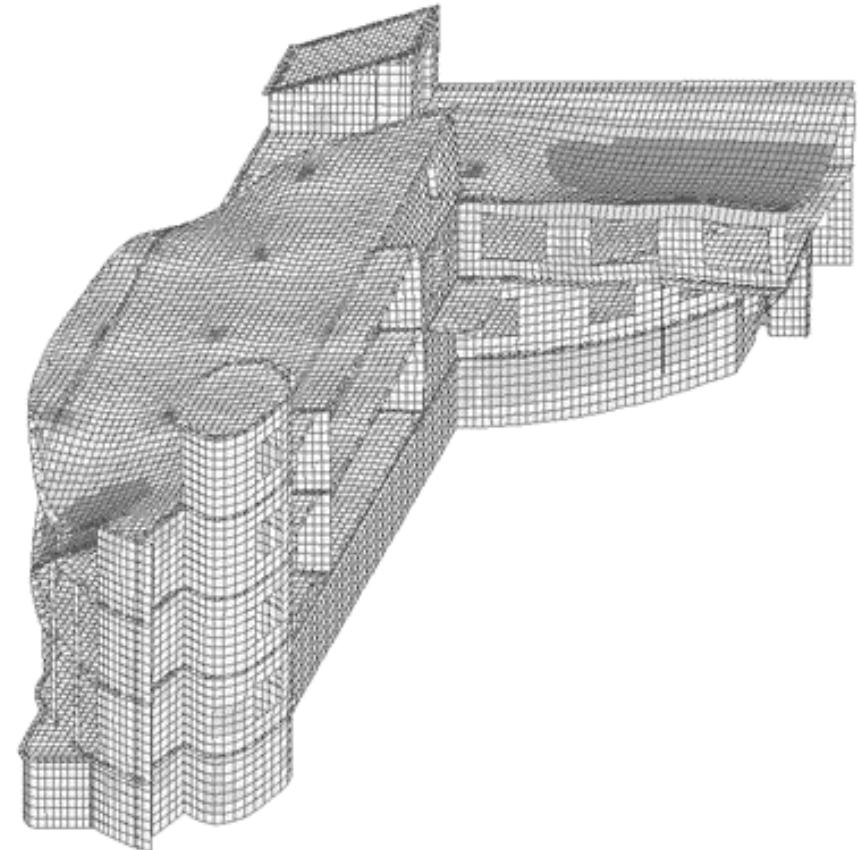
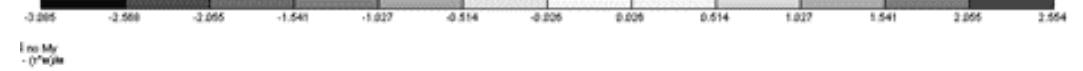


б) фронтальна сторона

# Ізополя внутрішніх зусиль скінченно-елементної моделі побудована (ПК «Ліра»)

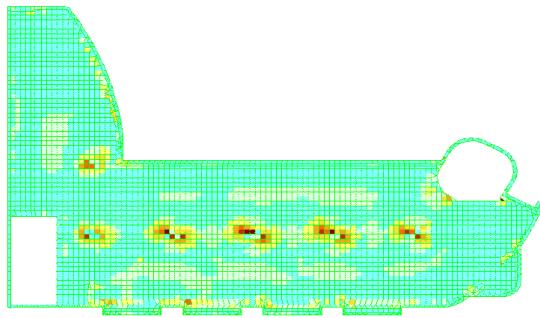


a)  $M_x$

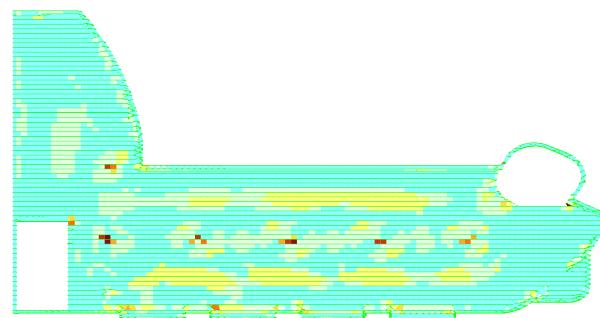


б)  $M_y$

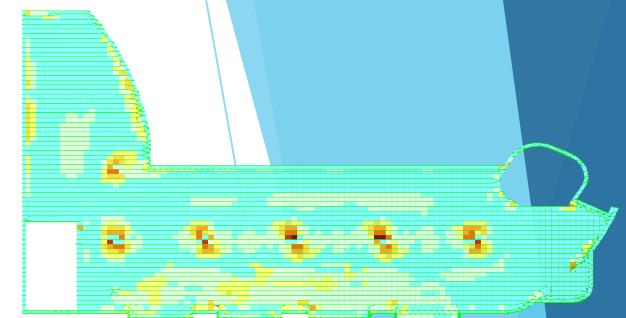
# Клейонка армування перекриття (ПК «Ліра»)



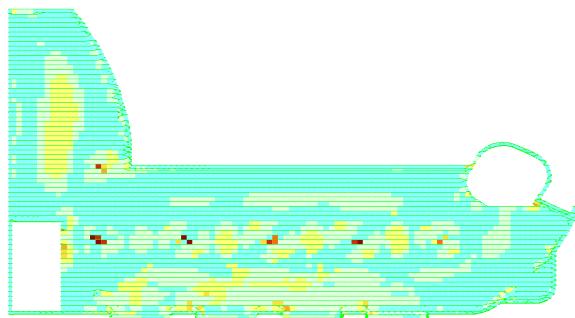
нижньої арматури вздовж осі X (1 поверх)



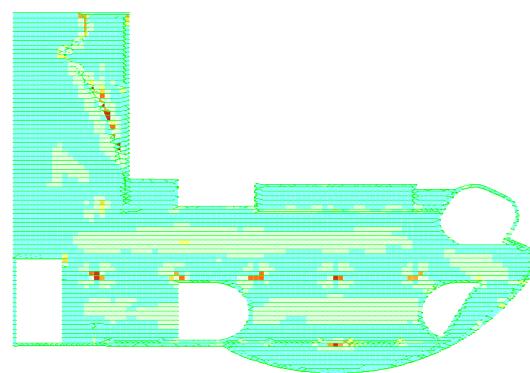
верхньої арматури вздовж осі X (1 поверх)



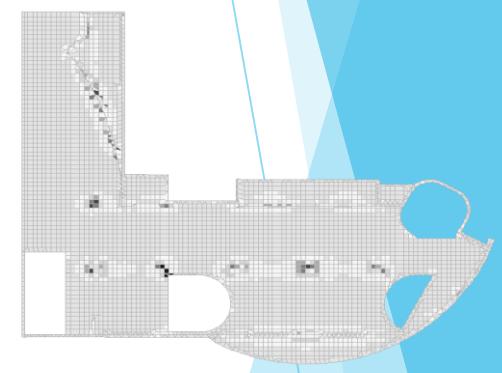
нижньої арматури вздовж осі Y (1 поверх)



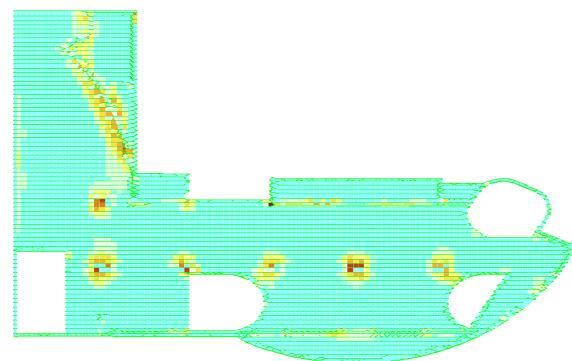
верхньої арматури вздовж осі Y (1 поверх)



