

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра будівництва, міського господарства та архітектури

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

✓ Прикладання сучасних числових методів до визначення напружено-деформованого стану наземної та підземної частин будівлі

Виконав: здобувач 2 курсу, групи Б-23мз
спеціальності 192 «Будівництво
та цивільна інженерія»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Маковей О. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф.

(науковий ступінь, посада)

Моргун А. С.

(прізвище та ініціали)

«___» _____ 2025 __ р.

Опонент: ктн., доц.

(науковий ступінь, посада)

Слободян Н.М.

(прізвище та ініціали)

«___» _____ 2025 __ р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри БМГА

В. В. Швець

(підпис) (прізвище та ініціали)

«___» _____ 2025 __ року

Вінниця ВНТУ - 2025 __ р

Вінницький національний технічний університет

Факультет Будівництва, цивільної та екологічної інженерії

Кафедра Будівництва, міського господарства та архітектури

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Галузь знань 19 Архітектура та будівництво

Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія

Освітньо-професійна програма Промислове та цивільне будівництво



к.т.н., доц. Швець В. В.

2025 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ магістранта

Маковей Олесі Олександрівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Прикладання сучасних числових методів до визначення напружено-деформованого стану наземної та підземної частини будівлі керівник роботи Моргун Алла Серафимівна, д.т.н., проф. затверджені наказом вищого навчального закладу від "17" вересня 2024 року № 310

2. Строк подання студентом роботи 16.05.2025 року

3. Вихідні дані до 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 МГЕ до розрахунку несучої спроможності плитних фундаментів).

2.3. Моделювання НДС плитного фундаменту та аналіз результатів розрахунків. Моделювання НДС наземної частини споруди за МСЕ.

4. Технічна частина (розрахунку на протискування фундаментної плити)

5. Економічна частина (визначення економічного ефекту від впровадження результатів наукової розробки на прикладі технічного об'єкту).

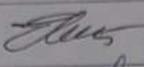
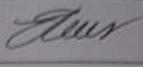
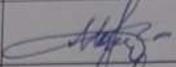
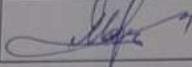
Висновки

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).

7. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|------------------|---|--|---|
| | | завдання видав | виконання прийняв |
| Економіка | Лялюк О.Г., доц. |  |  |
| Технічна частина | Моргун А.С. |  | |
| Наукова частина | Моргун А.С. |  | |

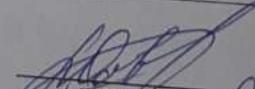
8. Дата видачі завдання 02.01.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

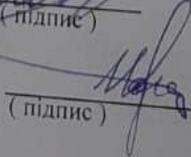
| № з/п | Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | При-мітка |
|-------|--|-------------------------------|-----------|
| 1 | Складання вступу до МКР | 02.01 – 15.01.25 | |
| 2 | Науково-дослідна частина | 02.01 – 14.02.25 | |
| 3 | Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту | 17.02 – 15.03.25 | |
| 4 | Основи та фундаменти | 17.03 – 12.04.25 | |
| 5 | Подання роботи на перевірку на плагіат | 14.04 – 19.04.25 | |
| 6 | Економічна частина | 14.04 – 30.04.25 | |
| 7 | Оформлення МКР | 01.05 – 12.05.25 | |
| 8 | Подання МКР на кафедру для перевірки | 12.05 – 16.05.25 | |
| 9 | Попередній захист | 19.05 – 22.05.25 | |
| 10 | Опонування | 26.05 – 29.05.25 | |

Магістрант

Керівник роботи


(підпис)

Маковей О.О.


(підпис)

Моргун А.С.

АНОТАЦІЯ

УДК 624.15 Маковей О.О. “Прикладання сучасних числових методів до визначення НДС наземної та підземної частин будівлі”. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 192 – будівництво та цивільна інженерія, освітня програма – промислове та цивільне будівництво. Вінниця: ВНТУ, 2024. 74 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 24 назв; рис.: 20; табл.: 1.

Магістерська робота присвячена актуальному питанню розрахунку наземної та підземної частин будівель та споруд – удосконаленню математичної моделі ґрунтової основи для здійснення нелінійних практичних розрахунків. В роботі наводиться теоретичні основи дослідження НДС споруди за МСЕ та роботи фундаментних конструкцій 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. Механічні властивості ґрунтів будівельного майданчика 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 етапи розрахунку та уявлення про особливості поведінки під навантаженням фундаментної плити. Теоретичні питання подано в об’ємі, який дозволяє продумано підійти до оцінки роботи ґрунтів в основах фундаментів і можливості їх проектування за межами пружності.

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: фундаментна плита, напружено-деформований стан, метод скінчених елементів, метод граничних елементів.

ABSTRACT

UDC 624.15

Makovei O.O. "Application of modern numerical methods to determine the VAT of the above-ground and underground parts of the building". Master's thesis on specialty 192 - construction and civil engineering, educational program - industrial and civil construction. Vinnytsia: VNTU, 2024. 73 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 24 titles; Fig.: 20; table: 1.

The master's thesis is devoted to the topical issue of calculating the above-ground and underground parts of buildings and structures - improving the mathematical model of the soil foundation for the implementation of non-linear practical calculations. The paper presents the theoretical foundations of the construction VAT research according to MSE and the work of foundation structures according to the modern numerical method of boundary elements (MBE).

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. Mechanical properties of construction site soils for the purpose of their practical use are formulated in the form of deterministic laws (in the form of equations of state). The master's thesis on the mechanics of dispersed elastic-plastic soil medium outlines the stages of calculation and an idea of the characteristics of behavior under the load of the foundation slab. 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 application of numerical MGE is justified by theoretical statements, supported and illustrated by numerical calculation data. In the master's thesis, solutions of the technical and economic parts for the construction, technical and economic justification of the effectiveness of the decisions are given.

Key words: foundation slab, stress-strain state, finite element method, boundary element method.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

| | |
|----------------------|--|
| Γ | – границя досліджуваного елемента |
| ДБНіП | – державні будівельні норми і правила |
| МСЕ | – метод скінчених елементів |
| МГЕ | – метод граничних елементів |
| НДС | – напружено-деформований стан |
| P_{ij}^*, u_{ij}^* | – напруження та переміщення в фундаментальних розв'язках Р. Міндліна |
| СЕ | – скінчений елемент |
| ГЕ | – граничний елемент |
| ξ | – точка прикладення сили $P=1$ в півплощині |
| x | – точка нагляду |
| САПР | – системи автоматизованого проектування |
| МКР | – магістерська кваліфікаційна робота |

ЗМІСТ

| | |
|--|-----------|
| ВСТУП | 3 |
| РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ | |
| ОСНОВНИХ ПОЛОЖЕНЬ МСЕ, МГЕ | 8 |
| 1.1 Основи сучасного числового методу скінчених елементів | 8 |
| 1.2 Вхідні параметри для моделювання НДС за МСЕ | 10 |
| 1.3 Основи сучасного числового методу граничних елементів | 15 |
| 1.4 Фундаментальне рішення | 17 |
| 1.5 Критерії текучості Треска, Мізеса, Мора, Кулона. Граничні круги Мора | 23 |
| 1.6 Висновки по розділу 1 | 26 |
| РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ НДС | |
| ЕЛЕМЕНТІВ ПІДЗЕМНОЇ ЧАСТИНИ БУДІВЛІ | 27 |
| 2.1 Особливості розрахунку за МГЕ дисперсного середовища ґрунту | |
| 2.2 Числові дослідження НДС підземної частини будівлі в м. Вінниці по вулиці Пирогова, 89-А | 28 |
| 2.3 Висновки по розділу 2 | 39 |
| РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НДС НАЗЕМНОЇ | |
| ЧАСТИНИ СПОРУДИ З ВРАХУВАННЯМ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ | |
| ПІДЗЕМНОЇ ТА НАЗЕМНОЇ ЧАСТИНИ | 40 |
| 3.1 Дослідження за МСЕ НДС наземної частини будівлі в м. Вінниці по вулиці Пирогова, 89-А. | 40 |
| 3.2. Висновки по розділу 3. | 48 |
| РОЗДІЛ 4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА. ПОСЛІДОВНІСТЬ | |
| РОЗРАХУНКУ НА ПРОТИСКУВАННЯ ФУНДАМЕНТНОГО | |
| РОСТВЕРКУ | 50 |
| 4.1 Послідовність розрахунку ростверку на продавлювання | 50 |
| 4.2 Висновки по розділу 4 | 51 |

| | |
|---|-----------|
| РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА. ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА | 53 |
| 5.1 Підрахунок обсягу робіт | 53 |
| 5.2 Розробка кошторисної документації | 58 |
| 5.3 Висновки по розділу 5 | 73 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРАЛ..... | 74 |
| ДОДАТОК А Завдання на магістерську кваліфікаційну роботу ... | 76 |
| ДОДАТОК Б Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень | 78 |
| ДОДАТОК В Відомість наповнення графічної частини | 79 |

ВСТУП

Зростаючі запити будівельної практики ведуть до ускладнення прикладних задач. Числовий експеримент дозволяє описати найважливіші види поведінки матеріалу, записати математичну модель, яка перевіряється за допомогою експериментів. Сучасні методи розрахунку є своєрідним мостом між теорією споруд, механікою твердого деформованого тіла, механікою дисперсних середовищ з однієї сторони та проблемами проектування з іншої.

На значних товщах просадкових ґрунтів і на теперішній час використовуються плитні фундаменти, які дозволяють в любий період року проводити спорудження фундаментів.

Тема МКР присвячена актуальній проблемі фундаментобудування та механіки ґрунтів – пружно-пластичному моделюванню сумісної роботи системи «ґрунтова основа – фундаментна конструкція». З метою визначення несучої спроможності фундаменту для забезпечення стійкості і малопросадковості споруди, тим самим уникнути її можливого нерівномірного просідання чи руйнування. Наявність пор в трифазних ґрунтах дають можливість отримувати свободу руху, тому з місць тимчасової дислокації частинки ґрунту можуть переміщуватись в пори. Головною характерною особливістю поведінки ґрунту є те, що їх деформація супроводжується пластичним деформуванням практично з самого початку їх навантаження, що обумовлює при розрахунку ґрунтових основ використання сучасної теорії пластичної течії.

Інтенсивний розвиток та широке застосування ЕОМ суттєво наблизило фундаментальні математичні проблеми до прикладних, посилило їх взаємовплив. Поява та широке сучасне застосування нового потужного методу досліджень – числового експерименту – як ніколи раніше тісно пов'язала фізичний зміст задачі, її математичне формулювання, числові методи розрахунку та сучасні ЕОМ.

В МКР для розв'язку лінійної та нелінійної задачі геомеханіки, було застосовано числовий МСЕ, числовий МГЕ, проведено обґрунтування

теоретичними викладками та продемонстровано даними числового розрахунку.

Актуальність теми. Тенденція до збільшення будівельних робіт по влаштуванню споруд в останні роки значно зросла, тому ця тенденція потребує напрацювання сучасних методів розрахунку системи "наземна частина – підземна частина" з метою ставити та розв'язувати задачі про поведінку цієї системи під навантаженням. Необхідність в сучасних розрахункових моделях відчувається вже зараз.

В зв'язку з цим магістерська кваліфікаційна робота (МКР)

“Прикладання сучасних числових методів до визначення НДС наземної та підземної частин будівлі”, яка відповідає сучасному рівню знань в області лінійного та нелінійного прогнозування НДС системи "наземна частина – підземна частина" і для розрахунку якої використано МСЕ, МГЕ та дилатансійну модель дисперсного середовища ґрунту, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. МКР виготовлена в рамках виконання науково-дослідних робіт кафедри Будівництва, міського господарства та архітектури ФБЕЦІ ВНТУ за темою кафедральної Науково - дослідної роботи № 60К1/14 «Дослідження НДС системи будівля-фундамент-основа в цілому та окремих її елементів і інноваційних технологій автоматизованого проектування, документування і управління проектних об'єктів у будівництві».

Мета і задачі дослідження. Метою МКР є прикладання розрахунково-теоретичного апарату методики розрахунку НДС системи "будівля–фундамент–основа" за МСЕ, МГЕ з урахуванням розробки нових методів і методик їх розрахунку і моделювання в системі «наземна та підземна частини споруд».

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

Основні завдання досліджень у досягненні поставленої мети були сформульовані і вирішені наступним чином:

- аналіз наукових робіт та нормативних документів в дослідній області, напружено-деформованого стан каркасу будівлі при сумісній роботі наземної і підземної частин висотних будівель та перерозподіл зусиль між елементами цієї системи;

- виявлення розширення (дилатансійних) залежностей деформування ґрунтів при числових дослідженнях роботи фундаментів;

- дослідження осідань багатоповерхових будівель, що будуються на палях та плитах;

- доведення теоретичних основ проектування за МГЕ фундаментних конструкцій та опрацювання методів і методик їх розрахунку й моделювання в системі «наземна частина - основа – фундамент», а також оцінки результативності проектного рішення;

- здійснення комплексних теоретичних і числових досліджень НДС системі «наземна та підземна частини споруд» і зрівняти з експериментальними даними.

Об’єкт дослідження. Об’єкт дослідження – напружено-деформований стан каркасу будівлі при сумісній роботі наземної і підземної частин висотних будівель та перерозподіл зусиль між елементами цієї системи.

Предмет дослідження. Проектування та будівництво наземної та фундаментної частини промислових та цивільних багатоповерхових будівель.

Методи дослідження. До методів дослідження заданої задачі належать:

- науково-технічні досягнення;
- розбір нормативних і літературних джерел;
- методи розв’язання задач будівельних конструкцій, механіки ґрунтів та фундаментобудування з використанням теорії граничної рівноваги;
- аналітичні дослідження із застосуванням методів теорії пружності та пластичності;
- числовий метод МСЕ та МГЕ для моделювання НДС системи;

- зрівнювальний аналіз результатів математичного моделювання з аналогічними відомостями відомих рішень та експериментом.

Наукова новизна отриманих результатів. Для вирішення поставленої задачі застосований метод, що поєднує в рамках однієї математичної моделі спроможність проводити розрахунок фундаментів за двома групами граничних станів: несучої спроможності та деформацій.

Застосовано новий метод оцінки ефективності проектних рішень плитних фундаментів з діапазоном оптимальних значень, який ураховує ступінь застосування деформаційних і міцнісних властивостей основи і фундаменту.