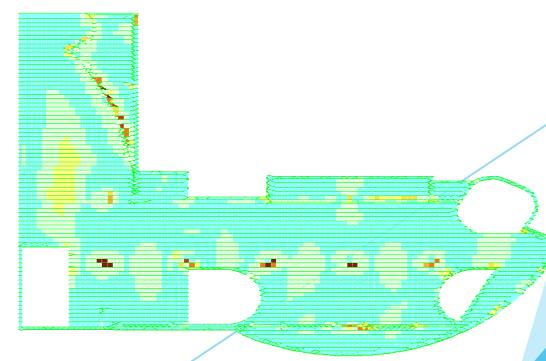
верхньої арматури вздовж осі X (2 поверх)



нижньої арматури вздовж осі X (2 поверх)

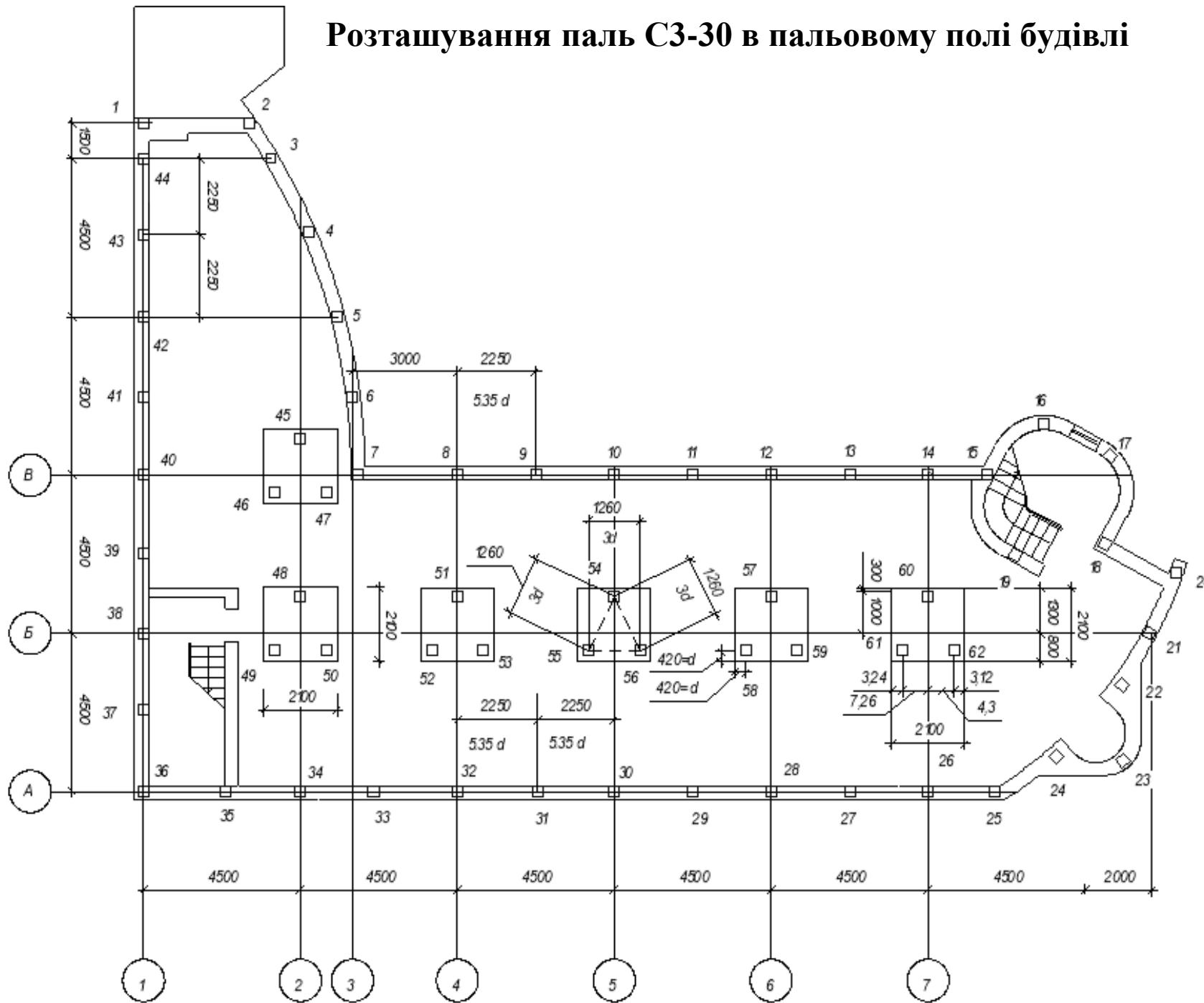


нижньої арматури вздовж осі Y (2 поверх)



верхньої арматури вздовж осі Y (2 поверх)

## Розташування паль СЗ-30 в пальному полі будівлі



### Фундамент в варіанті паль-стійок будівлі

В будівлі, яка проєктується, фундаментна конструкція розташовується на глибині 2 м від земної поверхні, з огляду на підвальне приміщення. Згідно з інженерно-геологічними умовами будівельного майданчика на 3 м нижче підшви підвалу будівлі знаходиться дресвяний ґрунт з пісчано-глинистим заповнювачем, розрахунковий опір якого  $R_0 = 20$  МПа. Тому є доцільним в якості фундаментної конструкції обрати палі-стійки СЗ-30, які будуть опиратись на практично нестискувану дресвяну основу.

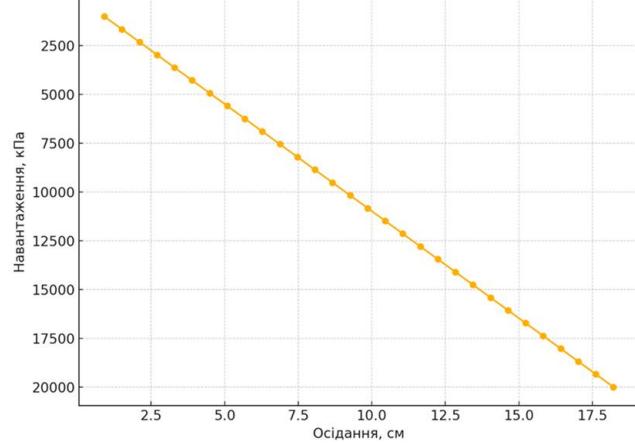
Міцність тіла фундаменту перевіряється за розрахунковим навантаженням.

Фундаментна конструкція проєктується з бетону М350 (В25).

Максимальне зусилля в колоні на рівні підвалу за даними розрахунку на ПК «ЛІРА»  $N1 = 94$  тс

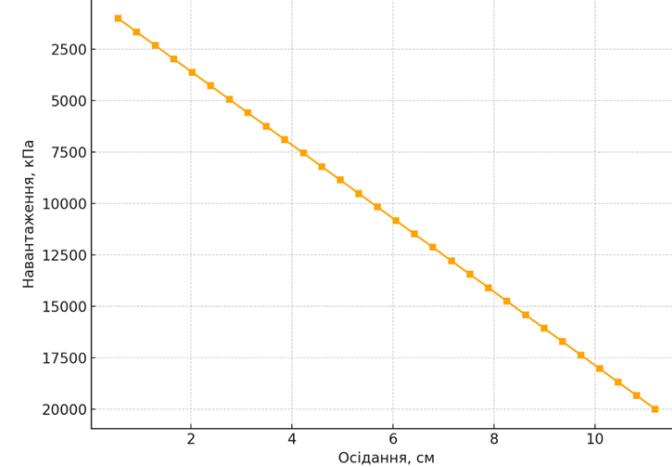
# Графіки навантаження–осідання будівлі

Графік навантаження – осідання фундаментної плити (природна основа)



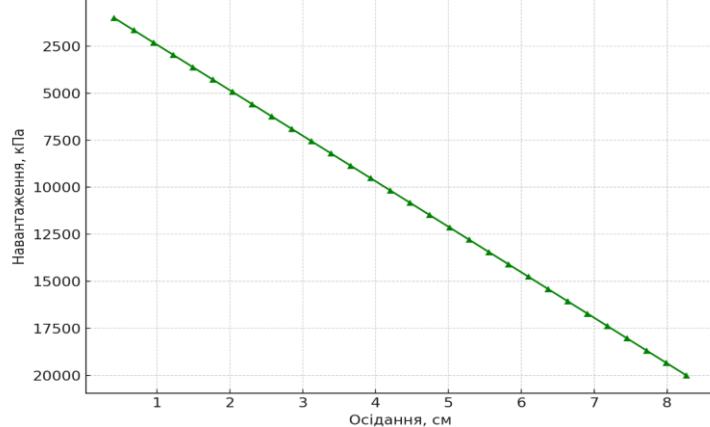
Фундаментна плита  $h=50\text{см}$  на природних ґрунтах (згідно інженерних вишукувань на будівельному майданчику), **осідання 16,58см** при середньозважених характеристиках:  $E=8673\text{кПа}$ ;  $\rho=1,664\text{т/м}^3$ ;  $c=15,46\text{кПа}$ ;  $\nu=0,35$ ;  $\varphi=0,260\text{радіан}$ . Вага будівлі-18205кПа,

Графік навантаження – осідання фундаментної плити (підсилення піском)



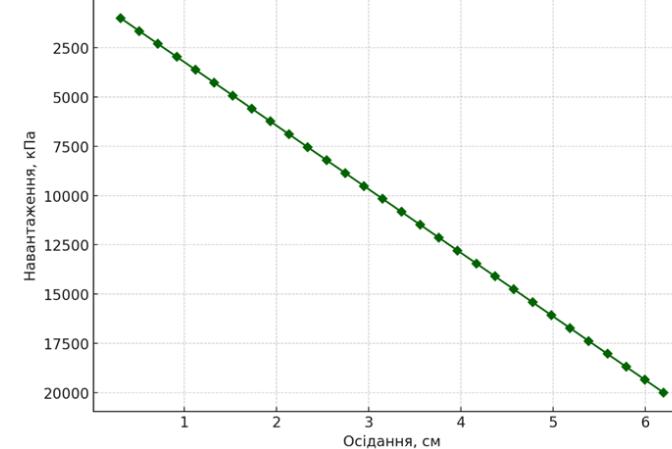
Фундаментна плита  $h=50\text{см}$  при заміні 1м ґрунту мілким піском ( $E=25\text{МПа}$ ), **осідання 10,19см** при середньозважених характеристиках:  $E=17520\text{кПа}$ ;  $\rho=1,806\text{т/м}^3$ ;  $c=12,06\text{кПа}$ ;  $\nu=0,3$ ;  $\varphi=0,3823\text{радіан}$ . Вага будівлі-18205кПа,

Графік навантаження – осідання фундаментної плити (щебнево-піщана суміш)



Фундаментна плита  $h=50\text{см}$  при заміні 1м ґрунту на щебнево-піщану суміш ( $E=40\text{МПа}$ ), **осідання 7,52см** при середньозважених характеристиках:  $E=21950\text{кПа}$ ;  $\rho=1,812\text{т/м}^3$ ;  $c=11,71\text{кПа}$ ;  $\nu=0,3$ ;  $\varphi=0,4389\text{радіан}$ . Вага будівлі-18205кПа,

Графік навантаження – осідання фундаментної плити (0,3 м + щебнево-піщана суміш 1 м)



Фундаментна плита  $h=30\text{см}$  при заміні 1м ґрунту на щебнево-піщану суміш ( $E=40\text{МПа}$ ), **осідання 5,64см** при середньозважених характеристиках:  $E=21950\text{кПа}$ ;  $\rho=1,812\text{т/м}^3$ ;  $c=11,71\text{кПа}$ ;  $\nu=0,3$ ;  $\varphi=0,4389\text{радіан}$ . Вага будівлі-18205кПа,

Нормативно допустиме осідання  $S_{\text{max}}=10\text{см}$  у відповідності до ДБН В.2.1-10:2018 «Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування»

## Висновок

Метод скінченних елементів дозволяє створювати деталізовані моделі будівельних конструкцій, аналізувати їх поведінку під різними навантаженнями і визначати ефективність проектних рішень в умовах реальних навантажень, що є критично важливим для безпеки та економії ресурсів у будівництві.

Метод граничних елементів (МГЕ) є ефективним інструментом для моделювання конструкцій у будівництві, особливо коли об'єкт контактує з нескінченним або напівнескінченим середовищем (як-от ґрунт, вода, повітря). Завдяки зменшенню розмірності задачі він забезпечує високу точність при менших обчислювальних витратах, особливо у задачах контакту, тріщиноутворення, динаміки.

Однак МГЕ має свої обмеження, зокрема щодо нелінійності та складної внутрішньої геометрії, через що він частіше використовується у поєднанні з МСЕ (гібридні методи). Попри це, метод залишається потужним засобом у геотехнічній інженерії, фундаментобудуванні, аналізі тріщин та хвильових процесів.

Поєднання МСЕ та МГЕ при числовому моделюванні, системи «наземна споруда – фундамент – основа» приводить до підвищення ефективності розв'язання задач механіки суцільного середовища в будівництві. Його основна ідея — розбити розрахункову область на дві зони:

- Обмежена область (наприклад, будівельна конструкція) аналізується методом МСЕ.
- Нескінченне або напівнескінченне середовище (наприклад, ґрунт, повітря, вода) описується методом МГЕ.

Таке комбінування дозволяє:

- використовувати МСЕ для складної внутрішньої геометрії,
- зберегти високу точність МГЕ для зовнішніх впливів і відкритих меж.

### Переваги гібридного методу

- Оптимальне моделювання нескінченних середовищ (ґрунтів, хвиль).
- Гнучкість в обробці складної геометрії всередині (завдяки МСЕ).
- Зменшення розмірності обчислювальної моделі.
- Вища точність у зоні взаємодії з основою або середовищем.

### Недоліки та виклики

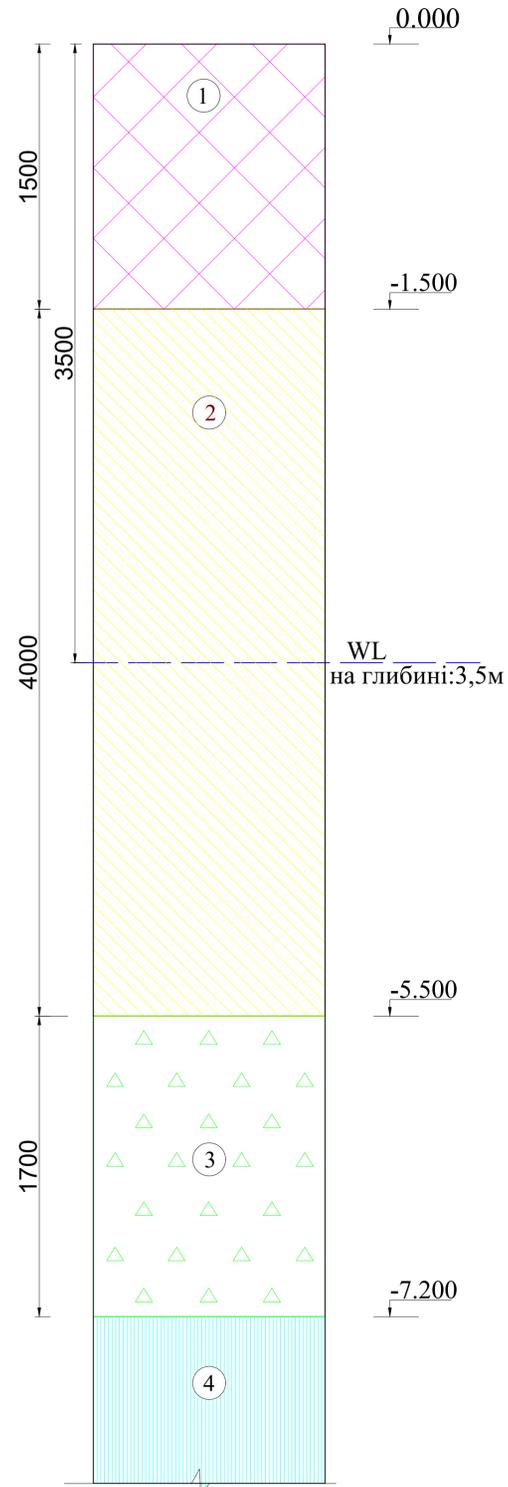
- Складність реалізації алгоритмів "стикування" МСЕ та МГЕ.
- Необхідність обміну даними між різними програмними середовищами.
- Обмежена кількість готових програм, які підтримують повноцінну інтеграцію.
- Підвищені вимоги до кваліфікації користувача.