Одержала подальший розвиток методика визначення стисливої товщі зони ґрунту.

Одержано дані числових досліджень системи «основа-фундамент», і окремих її частин, і здійснено порівняння з експериментом.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення одержаних результатів полягає у:

- застосованні для визначення кількісної оцінки ефективності проектних рішень НДС системи «наземна частина – підземна частина» у проектно-вишукувальних організаціях;

- опрацьовано незмінні підходи до розв'язання задачі поведінки фундаментної плити в ґрунтовій основі;

- застосовані при здійсненні досліджень і науковому обґрунтуванні ефективних методів спорудження фундаментів будівель в рамках науково-технічного супроводу проектування та будівництва об'єктів у науково-дослідних організаціях;

- застосовані у навчальному процесі ВНЗ ВНТУ за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» при підготовці бакалаврів, магістрів.

Особистий внесок магістра. Застосування завдань досліджень, застосування вхідних даних для виконання розрахунків, аналіз і обробка результатів. Дискретизація системи «основа - фундаментна плита». Збирання

вхідних даних (інженерно-геологічних даних ґрунтової основи). Розбір числових результатів, розбір існуючих нормативних джерел по темі магістерської роботи.

Апробація результатів магістерської роботи. Апробацію основних положення і результатів МКР проведено на конференції «Молодь в науці» – 2025, ВНТУ.

Публікації. Головні положення, результати та висновки магістерської кваліфікаційної роботи відображені у тезах доповідей на конференції «Молодь в науці» – 2025, ВНТУ.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ ОСНОВНИХ ПОЛОЖЕНЬ МСЕ, МГЕ

1.1 Основи сучасного числового методу скінчених елементів

Фундаментом МСЕ є метод розв'язку краєвих задач, заданих рівняннями в частинних похідних. За допомогою дискретизуючої скінченими елементами апроксимації вихідні рівняння перетворюються в систему рівнянь першого порядку з великим числом невідомих, дану задачу при цьому, розв'язати набагато легше.

Чимало фізичних рівнянь зводяться до краєвих задач з частинними похідними. Тому сфера використання такого методу дуже велика.

При застосуванні МСЕ краєві задачі у рівняннях з частинними похідними перетворюються у варіаційні, що дозволяє в межах прийнятої апроксимації знаходити оптимальні рішення.

Головним принципом в МСЕ є принцип найменшої дії Лагранжа: явна траєкторія руху буде та, на якій повна потенційна енергія системи, буде мати найменше значення

$$\delta\Pi = \delta(U-A) = 0. \quad (1.1)$$

У локальному методі розв'язку задачі континуальної будівельної механіки та опору матеріалів формулюються у вигляд диференціальних рівнянь (фізичні рівняння, рівняння рівноваги, геометричні рівняння). Цей факт призводить до одержання системи диференціальних рівнянь 15-го порядку, що ускладнює математичну сторону розв'язку задачі.

Даний доказ стимулював розвиток інтегральних (енергетичних) методів розв'язання задач – сучасних числових методів МСЕ, МГЕ. Пробна задача розбивається на скінчені елементи (СЕ), застосовується пропозиція Пуассона про розбиття складної задачі на складові. Заміна положення, напруження кожного СЕ виявляється через переміщення, реактивні сили на його кінцях. Середовище подається як сукупність СЕ малих розмірів. Скінчені елементи пов'язані у вузлових точках (вузлах). Кінці СЕ переміщуються разом із вузлами, гарантуючи нерозривність деформацій. З'єднання СЕ в одну систему використовується записом рівнянь рівноваги для вузлів, де прикладаються реакції взаємодії (внутрішні напруження в місцях стиковки). Напружено-деформований стан всієї моделі встановлюється переміщеннями у вузлових точках. Такі моделі називають дискретними, таким чином, проводиться дискретизація дослідної задачі.

Подальший етапом це запис рівняння рівноваги для кожного СЕ (Ньютон, 17 століття), оскільки споруда має бути в рівновазі. Длі дійсної будівлі 7-9 поверхів одержуємо СЛАР приблизно порядку 900 –1200. Даний пошук коренів СЛАР ми віддаєм на ЕОМ, яка робить 4 -5 мільйонів операцій в секунду. Швидко робити арифметичні дії такої задачі, людина не взмозі зробити.

Повна потенціальна енергія деформацій через внутрішні зусилля.

$$П=U+A \quad (1.2)$$

$$U= \sum \int_0^l (N \cdot e + M \cdot x + Q \cdot \gamma) dx \quad (1.3)$$

$$U= \sum \int_0^l \frac{N \cdot N}{2EA} dx + \int_0^l \frac{M \cdot M}{2EI} dx + \int_0^l \frac{Q \cdot Q}{2GA} dx. \quad (1.4)$$

Виявляти повну потенціальну енергію системи (суму робіт зовнішніх сил і внутрішніх) через визначальні параметри, отримуємо систему рівнянь відповідно цих параметрів. Отже як підсумок, задача про рівновагу стержневої системи зводиться до задачі про рівновагу скінченої кількості вузлів (отримуємо СЛАР). До даної системи рівнянь використовуємо варіаційні методи, проводиться пошук мінімуму виразу повної потенціальної енергії дослідної системи (згідно принципу найменшої дії Лагранжа).

1.2 Вхідні параметри для моделювання НДС за МСЕ

Новітні методи розрахунку крайових задач будівельної механіки є незвичайним мостом між теорією споруд з однієї сторони та необхідними практики проектування з іншої.

Для стійкого аналізу конструкцій будівельних споруд відомі на сьогодні програмні комплекси SCAD і ЛІРА–САПР. Дані програми стали світовим стандартом для систем базового рівня.

Розрахункову схему споруд компонують із стержнів, пластин, оболонки (завдяки їх досліджень це дає можливість прорахувати їх поведінку). Упорядкування розрахункової схеми – це завжди золота середина. Полегшене, ідеалізоване зображення реальної системи, що наявний в розрахунку замість самої системи – це розрахункова схема.

Розрахункова схема відрізняється від самої споруди вилученням несуттєвих особливостей. Період обирання розрахункової схеми є основним.

До методів схематизації належать:

- надання елементів будівлі у вигляді набору стандартних скінченних елементів (СЕ) – стержнів, поєднаних вузлами, пластин чи оболонки;
- ідеалізація матеріалу у вигляді суцільного однорідного середовища;

- ідеалізація форми зовнішніх сил.

Подальший етап опису скінченно-елементної моделі будівлі у формі, придатний до розрахунку.

В основу МСЕ віднесено ідею Пуассона про розгляд складної системи, як складової їх окремих елементів. В основі МСЕ – подання конструкції у вигляді щільних сукупностей пружних СЕ.

У формуванні скінченно-елементної моделі споруди із «елементарних частинок» відповідає набір СЕ – із бібліотеки скінченних елементів конкретного програмного комплексу.

Всі СЕ та вузли розрахункової схеми нумеруються через потребу робити на них посилання. Розв’язування здійснюється енергетичним методом із застосуванням варіаційного числення.

Розв’язати дану задачу у варіаційній постановці – це означає знайти таку систему переміщень, яка доставить мінімум функціоналу повної потенціальної енергії системи.

У варіаційних методах, шукані функції переміщень наближено подають в вигляді набору компонентів (в вигляді координатних функцій):

$$u = \sum_1^n a_i \cdot u_i, \quad (1.5)$$

де u_i – попередньо вибрані апроксимуючі функції (їх ще називають координатними функціями); a_i – невідомі коефіцієнти (ступені вільності, фізичний зміст яких – вузлові, лінійні чи кутові переміщення).

У підсумку введення такого роду апроксимації функціонал повної потенціальної енергії системи стає скінченно-вимірною функцією із ступенями вільності a_i ($i = 1, 2, 3 \dots n$). Ступені вільності встановлюються із умови мінімуму функціоналу повної потенційної енергії, тобто варіаційного рівняння Лагранжа (1.1):

$$\delta\Pi = \delta(U - W) = 0,$$

де $U = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \sigma \varepsilon d\Omega$ – робота внутрішніх сил (потенційна енергія

деформації) в області Ω ; W – робота зовнішніх сил (потенціал зовнішніх сил);

σ, ε – напруження та деформації.

Умова мінімуму функціоналу:

$$\frac{\partial}{\partial q_i} \Pi(q) = \frac{\partial}{\partial q_i} U(q) - \frac{\partial}{\partial q_i} W(q) = 0, \quad (i=1, 2, \dots, 4). \quad (1.6)$$

Після диференціювання функції багатьох змінних одержується система алгебраїчних рівнянь

$$\frac{\partial}{\partial q_i} U(q_1) + \frac{\partial}{\partial q_i} U(q_2) + \dots + \frac{\partial}{\partial q_i} U(q_n) = \frac{\partial}{\partial q_i} W(q_i). \quad (1.7)$$

Елементи правої частини (1.7) по суті є вузловими навантаженнями (реактивними зусиллями), тобто навантаженнями, до яких прикладено місцеві навантаження, розподілені по області системи

$$R_i = P_i = \frac{\partial}{\partial q_i} W(q_i). \quad (1.8)$$

Лівою частиною (1.7) буде добуток $|k| \cdot \{q\}$.

$$|k| \cdot \{q\} = \{R\} \quad (1.9)$$

Даним розрахунковим рівнянням МСЕ. У фізичному змісті його можна тлумачити як рівняння рівноваги. Елементи матриці жорсткості $|k_{ij}|$ – це зусилля, що утворюються у напрямку i -го ступеня вільності від j -го одиничного переміщення за умови, що всі решта ($i \neq j$) ступені вільності $q_i = 0$.

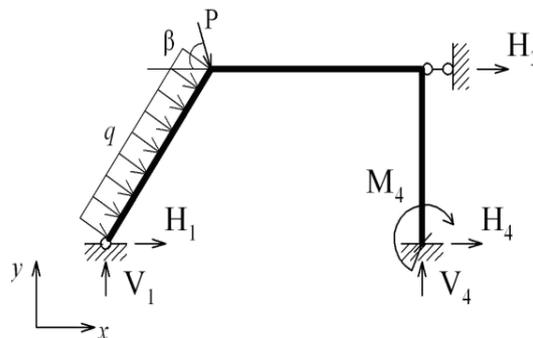
Як відомо, серцевиною математики є алгоритми, а решта – зручні поняття, доведення теорем про їх властивості. Алгоритмом розв’язування задач за МСЕ є така послідовність:

- дискретизація системи на СЕ і вибір координат функції
- структура функціоналу;
- структура матриці жорсткості $|k_{ij}|$ та зведення місцевого навантаження до вузлового для кожного СЕ;
- структура канонічних рівнянь;
- формування компонентів НДС по області СЕ.
- розв’язування СЛАР.

Для прикладу, взятому із практики реального проектування, можна відстежити всі етапи інформаційних технологій розрахунку конструкцій:

- компоновка реальних розрахункових схем;
- дослідження прийнятих конструктивних рішень;
- скінченно-елементне моделювання;
- візуалізація результатів;
- здійснення обчислень в середовищах сучасних програмних комплексів.

Розбивку на СЕ при визначенні НДС розрахункової схеми за МСЕ розглянемо на прикладі плоскої рами на рис. 1.1.



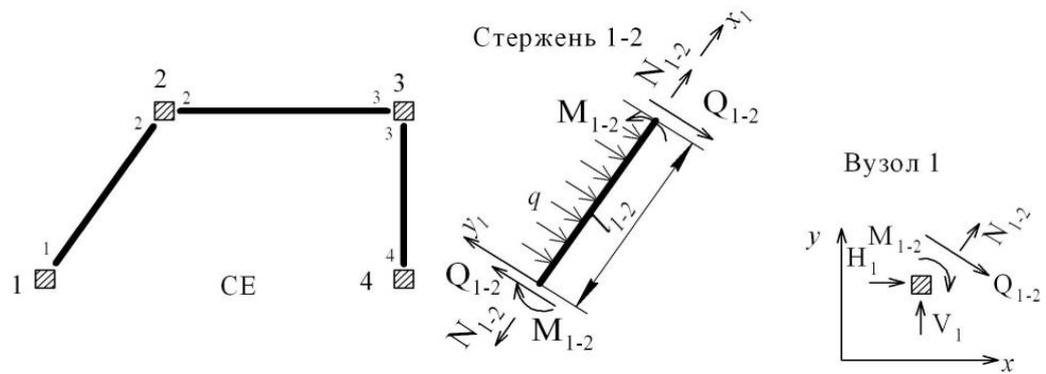


Рисунок 1.1 – Скінченно-елементна модель плоскої рами

Взаємозв'язок системи з довкіллям подають, у вигляді навантажень або впливів, прикладених до вузлів системи (вузлових навантажень) чи до внутрішніх точок її скінченного елемента (місцевих навантажень). Локальні навантаження можуть бути силами чи моментами, сконцентрованими чи розподіленими по стержнях, об'ємах чи площинах, буває завантаження системи надається у вигляді температурних впливів на СЕ або заданими зміщеннями у вузлах, для того щоб ці впливи подаються не як силові, а як кінематичні фактори. Для розв'язку задачі потрібно знаходити такі сполучення зовнішніх впливів, що призводять до найбільш неприємних наслідків.

Щоб запобігти похибки, що залежить від послідовності нумерації вузлів, потрібно проводити дану нумерацію, починаючи із найбільш піддатливої частини конструкції, помалу переміщуючись до місць її закріплення.

Прийняту інформацію до даного об'єкта, який розраховується, можна розділити на три типи:

- жорсткість поперечних перетинів це - фізична інформація;
- топологічна інформація про координати вузлів, системи і зв'язок між вузлами це - геометрична;
- вектор $\{F\}$ зовнішніх навантажень це – завантаження системи.

Необхідно визначити:

- переміщення усіх вузлів системи (вектор $\{\Delta\}$);
- зусилля у всіх стержнях (вектор $\{S\}$).

Значить, відомі – $\{F\}$, невідомі – $\{S\}$, $\{A\}$.

Щоб розв'язати задачі необхідно побудувати:

- матрицю піддатливості $|D|$ та обернену до неї матрицю жорсткості $|K| = |D|^{-1}$;
- матрицю умов рівноваги $|A|$ (матрицю форми).