- ▶ Гібридний підхід МСЕ–МГЕ є перспективною технологією для числового моделювання складних будівельних задач, де важливо одночасно:
  - ▶ точно враховувати поведінку конструкції (МСЕ),
  - ▶ і вплив зовнішнього середовища (МГЕ).
- ▶ Особливо цінний при аналізі взаємодії фундаменту з основою, сейсмічних хвиль, контактних явищ та розрахунку тріщин. У сучасній практиці все частіше застосовується у геотехнічному моделюванні, динаміці споруд та механіці руйнування.

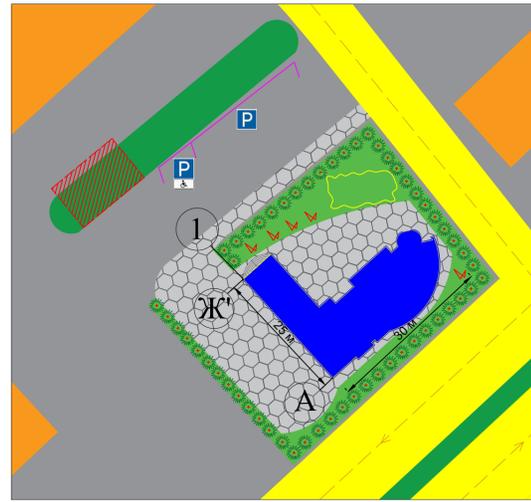
# Геологічний розріз будівельного майданчика

# Генплан в межах забудови

Технічні вказівки по влаштуванню ростверку



Пів



## Умовні позначення

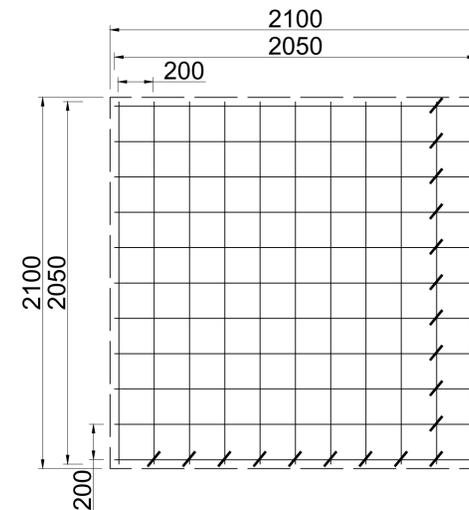
- насипний ґрунт
- суглинок м'якопластичний
- дрес'яний ґрунт з пісчано-глинистим заповнювачем
- глина тугопластична
- ґрунтові (підземні) води
- будівля, що проектується
- прибудинкова територія, що проектується
- покриття майданчику "прес-бетоном" (нове будівництво)
- озеленення (нове будівництво)
- дорожнє полотно
- існуючі забудови
- озеленення (існуюче)
- існуюча прибудинкова територія
- декоративна туя (нове будівництво)
- квітник (нове будівництво)
- трояндовий кущ (нове будівництво)
- укриття закопаного типу

- парковка на 12 парко-місць (нове будівництво)

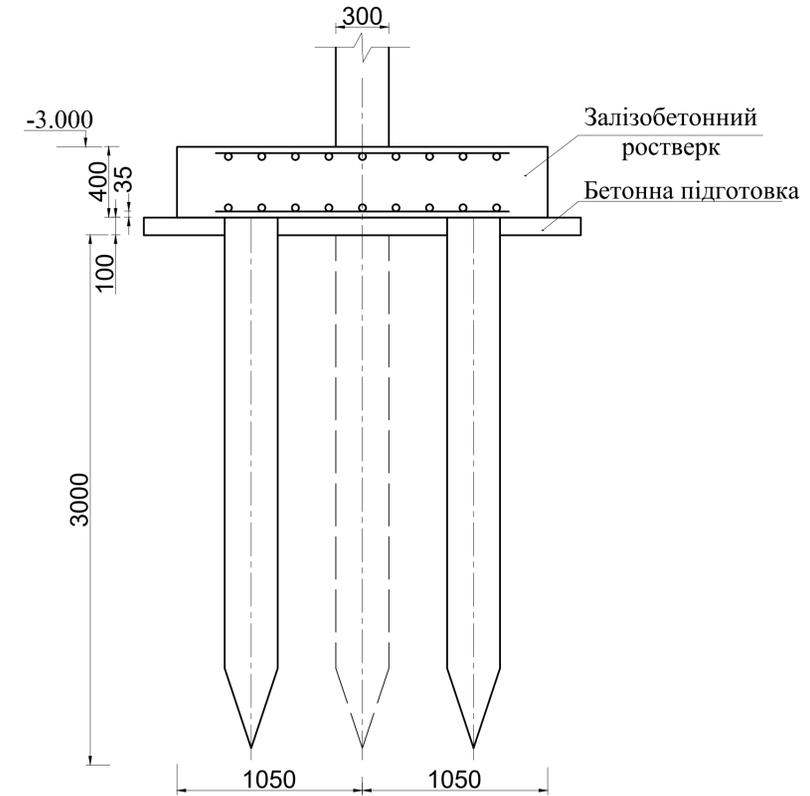
- парковка для людей інклюзивними особливостями (нове будівництво)

1. Ростверк передбачений товщиною 400 мм з бетону М 350 (В25).
2. Для армування використовувати арматуру по ДСТУ 3760:2019 класу А500С.
3. При зниженні температур нижче 0°C роботи виконувати відповідно технічних умов на виконання робіт в зимовий період, викладених в ДБН В.2.6-98~2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції».
4. При проведенні робіт керуватись ДБН А.3.2-2-2009 "Охорона праці і промислова безпека в будівництві".
5. Зварювання арматури А500С виконувати по ДСТУ Б В.2.6-169:2011 як для арматури А500С.
6. Гнуття арматурних стрижнів класу А500С виконувати тільки у холодному стані.
7. З'єднання хомутів до робочої арматури виконувати за допомогою низьковуглицевої в'язальної чорної проволочки складену в два рази  $\varnothing 1,1\text{-}0\text{-}4$
8. Просторові каркаси виконати з окремих стержнів заданої форми.
9. Поперечну арматуру від продавлювання виконувати з окремих стрижнів з'єднаних за допомогою перпендикулярних стрижнів.
10. З'єднання повздовжньої робочої арматури в нижній зоні плити виконувати на опорах, а робочих арматурних стержнів верхньої зони виконувати в прольоті.
12. Стики стрижнів виконувати "врозбіжку", при цьому площа перерізу стрижнів з'єднаних в проміжку 800 мм повина бути не більше 50% загальної площі січення робочої арматури.
13. Захисний шар бетону біля нижньої грані бетону 25 мм, біля верхньої грані бетону 25 мм.

## Армувальна сітка кроком 200x200



## Фундамент з забивних паль



## Відомість витрат сталі по вісі "Б" для 4 колон

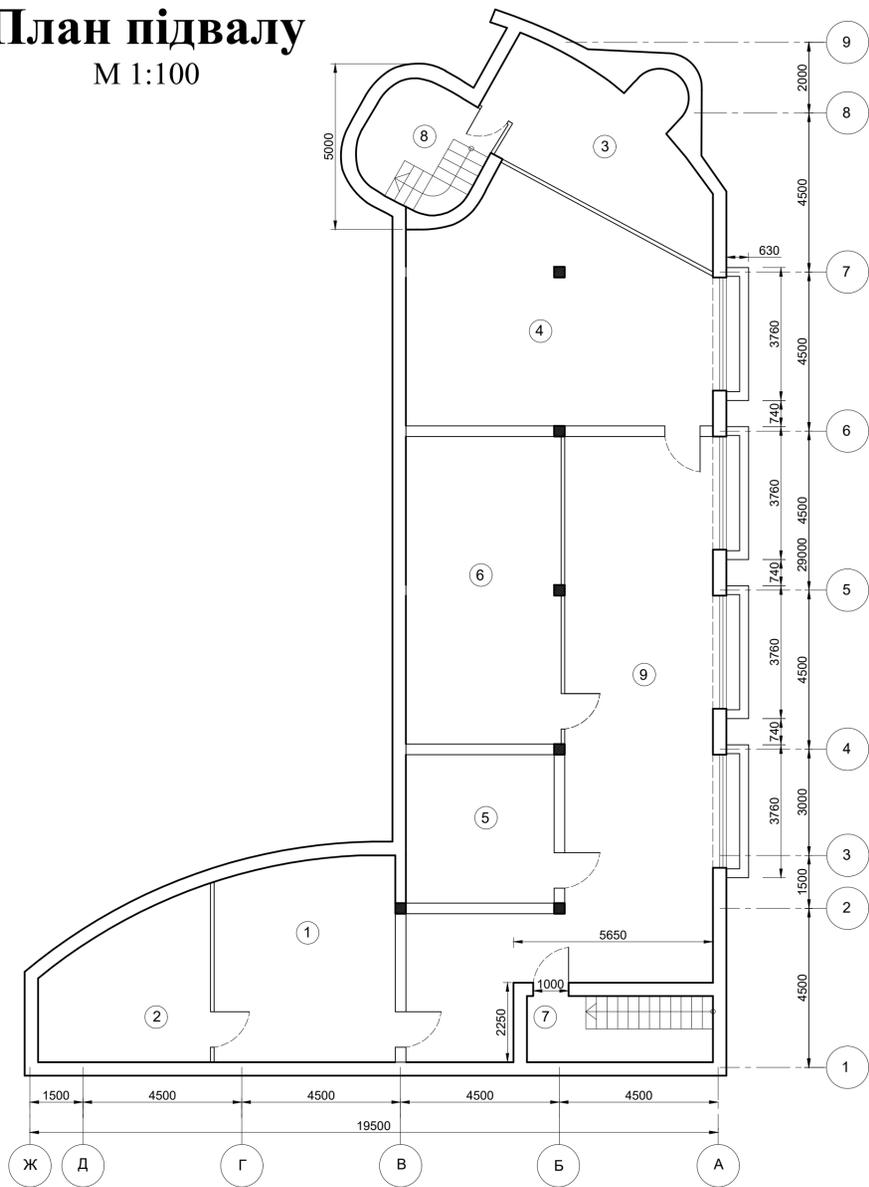
Позначення	Найменування	Номинальний d прокату, мм	Маса од., кг	Примітка
<b>Арматурні вироби</b>				Всього: 561,1 кг
ДСТУ 3760:2019	A500С	d=16	2,77	180,97 кг
ДСТУ 3760:2019	A500С	d=14	2,12	230,84 кг
ДСТУ 3760:2019	A500С	d=12	1,08	55,21 кг
ДСТУ 3760:2019	A500С	d=10	1,69	94,08 кг

08-11М.КР. 003-АБ					
Монолітно-каркасна трьох поверхова будівля з підвалом					
Зм.	Кільк.	Архив	№ док.	Підпис	Дата
Розробник	Рижкова Т.В.				
Перевірив	Моргул А.С.				
Керівник	Моргул А.С.				
Н. Контр.	Масвська І.В.				
ОпONENT					
Затвердив	Швець В.В.				