1.3 Основи сучасного числового методу граничних елементів

В моїй МКР для розрахунку фундаментної конструкції застосовано числовий МГЕ [1,5,22], в якому розрахункова система із 15 диференціальних рівнянь в частинних похідних (рівняння статички, геометричні, фізичні) зведена К. Бреббія [1] до інтегрального рівняння Вольтера другого порядку, яке має потребу дискретизації лише границі і значно зменшує число вузлових точок.

Числовий метод граничних елементів вимагає використання ЕОМ, що є загальним для наближених числових методів, зводить розрахункові рівняння до розв'язків СЛАР високих порядків (запис статичних, геометричних, фізичних рівнянь подано в позначеннях Ейнштейна):

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{ij,j} + b_j = 0 \\ \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \\ \sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \end{array} \right\} \Rightarrow C_{ij}(\xi)u_j(\xi) + \int_{\Gamma} p_{ij}^*(\xi, x)u_j(x)d\Gamma(x) = \int_{\Gamma} u_{ij}^*(\xi, x)p_j(x)d\Gamma(x),$$

(1.10)

де $\sigma_{ij,j} + b_j = 0$ – статичні рівняння рівноваги;

$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i})$ – геометричні рівняння;

$\sigma_{ij} = C_{ijkl}\varepsilon_{kl}$ – фізичні рівняння середовища.

Коли ми розглянемо нелінійні задачі інтегральне рівняння, отримане К. Бреббія [1], набуває вигляду:

$$c_{ij} \cdot u_j + \int_{\Gamma} p_{ij}^* u_j d\Gamma = \int_{\Gamma} u_{ij}^* p_j d\Gamma + \int_{\Omega} \dot{\sigma}^* \dot{\varepsilon}_{jk}^p d\Omega, \quad (1.11)$$

де, p – шуканий вектор напружень на границі;

u – заданий вектор переміщень на контактні границі фундаментної конструкції;

u^* , p^* , σ^* – ядра граничного рівняння [1,5] чи функції впливу МГЕ, це двоточкові функції, їх компоненти – переміщення та напруження довільної точки поля півпростору в напрямку «і» (точка нагляду) від сили $P = 1$, прикладеної в «j» –му напрямку (джерелі) – прийнято рішення Р. Міндіна для переміщень, напружень та похідних від напружень, що відповідають одиничним збурюючим впливам ($P=1$) в півпросторі [22].

В ядрах інтегрального рівняння характеризують собою детально обстежене середовище;

C_{ij} – постійна, вирішується із умов руху тіла як цілого, з'являється при переводі краєвої задачі до інтегрального рівняння (1.11) для отримання єдиного рішення.;

Γ , ξ , x , Ω - згідно:

- точка нагляду;
- гранична поверхня фундаментної конструкції;
- точка збурення;
- границя трикутних осередків активної зони ґрунту (1,5).

У методі граничних елементів (МГЕ) застосовується принцип взаємності – теорема Бетті про взаємність робіт двох станів деформованого

тіла. У лінійно-деформованому тілі допустима робота сил (зовнішніх або внутрішніх) та стану на переміщеннях по їх напрямках, визваних силами другого стану, рівна можливій роботі сил другого стану на переміщеннях по їх напрямках, визваних силами першого стану.

$$P_1 \Delta_{12} = P_2 \Delta_{21} \quad (1.12)$$

МГЕ появився в результаті подальшого теоретичного розвитку широкого класу числових методів, об'єднаних під загальною назвою – теорія скінчених елементів. Даний метод ґрунтується на завданні фундаментального рішення краєвої задачі, яке відповідає функції джерела, завданого у вигляді дельта – функції Дірака.

Присутність фундаментального рішення вкрай важливо з практичної точки зору для числової реалізації задачі за методом граничних елементів.

Альтернатива фундаментального рішення, що задовільняє граничній умові на границі Γ можна обминути без дискретного подання цієї границі, що значно знижує об'єм розрахункової роботи, необхідної для рішення задачі.

1.4 Фундаментальне рішення

Фундаментальне рішення – це базовий і вирішальний вибір, про таке часткове рішення рівняння Лапласа для півнескінченої області для завданого в деякій точці середовища півнескінченої області значенням потенціалу, рівного одиниці. Дельта – функція Дірака являє собою одиничний зосереджений потенціал в т.ч. ξ . Це рішення широко застосовується в граничних задачах і представляють собою функцію Гріна, чи функцію впливу.

У методі граничних елементів для задач геомеханіки в якості фундаментального рішення прийнято рішення Р. Міндліна для півплощини. Розв'язки Р. Міндліна (рис. 1.2) є функціями двох точок: точки ξ з джерелом, в які має особливість дельта-функція, що розглядається і точки спостереження x , яка є незалежною змінною, що входить в дослідне диференціальне рівняння.

Графіки напружень і переміщень для нормальної до поверхні ґрунту зосередженої сили на рис. 1.2.

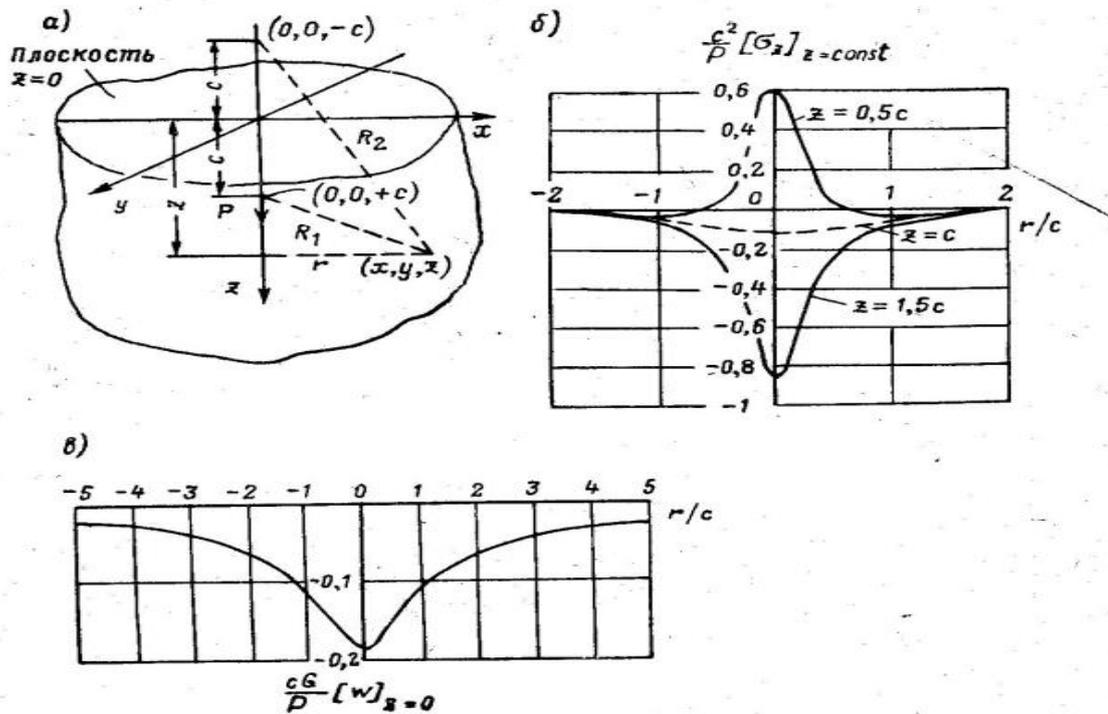


Рисунок 1.2. Зосереджена сила, що діє всередині півпростору нормально до його границі (рішення Міндліна, 1936 р.) а) прийняті позначення; б) епюра вертикальних стискаючих напружень; в) епюра граничних переміщень граничної поверхні

У задачах, де умови задаються на поверхні ґрунту або рідини, добре розглядати фундаментальні рішення для напівнескінченного простору. Саме дане рішення підбирається таким чином, щоб тотожно задовольнялись граничні умови на поверхні, тоді при використанні МГЕ не потрібно задавати граничних елементів на границі.

Р. Міндлін [22] розв'язав задачу на визначення напружено – деформованого стану (НДС), що з'являється під дією зосереджених нормальних і дотичних сил в середині пів нескінченного пружного поля простору. Саме ним були визначені не лише напруження, а й відповідні їм переміщення.

При застосуванні методу граничних елементів для задач механіки ґрунтів ці фундаментальні рішення Р. Міндліна слугують ваговими функціями, які задовільняють умови перетворення в нуль напружень на поверхні півпростору, що відповідає граничним умовам для задач геомеханіки та забезпечують мінімізацію нев'язки прийнятих наближених рішень вихідної краєвої задачі.

Сингулярні розв'язки Р. Міндліна надають можливість враховувати перерозподільчі властивості ґрунту за межами прикладання навантаження.

Коли ми маємо наявне фундаментальне рішення граничні елементи застосовуються для апроксимації лише границі області контакту фундаменту з ґрунтом, а апарат класичних інтегральних рівнянь прикладається до внутрішньої частини дослідної області.

Метод граничних елементів був напрацьований в Саутхемптонському університеті на основі проведених там досліджень, по методах розв'язку класичних інтегральних рівнянь в скінчених елементах.

Коли використанні МГЕ розмірність задачі зменшується на одиницю, оскільки здійснюється апроксимація лише границі досліджуваної області. МГЕ не має такого недоліку класичного методу скінчених елементів МСЕ, як трудність описання з достатньою точністю нескінчених областей, потреба розв'язку громіздких систем рівнянь та визначення важких характеристик конструкцій.

Метод граничних елементів переводить розрахункові диференціальні рівняння стану в інтегральні, знижуючи тим самим порядок задачі на одиницю. В зв'язку з цим розглядається лише поверхня досліджуваного об'єкту. Застосовується метод зважених нев'язок [1]. Функцію нев'язок ϵ можна розподілити по області, помноживши її на вагову функцію w та проінтегрувавши її. Еліптичне рівняння $\mathcal{L}(u) = b$ в області Ω .

$$\int_{\Omega} \mathcal{L}(u)w d\Omega = 0 \quad - \text{внутрішній добуток, його можна}$$

проінтегрувати по частинах до тих пір, поки під інтегралом не залишиться

похідних. В результаті отримуємо складові, що включають інтеграли по поверхні, яка включає область Ω .

У МКР здійснено числовий експеримент за МГЕ. Аналітичне визначення умов приходу граничного НДС базувалось на залежності граничного опору зсуву на октаедричних площадках від величини діючих напружень на них $\tau_{окт} = f(\sigma_{окт})$, іншими словами використано октаедричну теорію міцності Мізеса-Шлейхера-Боткіна (1.3).

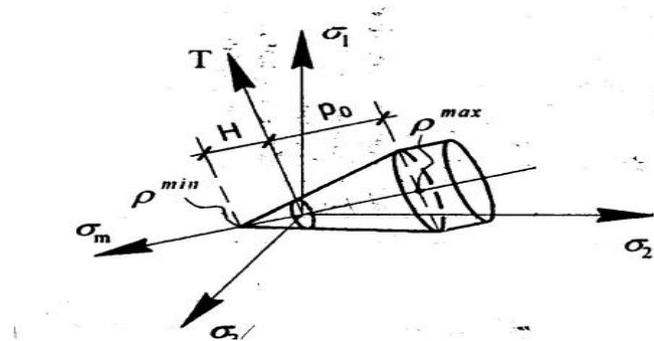


Рисунок 1.3 – Модифікований критерій текучості Мізеса-Шлейхера-Боткіна

У даній пружній області роботи ґрунту прирости пружних деформацій $d\varepsilon_{ij}^e$ визначались із закону Гука. Для знаходження приростів деформацій пластичного відгуку ґрунтів застосовано неасоційований закон пластичної течії [2,3,8]. У зв'язку фізичного рівняння в моделі застосована дилатансійна умова :

$$d\varepsilon_{ij}^p = \lambda dF / d\sigma_{ij}, \quad (1.13)$$

Яка в сполученні з рівняннями рівноваги і критерієм текучості наводить до статично визначеної задачі. F – пластичний потенціал, така функція напружень, частинна похідна від якої по σ_{ij} пропорційна приросту пластичних деформацій $d\varepsilon_{ij}^p$.

Пластичні деформації ґрунту визначались як сума їх на попередніх кроках навантаження та приріст пластичних деформацій на текучому кроці навантаження:

$$\varepsilon^p = \sum d\varepsilon^p + d\varepsilon^p \delta, \quad (1.14)$$

де δ - дельта Кронекера. Приріст пластичних деформацій на даному текучому кроці навантаження:

$$d\varepsilon^P = d\varepsilon^P_{шар} + d\varepsilon^P_{дев} , \quad (1.15)$$

де $d\varepsilon^P_{шар}$ - приріст пластичних деформацій від шарового тензора напружень;

$d\varepsilon^P_{дев}$ - приріст пластичних деформацій від девіатора напружень.

$$d\varepsilon^P_{шарове} = \Lambda(\chi) \cdot d\gamma^P , \quad (1.16)$$

де $d\varepsilon^P_{шарове}$ - приріст непружних змін об'єму, що супутні зсуву,

$d\gamma^P$ - приріст інтенсивності зсуву,

$$\Lambda = \frac{d\varepsilon_v}{d\gamma} - \text{швидкість дилатансії} \quad (1.17)$$

– додатковий параметр неасоційованої моделі пластичної течії,

де Λ – коефіцієнт дилатансії, який може приймати як позитивні (дилатансія), так і від'ємні (контракція) значення [3,8].

$d\lambda$ - параметр зміцнення ґрунтового середовища (прийнято щільність ґрунту).

У розгляді математичної реалізації нелінійної задачі застосовано ефективний кроковий алгоритм Ільюшина О. А. [3,12], відповідно якого на кожному наступному кроці застосовується розв'язок задачі попереднього кроку.

При розгляді ґрунтів, як для пористих середовищ, що ущільнюються, властиві ефекти дилатансії. Відмінності їх механічної поведінки: гідростатичний тиск здійснює вплив на формозміну, а дотичні напруження впливають на ущільнення.

Дилатансії – властивість ґрунту змінювати об'єм, це одна із найбільших закономірностей ґрунту. Дилатансія (від англійського dilate – розширяться) та **контракція** (від англійського contract-стискуватись) – явище зіни об'єму при зсуві (поворот та переупакування зерен ґрунту на поверхнях зрушення, перебудова структури).

Метод граничних елементів допускає звести розрахункові рівняння суцільного середовища із нескінченим числом ступеней вільності до рівняння з скінченим числом ступеней вільності, після чого задача може бути розв'язана чисельно із застосуванням ЕОМ. МГЕ започаткований на дискретному подані лише зовнішньої границі і в ньому застосовується метод зважених нев'язок. Функція нев'язок розподіляється по області, помноживши її на вагову функцію w і проінтегрувавши.

У методі граничних елементів застосовується принцип взаємності - теорема Бетті про взаємність робіт двох станів деформованого тіла:

1. Лінійно деформованому тілі можлива робота сил (внутрішніх або зовнішніх).
2. Стан на переміщеннях по їх напрямках, визваних силами другого стану, рівна можливій роботі сил другого стану на переміщеннях по їх напрямках, визваних силами першого стану (1.12)

$$P_1 \Delta_{12} = P_2 \Delta_{21}.$$

Через те, що межа пластичності змінюється, для визначення σ - ϵ стану на наступному кроці необхідно знати попередню історію зміни σ текучості. Через це пластичні деформації залежать від усієї історії навантаження. В теорії пластичної течії співвідношення σ - ϵ створюються у вигляді приростів деформацій. Так описується інкрементальна теорія, чи теорія пластичної течії.

$$N\dot{U} = G\dot{P} + D\dot{\epsilon} . \quad (1.18)$$

За методом Хамера інтеграл по осередках активної зони формулювались числовим інтегруванням

1.5 Критерії текучості Треска, Мізеса, Мора, Кулона.

Граничні круги Мора

Щоб побудувати поле напружень в ґрунтовому масиві, одних умов рівноваги замалр. Потрібний ще один вільний вираз, який може однозначно зв'язати шукані напруження і тільки тоді отримана система дозволить відповісти на питання: про стійкість масиву ґрунту при дії на нього навантаження. Через те що, з цього виразу можливо оцінити обставини, що керують рухом частини ґрунтового масиву, його називають критерієм руйнування або текучості. Правильно припустити, що цей критерій буде функцією інваріантів T_σ , або головних напружень, тому що він має являти залежність, дійсну як для простих лабораторних досліджень, так і для складного напруженого стану в польових умовах:

$$f(I_1, I_2, I_3) = 0; \quad F(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = 0. \quad (1.19)$$

Із математичної точки зору (1.20) представляє собою поверхню текучості або руйнування в просторі головних напружень з осями $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$. Зважаючи на те, що довільне сполучення напружень для цієї поверхні відповідає граничному стану, чи стану руйнування, визначення її форми є дуже важливе. Для того щоб, критерій був дійсним він неодмінно має відображувати вказані вище міркування про співвідношення між головними напруженнями в граничному стані.

Для плоского деформованого стану потреба в критерії текучості з'ясовується: потребою одержання третього співвідношення між дотичними і нормальними напруженнями, які в поєднанні з двома рівняннями рівноваги приведе до статично визначеної задачі. Саме ці міркування реальні для тривісного НДС.

Основна форма критерію текучості

$$\tau = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3). \quad (1.20)$$

Критерій максимальних дотичних напружень в 1869 р. дав Треск

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = k . \quad (1.21)$$

Друга проста функціональна форма критерію текучості запронована в 1913 р. Мізесом (циліндр, рис.1.4):

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 = \text{const} = 2k^2, \quad (1.22)$$

$$(\tau_{\text{окт}})_{\max} = \frac{\sqrt{2}k}{3} = \text{const} . \quad (1.23)$$

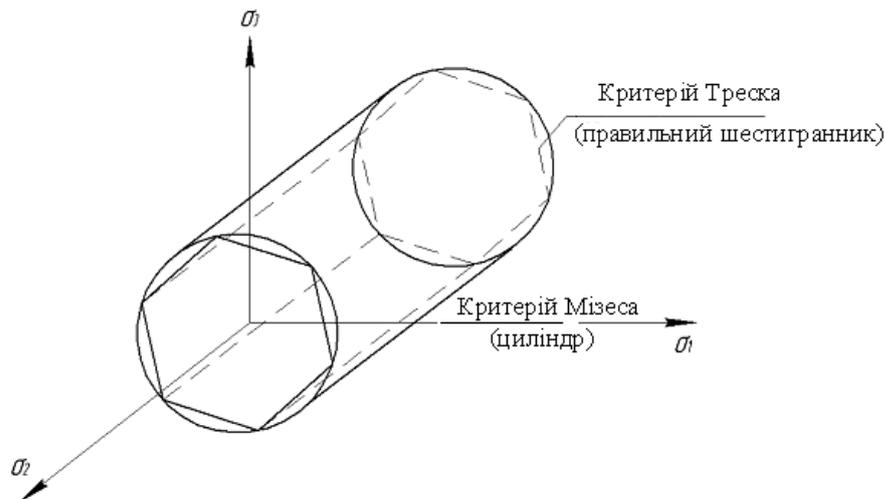


Рисунок 1.4. Геометричне зображення критеріїв текучості Треска і Мізеса

Рівняння (1.20) – форма критерію текучості Мізеса – в 1950 р. була введена Надаї. Енергетична інтерпретація цього критерію дана Генкі в 1924 р.

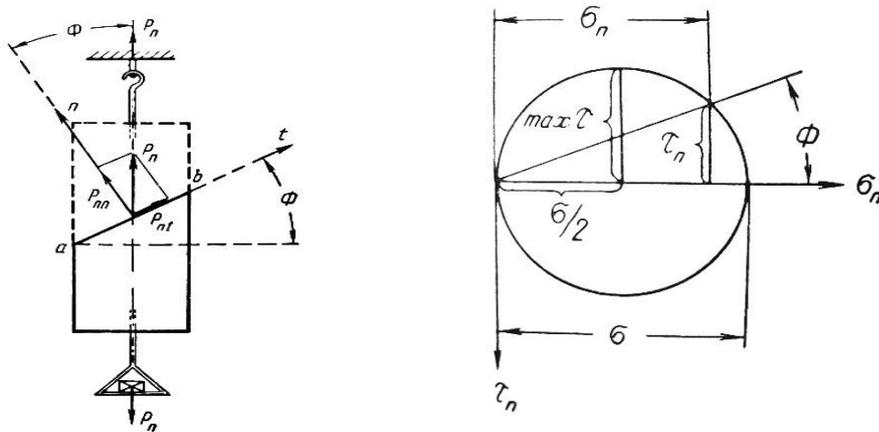
Рівняння (1.22, 1.23) визначають, що руйнування розпочинається в момент, коли октаедричне дотичне напруження сягає критичного постійного значення. На відміну від критерію Треска критерій Мізеса залежить також від проміжного головного напруження σ_2 .

Вигляд критеріїв текучості на рис. 1.4.

При простому розтягу стержня силою P_n (рис. 1.4) напруження (нормальні і дотичні), які діють в перетині стержня, нахиленого під $\angle \varphi$ до поперечного перетину визначаються:

$$P_{nt} = P_n \cdot \sin \varphi, \quad P_{nn} = P_n \cdot \cos \varphi, \quad (1.24, 1.25)$$

Таким чином, коли кут φ змінюється від 0 до 90° σ_n , що діє в нахиленому перетині з нормаллю n , зменшується від σ_n до 0, в той час, як дотична складова змінюється від 0 до 0, проходячи через максимум при $\varphi = 45^\circ$ і $\tau_n = \sigma/2$ і σ_n в цьому перетині також рівна $\sigma/2$. Ці результати показано графічно в координатній системі, де σ_n - абсциса, τ_n – ордината. Всі точки, що представляють σ_n і τ_n розташовані на колі. Це круг Мора для простого розтягу, рис. 1.5.



а)

б)

Рисунок 1.5 а) – напруження при простому розтязі: P_{nn} – нормальна компонента розтягуючої сили P_n ; P_{nt} – дотична компонента розтягуючої сили P_n . б) – круг Мора для простого розтягу, Φ – кут нахилу перетину

В 1900 р. Мор запропонував критерій текучості

$$\sigma_{\max} - \sigma_{\min} = f(\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) \quad (1.26)$$

За цією умовою дотичні напруження в стані текучості є функцією нормального напруження σ_n .

$$T_{\max} = F(\sigma_n) \quad (1.27)$$

Графічно (1.27) зображується обвідною Мора (рис. 1.5).

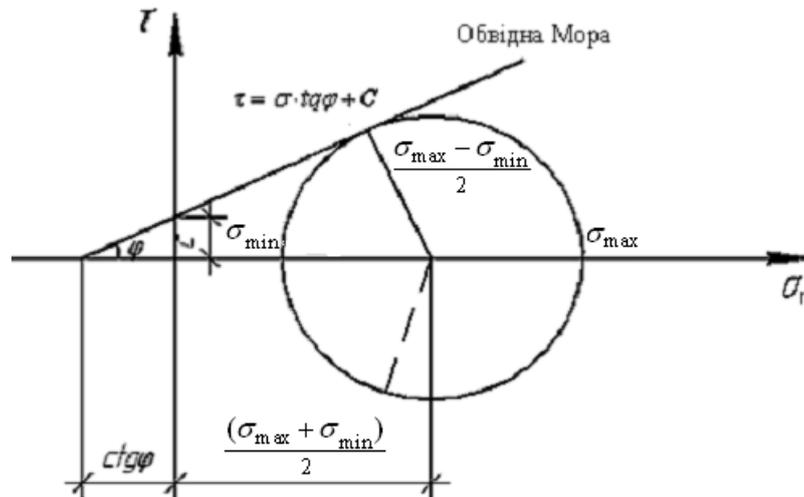


Рисунок 1.6. Граничні круги Мора та обвідна

$$\sigma_{\max} - \sigma_{\min} = 2c \cos \varphi + (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) \sin \varphi. \quad (1.28)$$

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + c. \quad (1.29)$$

В формі (1.29) критерій текучості був винайдений чисто емпірично в 1776 р. Кулоном при дослідженні ним підірних стінок.

1.6 Висновки по розділу

Існує недопрацьованість розрахункових моделей в нормативних документах до прогнозування нелінійної поведінки ґрунтів, тому задача фундаментобудування роботи ґрунтів в нелінійній стадії є актуальна і для теперішнього часу і потребує вирішення.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ НДС ЕЛЕМЕНТІВ ПІДЗЕМНОЇ ЧАСТИНИ БУДІВЛІ

2.1 Особливості розрахунку за МГЕ дисперсного середовища ґрунту

Зведення Бреббія [1] крайової задачі континуальних середовищ (системи диференційних рівнянь в частиних похідних 15-го порядку) до еквівалентного інтегрального рівняння дає можливість розмірність вихідної задачі зменшити на одиницю, через те що в інтегральне рівняння (1.10, 1.11) входять значення змінних лише на границі заданої області. Через те слідує дискретизація задачі здійснюється тільки на границі досліджуваної області. Отже, це визначає більш високу в порівнянні з МСЕ (методом скінченних елементів) точність рішень та суттєве зменшення об'єму вхідних даних при реалізації методу на ЕОМ.

Взяти до уваги моделі пластичної поведінки ґрунту під навантаженням (95 % деформацій ґрунту є пластичними) дає змогу визначити характерні закономірності перерозподілу зусиль в процесі взаємодії фундаментної конструкції з основами за МГЕ.

Отже, несуча спроможність фундаментної конструкції визначалась із застосуванням математичного моделювання, яке складається з процесу створення моделі, оперування нею з метою отримання відомостей про реальний об'єкт.

Математична модель гарантує:

- зменшує матеріалоємність досліджень, особливо при проектуванні великомасштабних об'єктів;
- зменшення часу на підготовку аналізу;
- дає змогу проведення експериментів на критичних режимах.

У процесі на ЕОМ алгоритм визначення НДС фундаментної конструкції за МГЕ утворюються з етапів:

- формування вхідних даних;
- інтегрування фундаментальних рішень Р. Міндліна для отримання матриці впливу (матриці піддатливості);
- складання розрахункової СЛАР;
- виявлення коренів СЛАР;
- встановлення несучої спроможності фундаментної конструкції, одержання графіка «навантаження – осідання».

При числовому розв'язанні розрахункового рівняння фундаменту (1.11) для визначення несучої спроможності фундаментної конструкції будівлі (рис. 2.1) матриця впливу МГЕ складалась із чотирьох підматриць.

Кожен елемент матриці піддатливості МГЕ $\begin{vmatrix} K_{SS} & K_{SB} \\ K_{BS} & K_{BB} \end{vmatrix}$ – це

переміщеннями вузлових точок граничних елементів (ГЕ) бокової поверхні та вістря від дії $P=1$ (фундаментальні рішення Р. Міндліна) по напрямку, що збігається відповідній стрічці від $P=1$, прикладеної в точці, яка визначається відповідним стовпцем матриці. Матриця піддатливості формувалась на основі рішень Р. Міндліна.

Згодом визначення вектора напружень по границі контакту фундаментної конструкції з ґрунтовою основою несуча спроможність знаходилась інтегруванням по бокові поверхні та вістря фундаментної конструкції.

Підсумок числових досліджень за МГЕ наведено на рис. 2.3, 2.4.

2.2 Числові дослідження НДС підземної частини будівлі в м. Вінниці по вулиці Пірогова, 89-А

Згідно наведених етапів математичної моделі розрахунку фундаментної конструкції за числовим МГЕ проведено дослідження процесу деформування фундаментної плити будівлі в м. Вінниці по вулиці Пірогова,

89-А. Математична модель дає основу для числового аналізу, за допомогою якого можна отримати дані не лише описового, але і прогнозного характеру.

В теперешній час математична модель – одне із основних і найбільш економічних прийомів теоретичних і прикладних досліджень. Головний напрям подальших досліджень - залучення сучасних математичних моделей та ЕОМ.

Математична модель дає можливість установлення зв'язку між різними параметрами системи, дає основу для числового аналізу, за допомогою якого можна отримати данні прогнозного характеру та управляти протіканням процесу.

Модель має враховувати широкий набір властивостей реальних ґрунтів, а також його дискретність (зернистість).

Адже одна із найбільших закономірностей ґрунту – **дилатансія** (від англійського dilate – розширяться) та **контракція** (від англійського – contract – стискуватись) – явищами зміни об'єму при зсуві (поворот та переупакування зерен ґрунту на поверхнях зрушення, перебудова структури).