ВНТУ, гр.Б-23мз

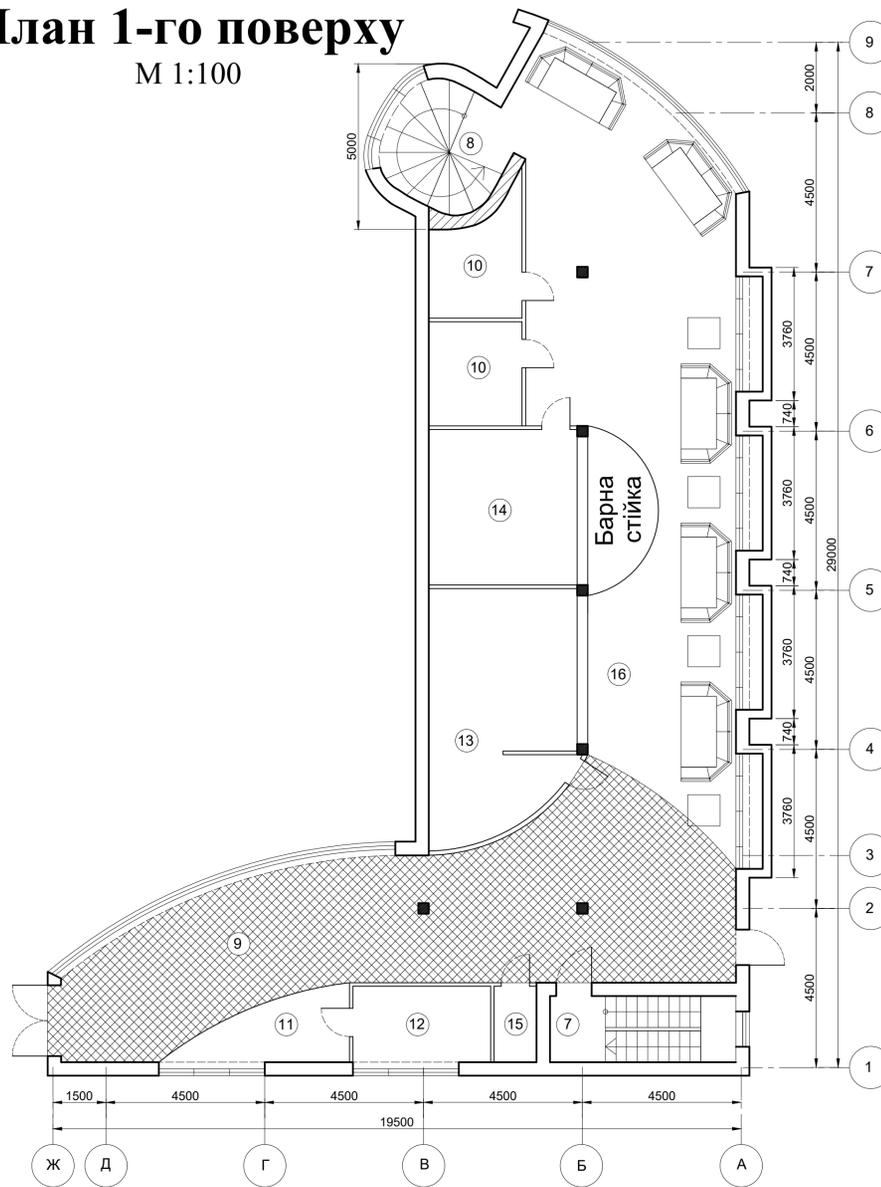
# План підвалу

М 1:100



# План 1-го поверху

М 1:100



# ЕКСПЛІКАЦІЯ ПІДВАЛЬНИХ ПРИМІЩЕНЬ

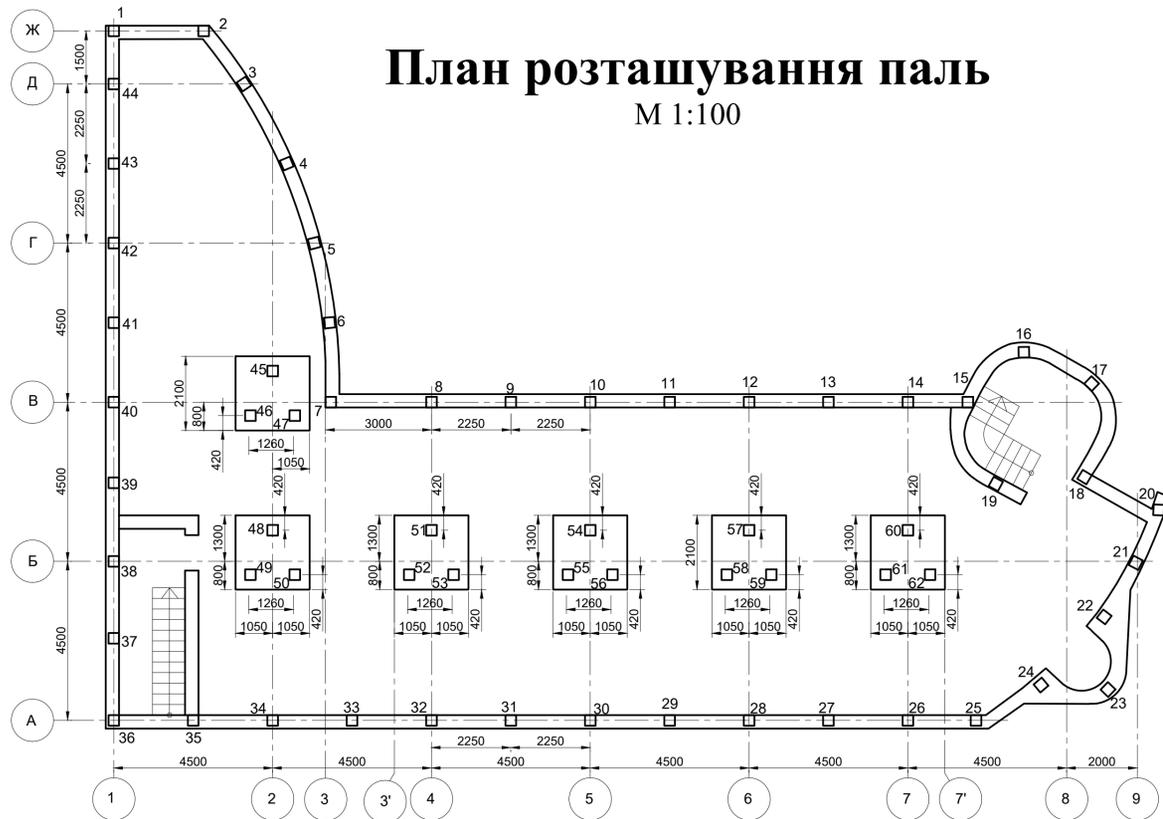
Номер	Назва	Площа
1	Котельня	29,2 м2
2	Бойлерна	19,2 м2
3	Електрощитова	24,0 м2
4	Погріб для зберігання овочів та фруктів	51,4 м2
5	Винна кімната	17,9 м2
6	Складські приміщення	38,3 м2
7	Сходишковий мраш	10,2 м2
8	Гвинтові сходи (башта)	10,8 м2
9	Коридор	80,5 м2
Всього:		281,5 м2

# ЕКСПЛІКАЦІЯ ПРИМІЩЕНЬ 1 ПОВЕРХУ

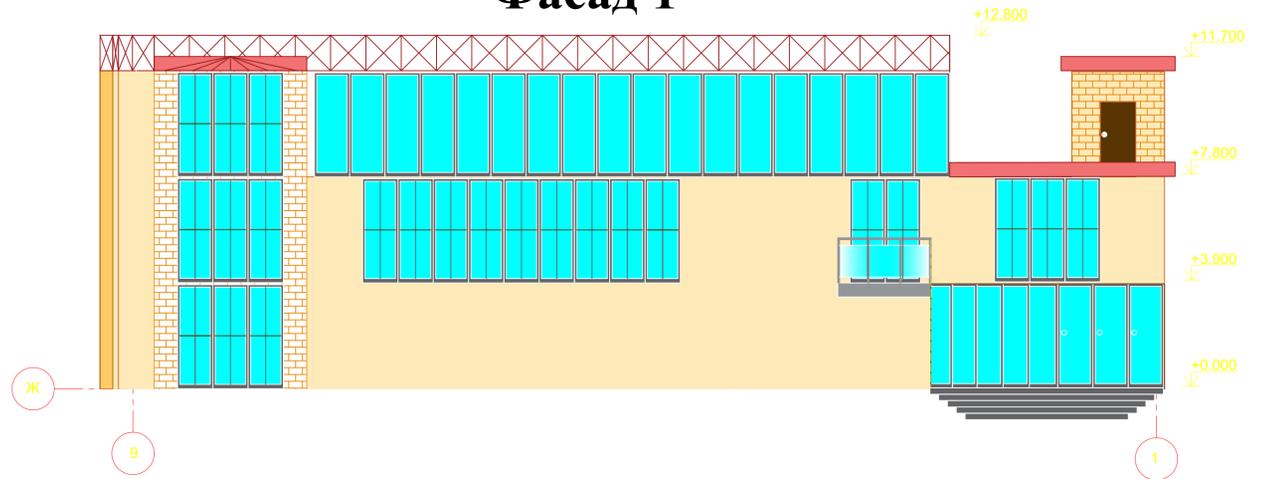
Номер	Назва	Площа
7	Сходишковий мраш	10,2 м2
8	Гвинтові сходи (башта)	10,8 м2
9	Коридор	79,4 м2
10	Санвузол	15,6 м2
11	Ресепшен	7,7 м2
12	Кімната охорони	8,5 м2
13	Гардероб	28,0 м2
14	Офісне приміщення	18,6 м2
15	Комора для інвентаря	2,7 м2
16	Фое / Бар	102,1 м2
Всього:		283,6 м2

# План розташування паль

М 1:100



# Фасад 1



### Примітка:

- планування приміщень може коригуватись відповідно вимогам конкретного інвестора;
- обов'язковим є розміщення: електрощитової, котельні, бойлерної, санвузлів та кухні.

					08-11М.КР. 003-АБ				
					Монолітно-каркасна 3-х поверхова будівля з підвалом в м.Вінниця				
Зм.	Кільк.	Аркуш	№ док.	Підпис	Дата				
Розробив	Рижкова Т.В.					Застосування МСЕ, МТЄ до числового моделювання системи «наземна споруда - фундамент - основа»	Стадія	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Моргуш А.С.						П	22	24
Керував	Моргуш А.С.					План розташування паль. План підвалу. План 1-го поверху. Фасад 1. Експлікація підвальних приміщень. Експлікація приміщень 1 поверху	ВНТУ, гр.Б-23мз		
Н. Контр.	Масьська І.В.								
Опонує									
Затвердив	Швець В.В.								

**Вказівки до виконання робіт**

Монолітне перекриття будинку запроєктовано товщиною 40см. Виготовлення армокаркасу з арматури класу А400С. Арматурна сітка з однаковим розміром осередків, кроком 200х200мм.

Під час зведення бетонних і залізобетонних конструкцій необхідно здійснювати контроль на всіх стадіях. Недотримання правил виконання робіт може викликати ряд дефектів, а саме: напливи, здування, оголення арматури, утворення порожнин, тріщин тощо.

За якість готової бетонної суміші відповідає завод, що її виготовляє. Бетонна суміш, потрапляючи на об'єкт, перевіряється на недопустимість розшарування складових частин і зміни рухомості, а також на дотримання допустимого часу перевезення. Перед бетонуванням перевіряється правильність встановлення опалубки та кріплень, закладних деталей. При контролюванні арматурних робіт перевіряється відповідність змонтованої арматури до робочих креслень і відхилень згідно з чинними будівельними нормами. Допустимі відхилення від проектної товщини захисного покриття: якщо товщина захисного шару до 15 мм - відхилення 3 мм; при товщині захисного шару більше за 15 мм - 5 мм. Якість вложеного бетону оцінюють за результатами випробувань на міцність, а в спеціальних конструкціях - на водонепроникність і морозостійкість.