Розрахункова схема будівлі в м. Вінниці по вулиці Пірогова, 89-А наведена на рис. 2.1.

Будівля є чутливим індикатором зміни властивостей системи при зміні НДС основ, нелінійності їх деформування в окремих зонах.

Принципова зміна загальної картини НДС потребує прийняття конструктивних рішень, що забезпечать міцність та надійність елементів і будівлі в цілому.

Необхідність урахування сумісної роботи диктується можливістю збільшення терміну безпечної експлуатації будівлі, шляхом регулювання їх НДС.

В даному випадку компактність будівлі в плані (рис. 2.2) і відносно сприятливі інженерно-геологічні умови:

$$E=15058 \text{ кПа,}$$

$$\nu=0,3,$$

$$\rho=1,8811 \text{ т/м}^3,$$

$$\varphi=0,2973 \text{ рад.},$$

$$c= 14,202 \text{ кПа},$$

на глибині 6,5 м – дресвяний ґрунт з пісчаним заповнювачем, $R_0= 20$ МПа) будівельного майданчика дозволили розглядати варіант улаштування фундаментів на природній основі (суцільної монолітної залізобетонної плити).

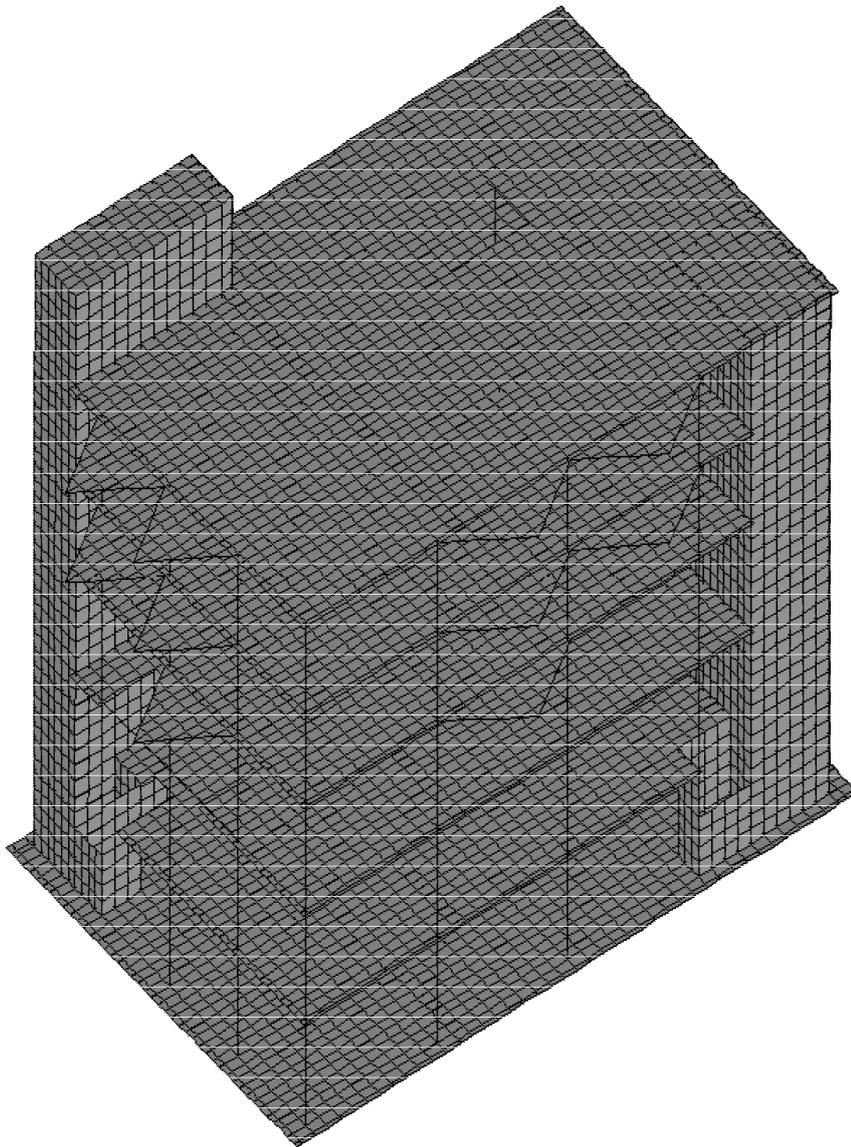


Рисунок 2.1. – Розрахункова схема будівлі

Очевидно, що архітектурна модель будівлі не може бути повністю автоматично перетворена на розрахункову схему, на основі якої проводяться розрахунки. Наявність в ній "архітектурних надмірностей", які не завжди коректно сполучені з елементами моделі, відсутність інформації про умови закріплення та завантаження, потребують доведення архітектурної моделі до рівня розрахункової схеми.

Втім основні розміри, прив'язка колон та несучих стін, обриси перекриттів, розташування отворів є базою, на якій в подальшому будується розрахункова схема (рис. 2.1) сітка скінченних елементів, задає умови опирання та прилягання, описуються фізико-механічні характеристики матеріалів, а також описуються відомості про навантаження.

Відомо, що НДС довільної системи можна знайти за допомогою двох еквівалентних підходів: інтегрального та локального.

Інтегральний метод ґрунтується на варіаційному численні, яке лежить в основі МСЕ.

Локальний класичний підхід ґрунтується на записі повної системи рівнянь будівельної механіки (геометричних, статичних, фізичних), які записують для нескінченно малого елемента. Такий підхід призводить до розрахункових рівнянь в частинних похідних. Дана повна система рівнянь включає 15 невідомих: 6 – напружень (тензор напружень $T\sigma$), 6 – деформацій ($T\varepsilon$), 3 – переміщень (3 – лінійні, 3 – кутові).

Зафіксований повної системи рівнянь будівельної механіки із застосуванням узгоджень про підсумовування Ейнштейна (похідні по просторових координатах позначаються комою):

$$\sigma_{ij,j} + b_i = 0; \quad (\text{рівняння рівноваги})$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}); \quad (\text{геометричні рівняння сумісності деформацій} \\ \text{тензор малих деформацій Коші});$$

$$\sigma_{ij} = 2 * G(\varepsilon_{ij} + \frac{\nu}{1-2\nu}\delta_{ij}e); \quad (\text{фізичні рівняння стану}).$$

У межах лінійної теорії пружності зв'язок між σ - ε підлягає узагальненому закону Гука. У дпній області малих деформацій він доволі точно описує стан багатьох реальних матеріалів.

Матричний запис розрахункових рівнянь :

$$[A] * \{S\} = \{F\};$$

$$\{\varepsilon\} = [A]^T * \{\Delta\};$$

$$\{\varepsilon\} = [D] * \{S\},$$

де $[A]$ – матриця умов рівноваги;

$\{S\}$ – шуканий вектор зусиль;

$\{F\}$ – вектор зовнішнього навантаження;

$\{\Delta\}$ – шуканий вектор переміщень;

$\{\varepsilon\}$ – шуканий вектор деформацій;

$[D]$ – матриця жорсткості;

$[A^T]$ – матриця градієнтів від матриці умов рівноваги.

Нинішні ЕОМ, що надійшли в розпорядження дослідників, сприяли швидкому розвитку більш удосконалених методів розрахунку споруд.

МСЕ виник ще у 50-х роках ХХ століття. В наш час це один із головних дієвих числових методів розрахунку конструкцій на динамічні впливи, статичні, дію температури та вимушені осідання опор. Метод скінчених елементів надає перспективу розрахунку споруд за уточненими розрахунковими схемами із більш детальним урахуванням фізичних властивостей матеріалів і особливостей роботи конструкцій. Даний метод підвищує надійність і забезпечує економічність споруд.

МСЕ ґрунтується на розгляді конструкцій у вигляді сукупності окремих конструктивних елементів, з'єднаних у кінцевому числі вузлових точок. Присутність ЕОМ та програмних комплексів (ПК) дає можливість автоматизувати розрахунковий процес, інженер повинен описати ідеалізовану конструкцію та навантаження. Дані які потрібно для повного розрахунку є в бібліотеці ПК та приводиться автоматично в дію в потрібній послідовності.

Актуальних числових методах (МСЕ, МГЕ) реалізована ідея Пуассона розглядати НДС фактичного об'єкта як складові скінченних елементів його частин.

Поскілки МСЕ аналізує елемент скінченних розмірів, з'являється можливість переходу від системи із нескінченним числом ступенів вільності до системи із скінченним числом параметрів. Указане свідчить про те, що діяльність інженера-будівельника в сучасних умовах неможлива без знань та використання числового МСЕ.

До головних етапів розрахунку за МСЕ належать:

1. Запис основних залежностей.
2. Дискретизація об'єкта (розбивка на окремі скінченні елементи).

На те, щоб зробити єдину систему із СЕ, об'єднаних в вузлах, необхідно записати умови:

- нерозривності переміщень в вузлах (геометричні умови);
- рівноваги сил в вузлах (статичні рівняння);
- залежності між переміщеннями і реакціями (фізичні рівняння).

Значення нерозривності здійснюються автоматично, поскілки переміщення вузлів розрахункової схеми є спільними для СЕ, об'єднаних в одному вузлі.

Ключова система МСЕ – сукупність СЕ. За умови аналізу МСЕ у формі методу переміщень вузлам розрахункової схеми подаються додаткові зв'язки, в яких виникають реакції (реактивні моменти та реактивні сили). Рівняння рівноваги складаються, виходячи з рівноваги сил в вузлах основної системи МСЕ, на які накладаються додаткові зв'язки.

$$\{F\} - \{R\} = 0, \quad (2.1)$$

де $\{F\}$ – вектор вузлових навантажень в вузлі;

$\{R\}$ - вектор сумарних реакцій в вузлі для всіх стержнів, що входять в цей вузол.

Між реакціями і переміщеннями існує в пружній стадії лінійна залежність (фізичні рівняння):

$$\{R\} = [K] \cdot \{\Delta\}, \quad (2.2)$$

де $\{R\}$ - вектор шуканих реактивних зусиль та реактивних моментів,

$[K]$ – матриця жорсткості СЕ, пошук якої в МСЕ ґрунтується на варіаційних принципах будівельної механіки.

Матриця жорсткості $[K]$ описує пружні властивості скінченних елементів.

Дану систему головних залежностей МСЕ можна одержати із умови мінімуму функціоналу – виразу повної потенційної енергії системи, або із варіаційного рівняння Лагранжа за принципом найменшої дії:

$$\delta\Pi = \delta(U - A), \quad (2.3)$$

де, U – робота внутрішніх сил (потенційна енергія пружних деформацій розтягу, згину, зсуву);

A – робота зовнішніх сил (потенціал зовнішніх сил).

Відповідно з принципом можливої роботи І. Бернуллі [2], відомого як загальний принцип рівноваги механіки, в стані рівноваги робота всіх прикладених до неї сил, які сумісні з кінематичними умовами, дорівнює нулю. Себто, коли $\delta U + \delta A = 0$, система знаходиться в рівновазі.

3. Апроксимація шуканих переміщень.

4. Запис виразу повної потенційної енергії системи. Доцільність їх застосування виходить з того, що енергія являє собою добре вивчену

інваріантну величину і тому не залежить від системи координат. На значені енергії засновано багато методів механіки суцільних середовищ.

5. Скорочення виразу потенційної енергії системи.

Загальновідомо, розв'язати варіаційну задачу – це значить знайти таку систему переміщень, котра забезпечить мінімум функціоналу повної потенційної енергії системи.

Для здійснення задачі система переміщень апроксимується рядом [10]

$$U = \sum q_i * f_i , \quad (2.4)$$

де f_i – координатна функція,

q_i – ступені вільності, знаходяться з умови мінімуму функціоналу.

$$\frac{d\Pi}{dq_i} = 0 , \quad (2.5)$$

які й будуть канонічними рівняннями МСЕ.

6. Рішення отриманої СЛАР. Знаходження шуканого НДС системи.

МСЕ дає змогу нинішньому проектувальнику розв'язати двоєдину задачу – забезпечити надійність об'єкта при мінімальних затратах матеріалів.

Характер роботи фундаментів в таких будівель наближається до роботи жорсткого штампу. Під краями спостерігається локальний розвиток класичних зон пластичних деформацій, а під будівлею утворюється жорстке ядро. З огляду на неоднорідне напластування ґрунтів розрахункова оцінка осадок може бути виконана лише з використанням ефективних числових методів та програмних комплексів.

Як відомо, навантаження на фундаментну конструкцію може визначатись по гранично допустимому осіданні будівлі. Числовий прогноз осідання цієї будівлі проведено за МГЕ.

Попереднім розрахунком на ПК "Ліра" НДС наземної частини будівлі у випадку жорсткого защемлення основи, визначено вагу будівлі $P=24437$ кН.

За графіком на рис. 2.3 $s=f(p)$ при такому навантаженні основи осідання перевищує нормативно допустиме для громадських будівель $s=8$ см.

Відповідно було прийнято рішення заміни 1м ґрунту під підвалом будинку (суглинку м'якого) на 1 м гравію з фізико-механічними показниками:

$$E=40 \text{ кПа,}$$

$$c= 1 \text{ кПа,}$$

$$\varphi = 40^\circ,$$

з метою покращення властивостей ґрунту активної зони прибудови.

Середньозважені характеристики ґрунту з урахуванням підсіпки 1м гравію:

$$E=23730 \text{ кПа,}$$

$$c= 12,9 \text{ кПа,}$$

$$\varphi=0,4109 \text{ рад.}$$

На рис. 2.4 подано графік залежності $s=f(p)$ для такої основи, отриманий за основним розрахунковим рівнянням (1.11) МГЕ.