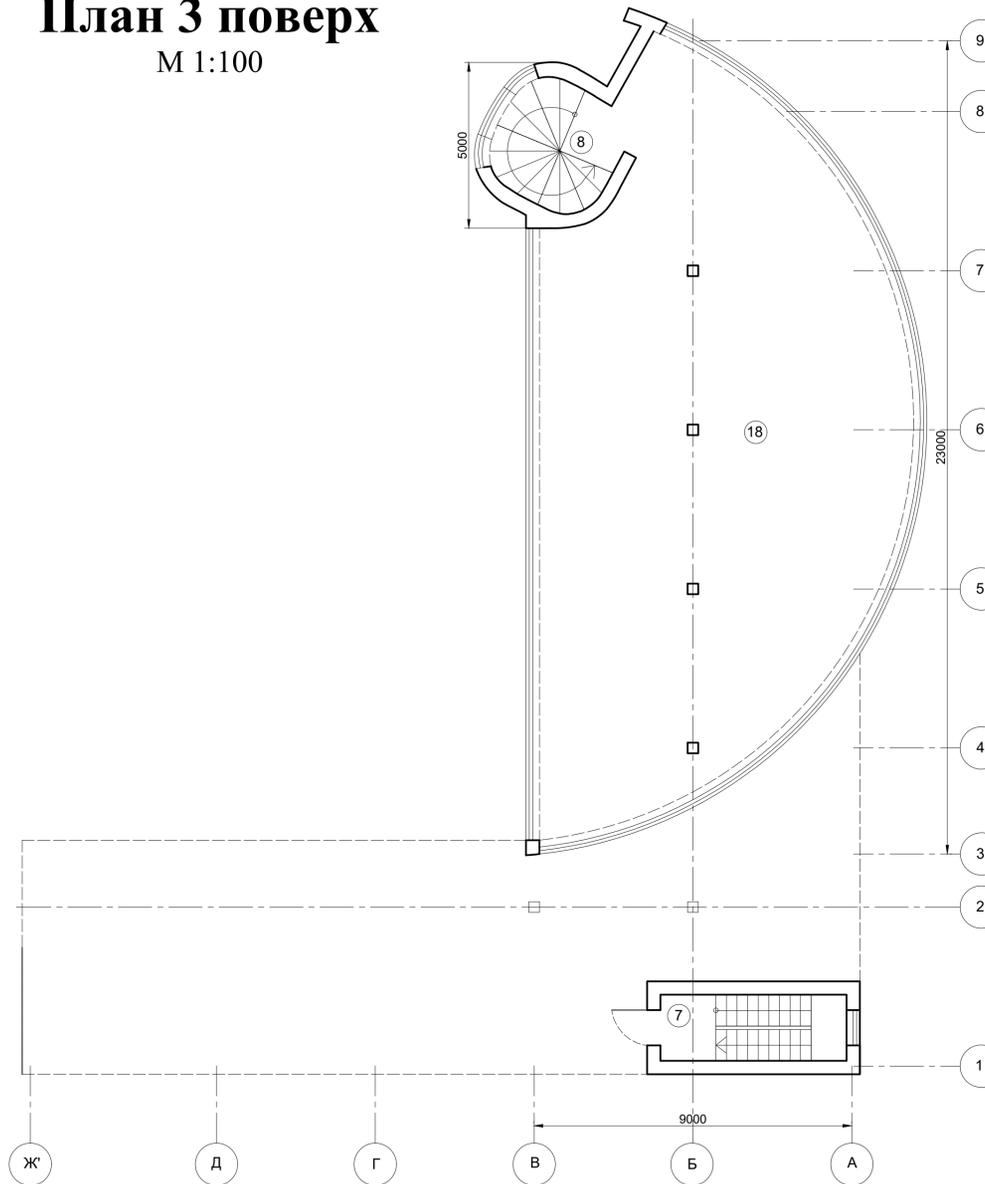
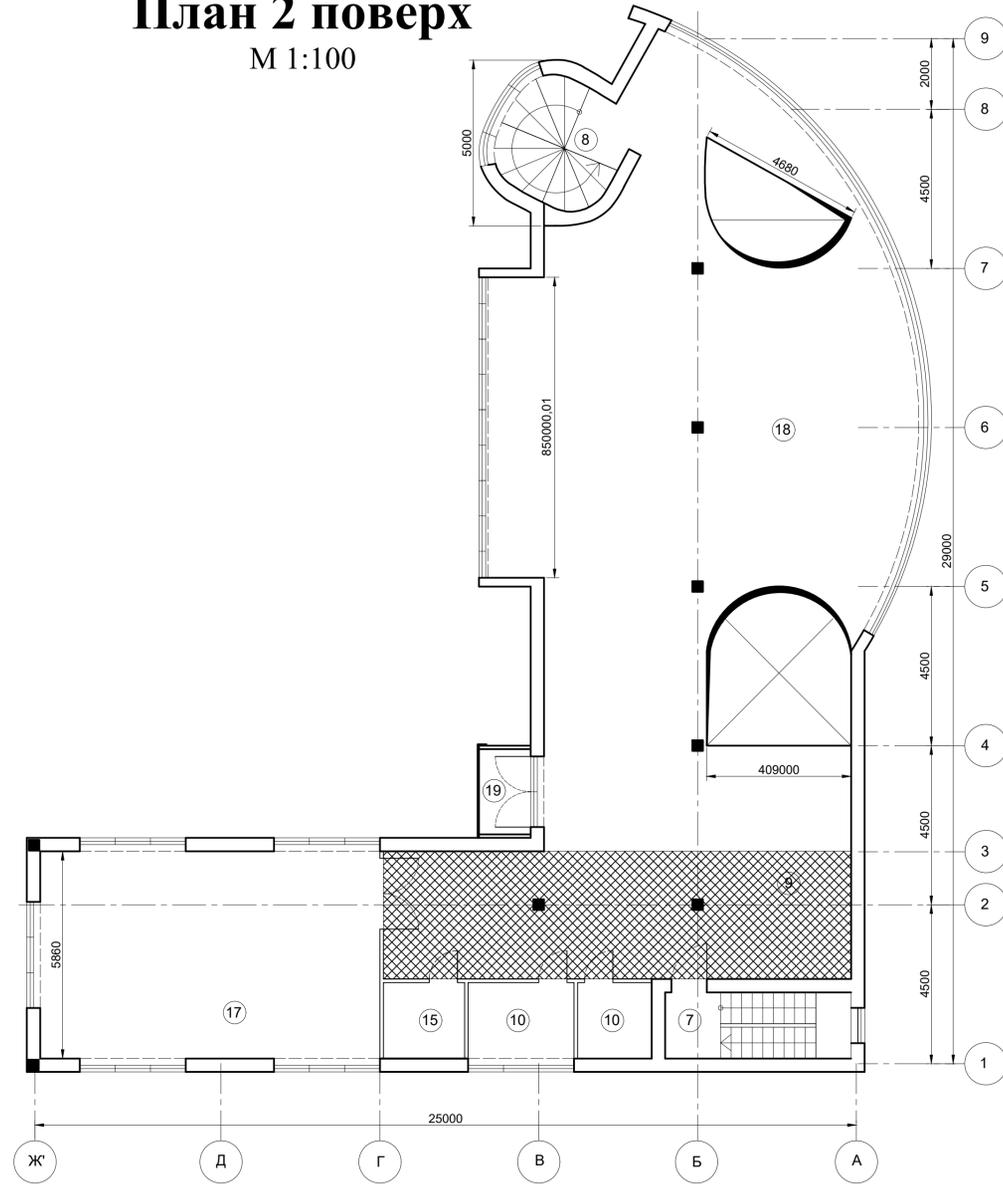