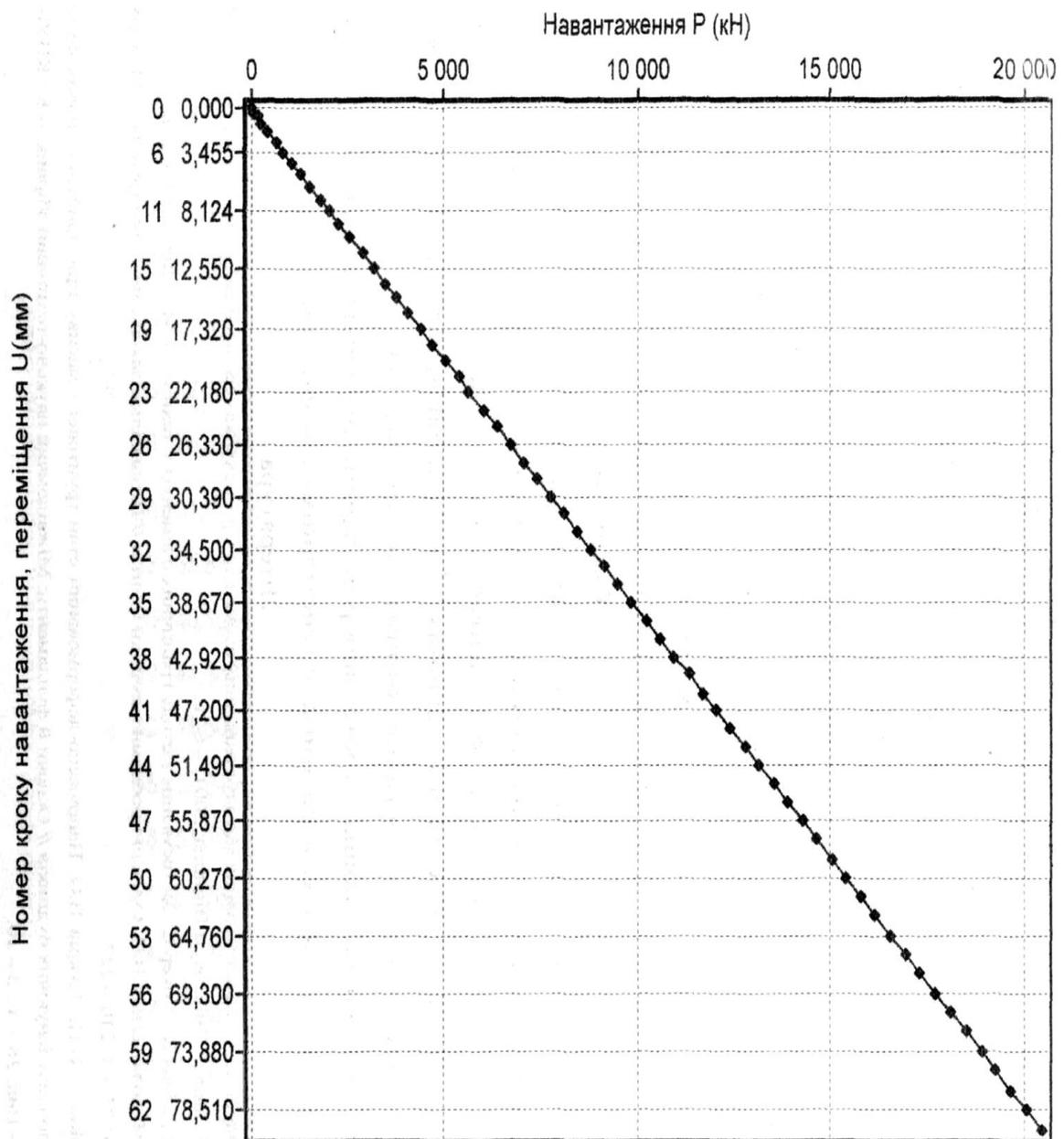


Рисунок 2.3 –Графік навантаження–осідання будівлі на фундаментній плиті $h=30\text{см}$ на **натуральному ґрунті**. Середньозважені характеристики

$E=15058\text{ кПа}$; $\nu=0,3$; $\rho=1,8911$; $\varphi=0,2973\text{ радіан}$;

$C=14,802\text{ кПа}$. Вага будівлі – 24437 кПа .

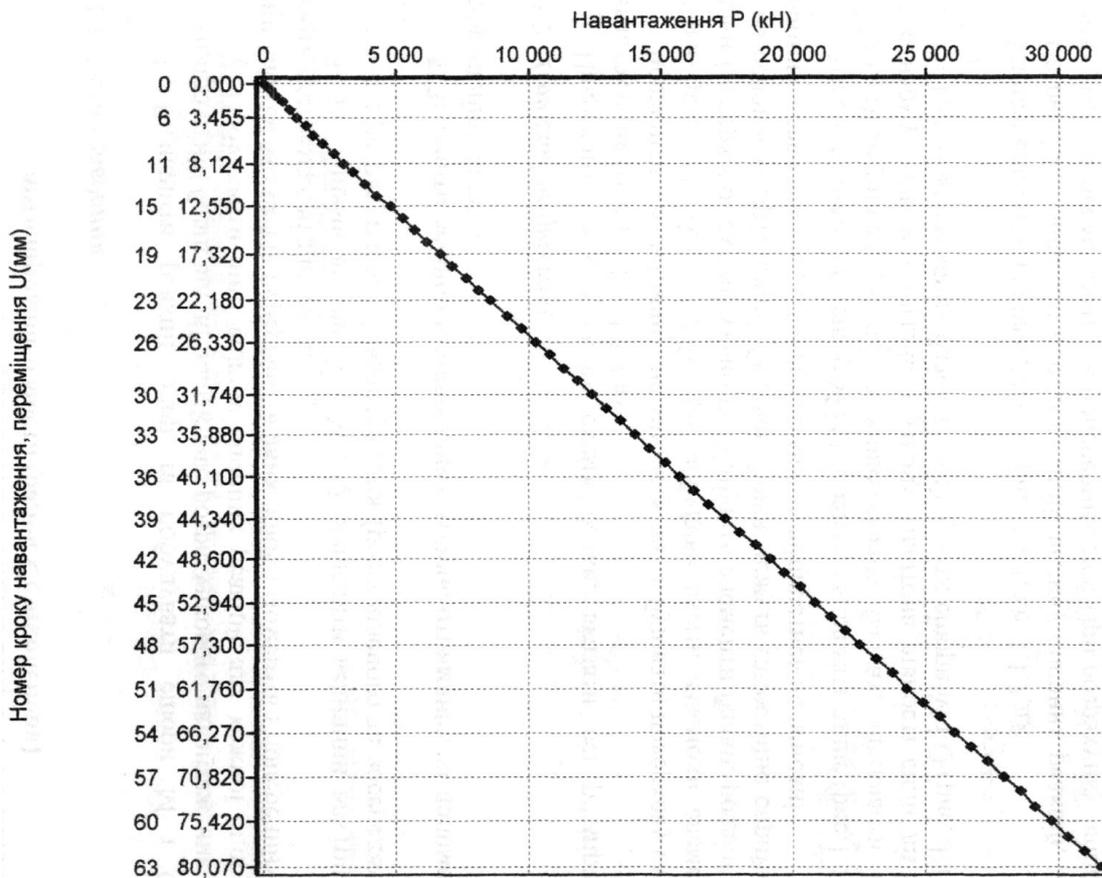


Рисунок 2.4 – Графік «навантаження-осідання» будівлі на фундаментній плиті $h = 30$ см **при заміні 1 м. ґрунту гравієм фракції 2-10 мм**. Середньозважені характеристики $E=15058$ кПа; $\nu=0,3$; $\rho=1,8911$. Вага будівлі – 24437 кПа.

2.3 Висновки по розділу 2

При навантаженні $P = 24437$ кН очікуване осідання за МГЕ $s=5,9$ см, що < 8 см. Таким чином товщина $h=30$ см фундаментної плити та підсипка гравієм ґрунтової основи під фундаментною плитою забезпечує нормативне осідання будівлі.

За допомогою запропонованого методу опір фундаментної плити може бути визначений з точністю, достатньою для проектування.

РОЗДІЛ 3

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

3.1 Дослідження за МСЕ НДС наземної частини будівлі в м. Вінниці вулиці Пирогова, 89-А

Наступним етапом розрахунку будівлі в м. Вінниці по вулиці Пирогова, 89-А було визначення НДС наземної частини споруди з урахуванням роботи ґрунту за допомогою коефіцієнтів постелі. Коефіцієнти постелі підбирались за допомогою одного із модулів SCAD office на основі інженерно-геологічних вишукувань.

Величина коефіцієнтів постелі підбиралась таким чином, щоб задовільнити очікуване за МГЕ осідання будівлі $s=5,9$ см.

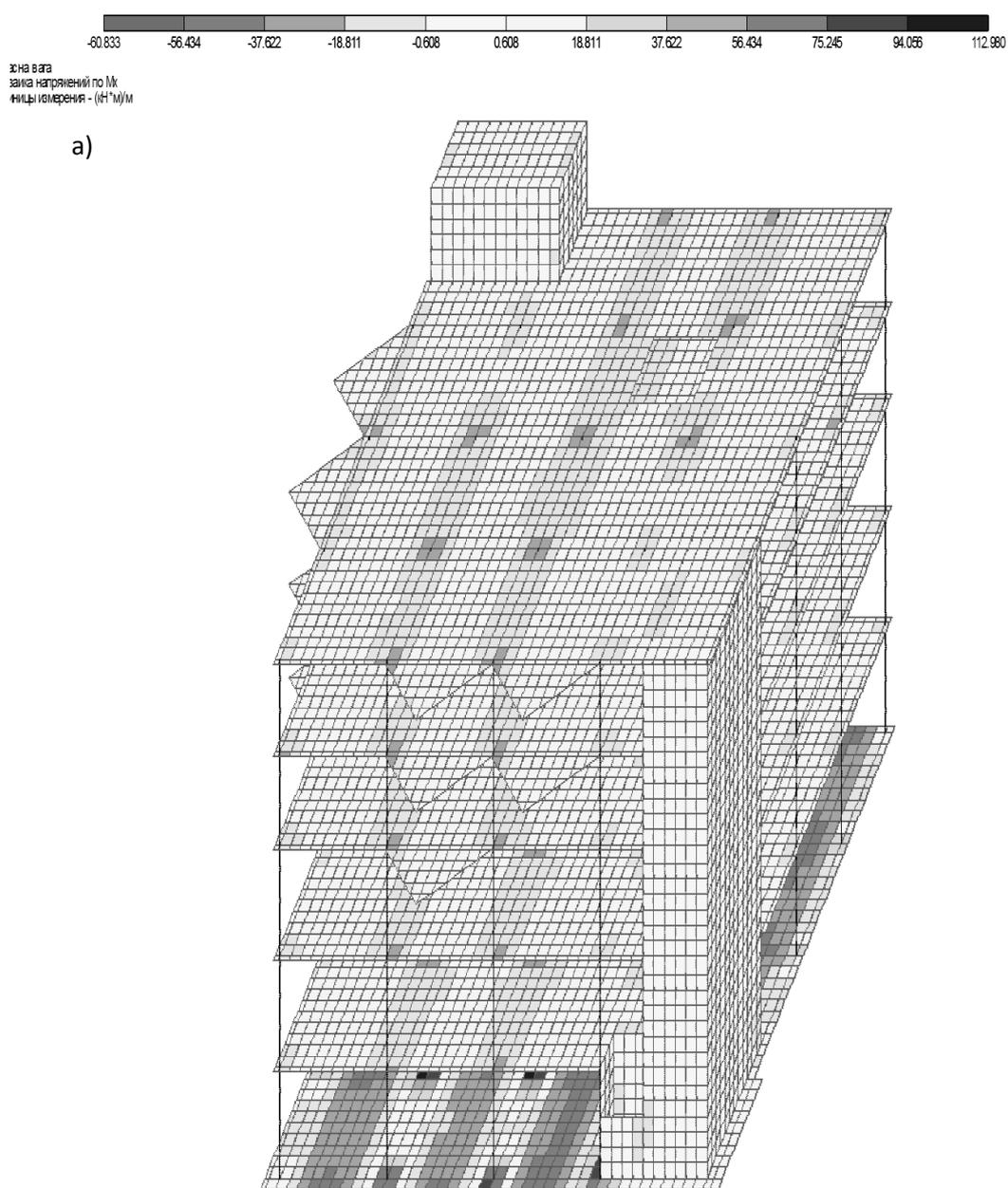
На рис. 3.1 наведено ізополя внутрішніх зусиль а) M_x , б) M_y , а на рис. 3.2 – 3.9 подані клейонки армувань фундаментної плити $h = 30$ см, що забезпечує відсутність протискування фундаментної плити під максимально завантаженою колоною ($N = 164$ тс).

Скінченно-елементна модель будівлі складається із комбінованих систем (стержнів, пластин) зображено на рис. 2.1. Досліджено особливості деформування цих комбінованих систем, особливості конструювання вузлів. Вузли мають різну піддатливість при різних впливах. Властивості 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 сучасні засоби підготовки даних, розрахунку та аналізу результатів, не має обмежень на розміри та форму проектуємих споруд. При цьому для інженера-проектувальника багато часу займають більш прості задачі, такі як визначення геометричних характеристик складових перерізів, збір навантажень на елементи конструкцій, перевірка перерізів балки – це далеко не увесь перелік такого роду рутинних проектних задач.

Як відомо "ЛІРА" - це система міцнісного аналізу на основі МСЕ.