**План 2 поверх**

М 1:100

**План 3 поверх**

М 1:100



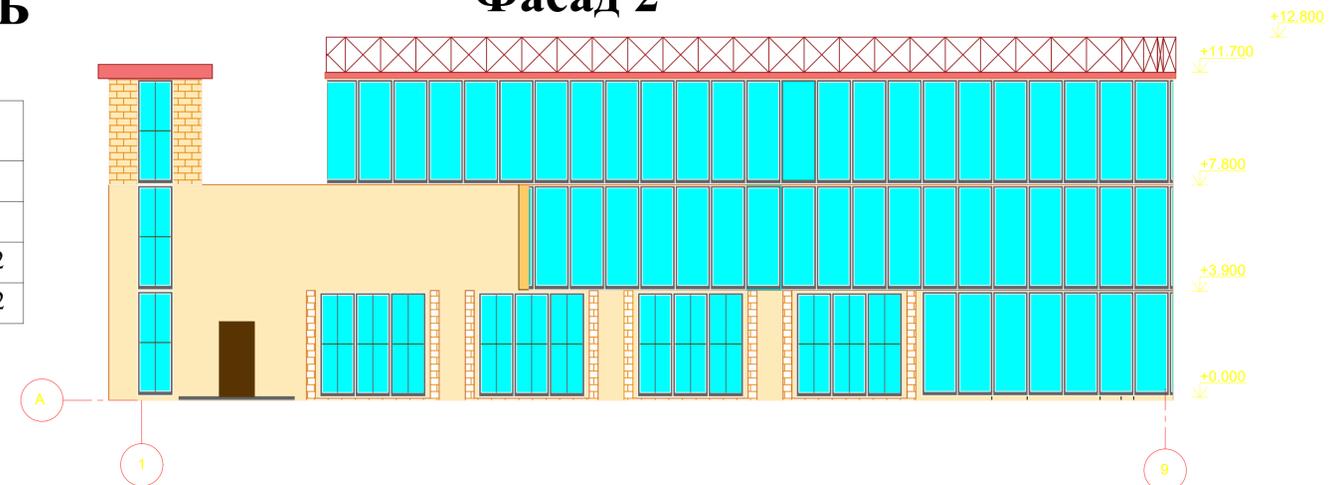
**ЕКСПЛІКАЦІЯ ПРИМІЩЕНЬ  
2 ПОВЕРХУ**

**ЕКСПЛІКАЦІЯ ПРИМІЩЕНЬ  
3 ПОВЕРХУ**

Номер	Назва	Площа
7	Сходишковий мрaш	10,2 м2
8	Гвинтові сходи (башта)	10,8 м2
9	Коридор	47,7 м2
10	Санвузол	11,1 м2
15	Комора для інвентаря	5,0 м2
17	Кухня	56,6 м2
18	Банкетна зала	184,0 м2
19	Балкон	3,2 м2
	<b>Всього:</b>	<b>328,9 м2</b>

Номер	Назва	Площа
7	Сходишковий мрaш	10,2 м2
8	Гвинтові сходи (башта)	10,8 м2
18	Банкетна зала	176,9 м2
	<b>Всього:</b>	<b>197,9 м2</b>

**Фасад 2**



					08-11М.КР. 003-АБ				
					Монолітно-каркасна 3-х поверхова будівля з підвалом в м.Вінниця				
Зм.	Кільк.	Аркуш	№ док.	Підпис	Дата				
Розробив	Рижкова Т.В.					Застосування МСЕ, МТБ до числового моделювання системи «наземна споруда - фундамент - основа»	Стадія	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Моргул А.С.						П	23	24
Керівник	Моргул А.С.					План 2 поверх. План 3 поверх. Фасад 2 Експлікація приміщень 2 поверху. Експлікація приміщень 3 поверху	ВНТУ, гр.Б-23мз		
Н. Контр.	Масвська І.В.								
Опонуєнт									
Затвердив	Швець В.В.								



## ВІДЗИВ

керівника на магістерську дисертацію Рижкової Тетяни Володимирівни  
ЗАСТОСУВАННЯ МСЕ, МГЕ ДО ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ  
СИСТЕМИ "наземна споруда – фундамент– основа"

яку представлено на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 192 –  
Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма - Промислове та  
цивільне будівництво.

Робота Рижкової Т.В. виконана на кафедрі промислового та цивільного  
будівництва ВНТУ згідно плану наукових досліджень кафедри.

Метою роботи є розробка нових методів та методологій розрахунку несучої  
спроможності пальових фундаментів. В роботі Рижкової Т.В. використано  
процес моделювання взаємодії паль з ґрунтовою товщею з використанням  
методу граничних елементів. При створенні розрахункової моделі було  
змодельована сумісна робота залізобетонної фундаментної конструкції та  
ґрунтової основи. Також було вирішено питання підвищення несучої  
спроможності фундаментних конструкцій.

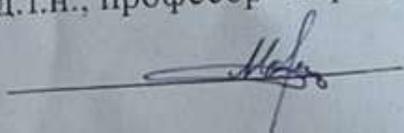
Результати роботи Рижкової Т.В. впроваджено в навчальний процес ФБЦЕІ.

Дисертація Рижкової Т.В. являє собою завершене дослідженням та  
заслуговує на оцінку добре. Робота містить нові результати, які мають як  
наукове, так і прикладне значення. Всі основні результати отримані  
Рижковою Т.В. самостійно. Під час роботи над дисертацією проявлено  
достатні знання у практичному користуванні сучасними комп'ютерними  
програмними комплексами, проведено аналіз, систематизація та створення  
наукової інформації, вміння виконувати проектування з реалізацію  
програмно-обчислювальних засобів. Таким чином, Рижкова Т.В. притаманні  
якості молодого науковця, що може ставити і вирішувати важливі науково-  
технічні задачі сучасними засобами.

Вважаю, представлена наукова робота заслуговує на оцінку «75 С», автор  
заслуговує присудження кваліфікації магістра зі спеціальності 192 –  
Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма - Промислове та  
цивільне будівництво.

Науковий керівник

д.т.н., професор кафедри БМГА



А. С. Моргун

## ВІДЗИВ

офіційного опонента к. т. н., доц. Слободян Наталії Михайлівни на магістерську дисертацію Рижкової Тетяни Володимирівни " ЗАСТОСУВАННЯ МСЕ, МГЕ ДО ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ "наземна споруда – фундамент– основа",

яку представлено на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма - Промислове та цивільне будівництво.

Представлена на відгук магістерська дисертація складається з вступу, трьох розділів, містить таблиці, графіки, рисунки, загальні висновки, бібліографію та додатки. Робота складається з 61 сторінок і містить 22 рисунки, 7 таблиць, список використаних джерел з 33 найменувань і додатків на 10 сторінках.

Оформлення дисертації виконане відповідно до вимог чинного Положення про порядок підготовки магістрів у ВНТУ.

**Актуальність роботи** визначається гострою соціальною необхідністю в об'єктах соціально-побутового призначення, яка потребує збільшення об'ємів цивільного та промислового будівництва. Ріст об'ємів будівництва можливий при раціональному використанні нових видів фундаментів та сучасних технологій їх розрахунку та влаштування. Пальові фундаменти – найпоширеніші типи фундаментів – відзначаються надійністю при зведенні промислових та цивільних будівель. Проблема оцінки несучої спроможності фундаментної конструкції є визначальною в практичному проектуванні. Впровадження паль стримується недостатнім рівнем вивчення взаємодії палі з ґрунтом основи за існуючими методами визначення їх несучої здатності. Це веде до прийняття проектних рішень, що не відповідають дійсній роботі буронабивних паль.

**Наукова новизна** роботи полягає в наступному:

- вдосконалена математична модель прогнозування НДС паль для задач пружного напівпростору за МГЕ;
- одержано алгоритм та програму дослідження екстремальних характеристик стисливості ґрунтів, які слугують вхідними параметрами напрацьованої моделі;

- вдосконалено методику визначення несучої спроможності одиночних паль за прямим МГЕ для конкретних ґрунтових умов будівельного майданчика.

**Практична цінність** полягає в:

- створенні алгоритму та програми визначення екстремальних характеристик стисливості ґрунту;
- створенні нової технології прогнозування НДС та несучої спроможності паль за сучасним МГЕ;
- розроблення на основі запропонованої моделі програмного комплексу поведінки паль при дії вертикальних навантажень, який дає можливість на стадії проектування спрогнозувати НДС паль при конкретних ґрунтах, довжині та діаметрі палі.

**Зауваження**

Як зауваження по магістерській дисертації необхідно відмітити:

- необхідно вказати послідовність розрахунку фундаментних конструкцій за МГЕ.

Зроблене зауваження не знижує наукової цінності і практичного значення роботи. Загалом представлена наукова робота заслуговує на оцінку «75 С», а її автор заслуговує на присвоєння кваліфікації магістра зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма - Промислове та цивільне будівництво.

Офіційний опонент

к.т.н., доц. Слободян Н.М.