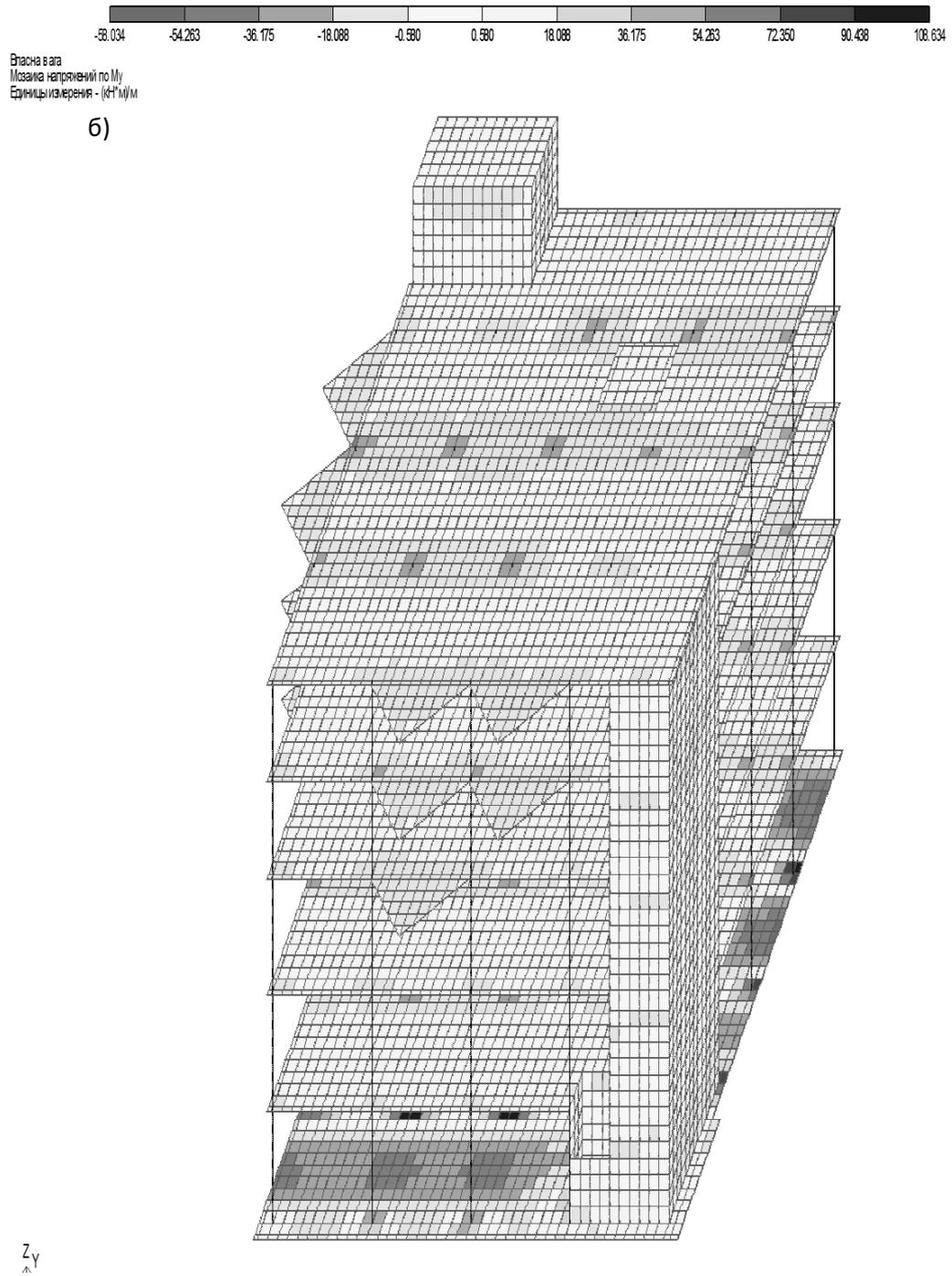


Рисунок 3.1 – Ізополя внутрішніх зусиль а) M_x , б) M_y скінченно-елементної моделі будівлі в м. Вінниці по вул. Пирогова 89-А

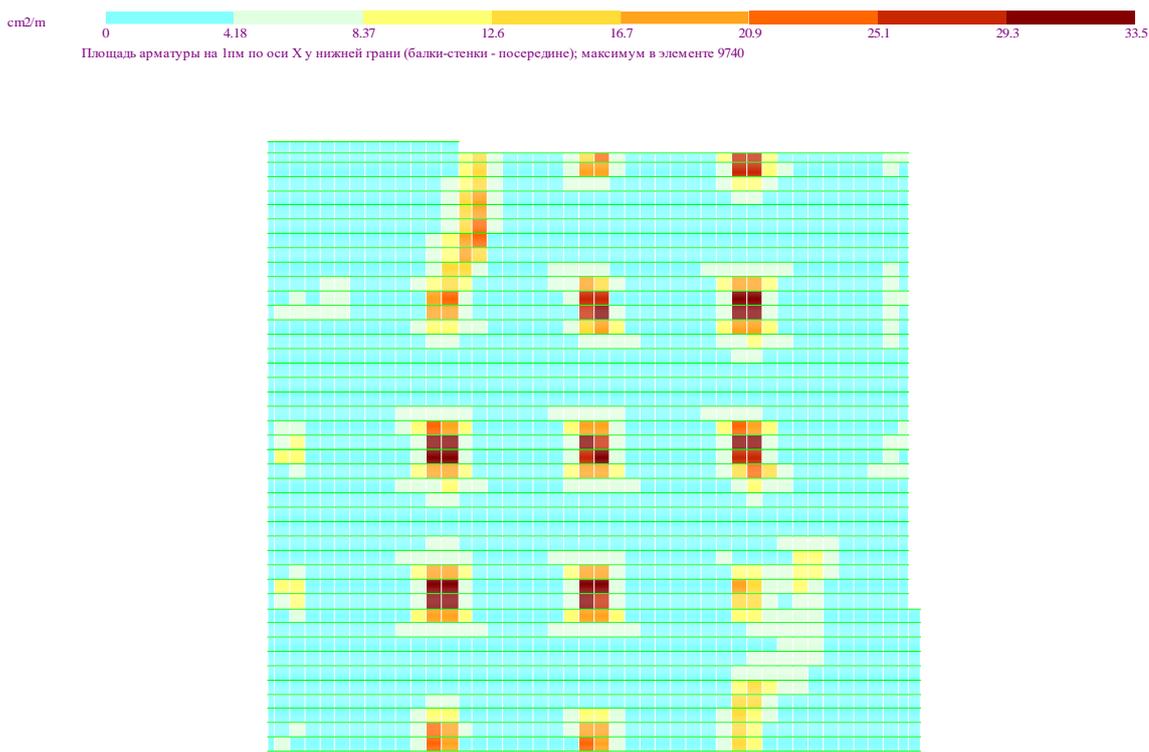


Рисунок 3.2 – Клейонка армування нижньої арматури вздовж осі X для фундаментної плити

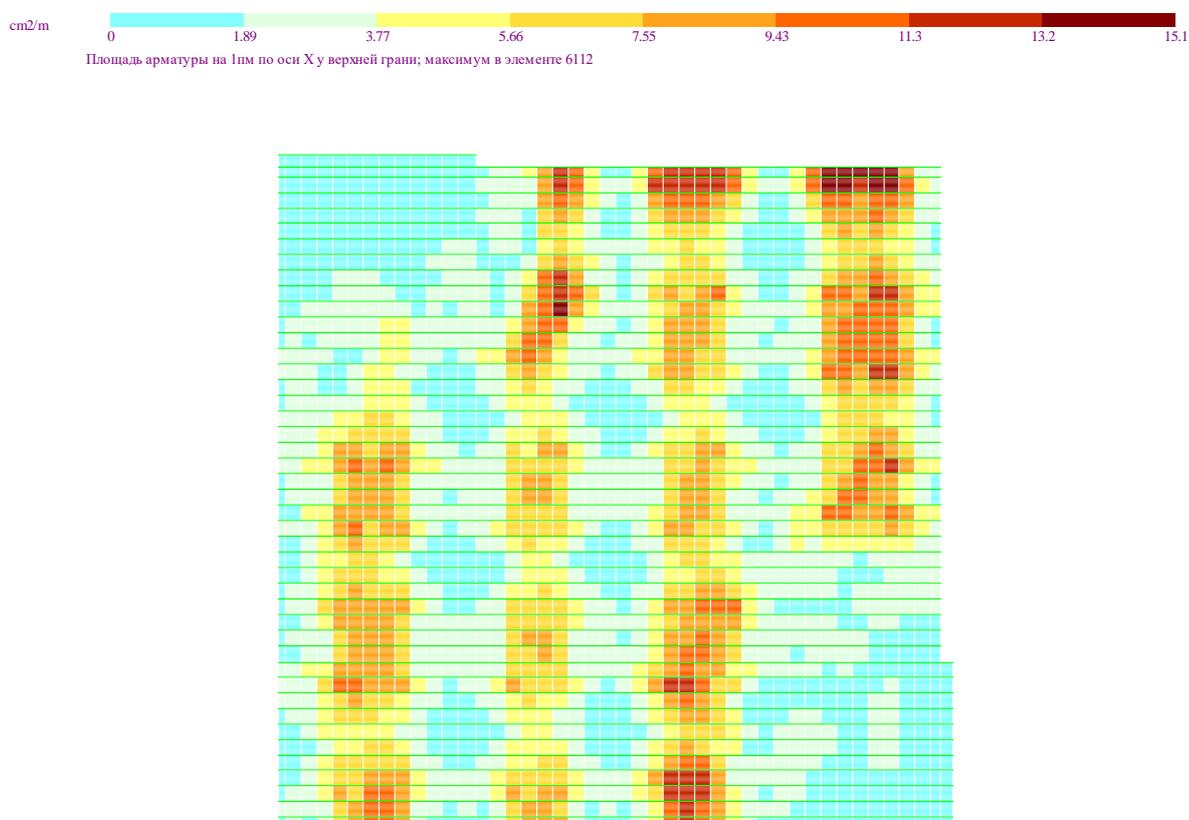


Рисунок 3.3 – Клейонка армування верхньої арматури вздовж осі X для фундаментної плити

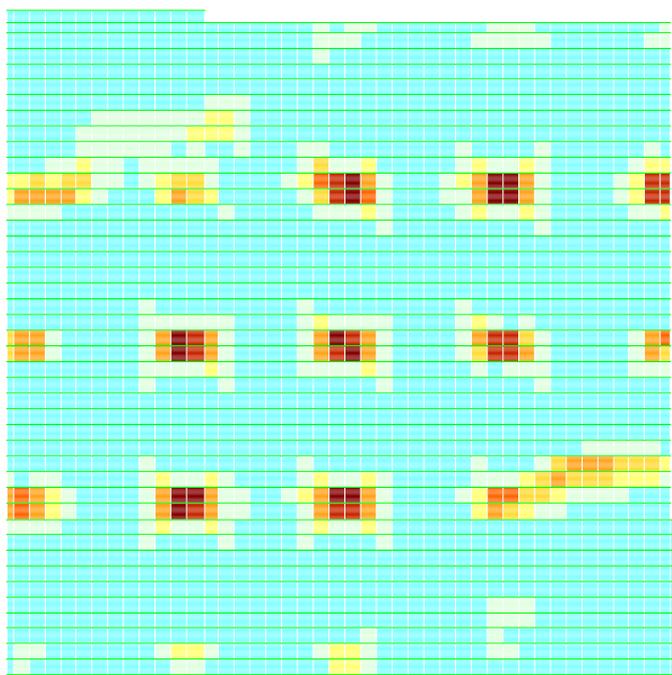


Рисунок 3.4 – Клейонка армування нижньої арматури вздовж осі Y для фундаментної плити

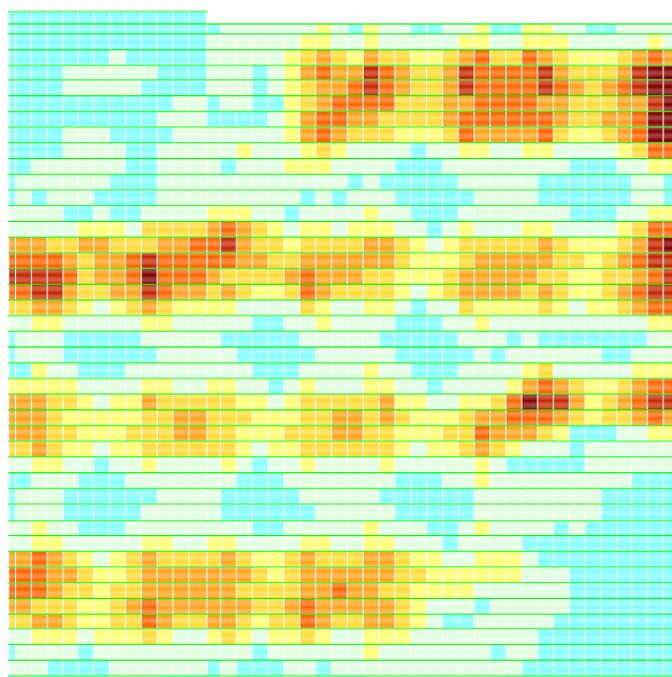
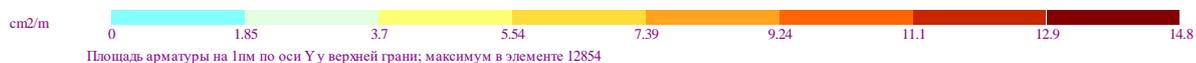


Рисунок 3.5 – Клейонка армування верхньої арматури вздовж осі Y для фундаментної плити



Рисунок 3.6 – Клейонка армування нижньої арматури вздовж осі X для плити перекриття 1-го поверху

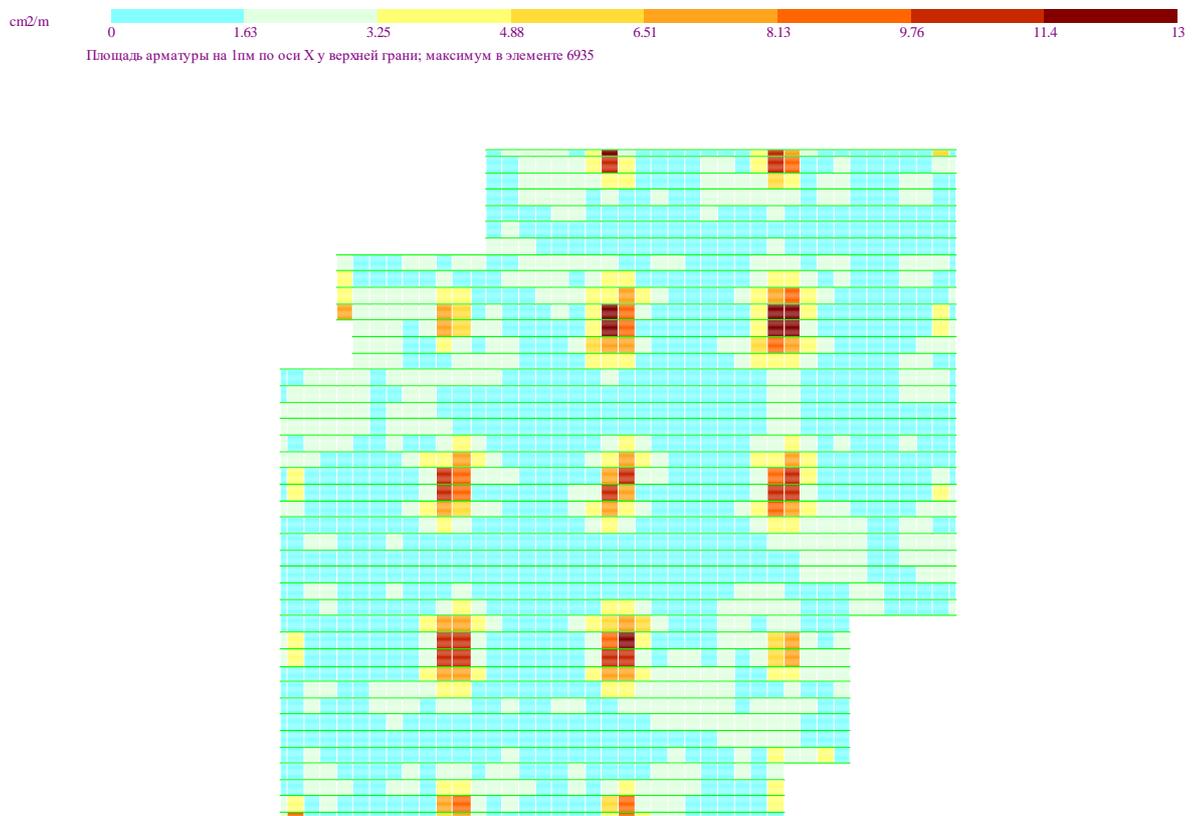


Рисунок 3.7 – Клейонка армування верхньої арматури вздовж осі X для плити перекриття 1-го поверху

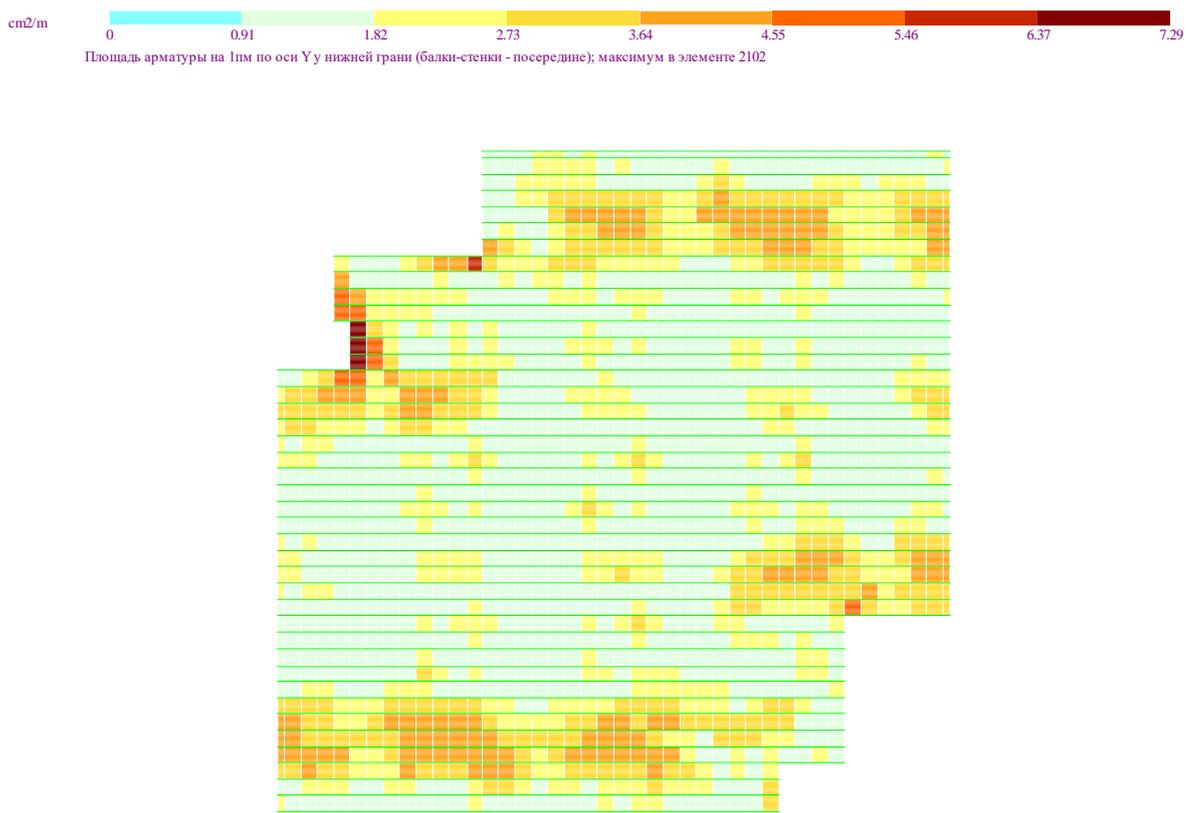


Рисунок 3.8 – Клейонка армування нижньої арматури вздовж осі Y для плити перекриття 1-го поверху

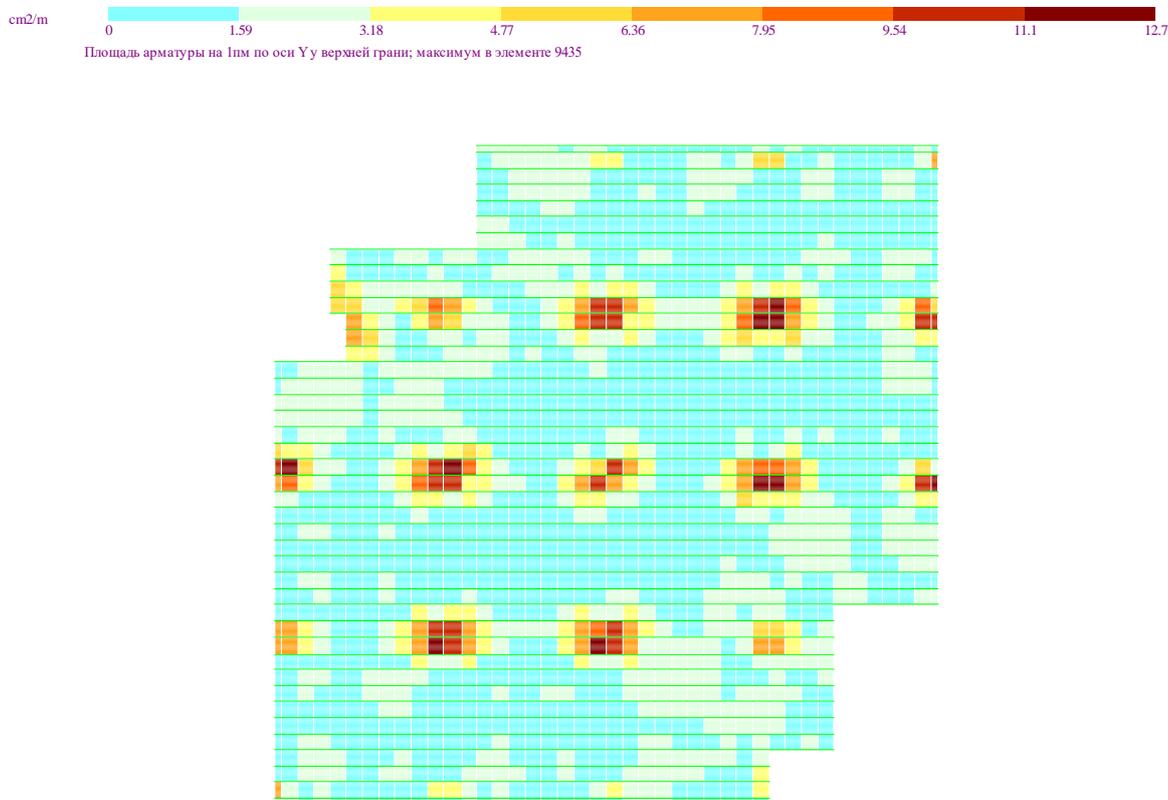


Рисунок 3.9 – Клейонка армування верхньої арматури вздовж осі Y для плити перекриття 1-го поверху

Розрахунковий аналіз будівлі розпочинається із спроби встановити, що саме в ній є суттєвим, а чим можна знехтувати. Такого роду спрощення задачі здійснюється завжди.

Фактична конструкція, незалежна від усіх несуттєвих особливостей - це і є розрахункова схема. Окремі методи схематизації набули значного поширення та мають спільний характер:

- ідеалізація матеріалу у вигляді суцільного середовища;
- зведення геометричної форми до стандартних скінченних елементів у вигляді пластин, стержнів та оболонок;
- припущення про однорідність матеріалу;
- схематизація зовнішніх сил.

Проте в усіх випадках вибір розрахункових схем – найважливіший елемент аналізу.

Особливо важливим є питання про розбиття елементів розрахункової схеми на скінченні елементи. Надто густа сітка дискретизації може призвести до нестійкості процесу розрахунку, а при надмірному розрідженні сітки зростає можливість втрат точності результатів (рис.3.1).

Результати міцнісного розрахунку скінченно-елементної моделі будівлі отримано у вигляді таблиць, епюр та ізополів (рис. 3.2-3.9). За підсумками розрахунку визначено збиткові (розрахункові) сполучення зусиль (РСЗ) на основі яких вибрано зусилля тиску СЕ внизу будівлі на ґрунтову основу.

Таким чином методологія розрахунку наземної частини будівлі показує головні тенденції сучасних САПР (систем автоматизованого проектування) та складається із етапів:

- аналіз прийнятого проектного 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 [23, 24].

3.2. Висновки по науково дослідній частині

Аналіз фактів та числових досліджень, викладених в 1–3 розділах дозволяє зробити наступні висновки:

1. Будівля є чутливим індикатором зміни властивостей системи та перерозподілу зусиль при зміні НДС основи, нелінійності їх деформування в окремих зонах.

2. Для вирішення поставленої проблеми моделювання спільної роботи системи "наземна споруда–фундамент–основа" необхідно розглядати нелінійну задачу геомеханіки. Адже в ґрунті при помірних навантаженнях уже з'являються незворотні пластичні деформації, а напруження від сучасних висотних будівель сягають 800 – 1000 кПа, тобто ґрунти уже працюють в нелінійній стадії.

3. Для оцінки НДС основи була використана методика числового моделювання за числовим МГЕ з урахуванням нелінійних процесів деформування ґрунтової основи.

4. В роботі подано диференціацію основних факторів, які найбільш суттєво впливають на результати сумісної роботи наземної та підземної частини будівель: геометрія будівлі, фізико-механічні характеристики основи, поверховість будівлі (величина навантаження). Конструктивна система висотної багатофункціональної будівлі – це взаємозалежна сукупність її вертикальних та горизонтальних несучих конструкцій, які разом мають забезпечувати міцність, жорсткість та стійкість будівлі.

5. В роботі запропоновано концепцію урахування в розрахунку спільної роботи наземної та підземної частини будівлі комплексу числових досліджень НДС будівлі згідно сучасних методів (МСЕ, МГЕ) :

а) визначення навантаження, що передається на ґрунтову основу та НДС наземної частини будівлі за її жорсткого закріплення за допомогою МСЕ та сучасних програмних комплексів (Ліра, Scad, Robot);

б) прогнозування за МГЕ очікуваного осідання будівлі при конкретних фізико-механічних характеристиках ґрунтів будівельного майданчика та конкретному навантаженні від будівлі;

в) перерахунок НДС наземної частини будівлі з урахуванням очікуваних осідань основи;

г) підбір необхідних розмірів конструктивних елементів системи "наземна споруда–фундамент–основа" та необхідного їх армування під величини визначених зусиль з урахуванням взаємодії.

6. Проаналізовано питання використання потенційних можливостей МСЕ та МГЕ при розв'язанні задач сумісної роботи наземної та підземної частин будівлі.

7. Трудність прогнозування поведінки сучасної висотної споруди (системи "будівля–фундамент–основа") можливо вирішити лише засобами числового моделювання з використанням швидкодійних ЕОМ та сучасних числових методів розв'язку крайових задач – методу скінченних елементів та методу граничних елементів.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРАХУНКУ НА ПРОТИСКУВАННЯ ФУНДАМЕНТНОГО РОСТВЕРКУ

4.1 Послідовність розрахунку фундаментного ростверку на продавлювання

В розділі наведено розрахунки на продавлювання фундаментного ростверку підземної частини будівлі в м. Вінниці по вулиці Пірогова, 89-А.

а) робоча висота бетонної плити під колоною $h_0 = 40 \text{ см} - 3,5 \text{ см} = 36,5 \text{ см}$,

де 3,5 см – захисний шар бетону, який при армуванні підшви ростверку зварними сітками має бути $a \geq 35 \text{ мм}$ при наявності бетонної підготовки [24];

б) нижня лінія грані продавлювання (рис. 4.1):

$$b = 30 + 36,5 \cdot 2 = 103 \text{ (см)} ; \quad (4.1)$$

в) середня лінія піраміди продавлювання b_m :

$$b_m = \frac{30 + 103}{2} = 66,5 \text{ (см)} ; \quad (4.2)$$

г) величина продавлюючого зусилля, яке може сприйняти бетонна плита із бетону класу В25 при робочій висоті $h_0 = 36,5 \text{ см}$:

$$F' = \alpha \cdot R_{bt} \cdot b_m \cdot h_0 = 1 \cdot 105 \cdot 0,665 \cdot 0,365 = 25,49 \text{ (тс)} ; \quad (4.3)$$

д) розрахункова сила продавлювання:

$$F = A \cdot p_{m1}, [23,24], \quad (4.4)$$

де A – частина площі підшви фундаменту обмежена багатокутником $abcd$, за межами піраміди продавлювання (рис. 4.1);

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

З деяким запасом в формулу (4.4) можна підставити найбільший краєвий тиск p_{max} .

При центральному завантаженні фундаменту:

$$p_{max} = p_{m1} = \frac{N}{a \cdot b} = \frac{107}{2,1 \cdot 2,1} = 24,263 \text{ (тс / м}^2\text{)}; \quad (4.5)$$

$$A = \frac{2,1 + 1,03}{2} \cdot 0,535 = 0,8372 \text{ (м}^2\text{)} \quad (4.6)$$

$$F = 0,8372 \cdot 24,263 = 20,31 \leq 25,49 \text{ (тс)}. \quad (4.7)$$

4.2 Висновки по технічній частині

Таким чином, робоча висота плити $h_0 = 36,5$ см задовольняє вимоги на продавлювання бетонної плит із бетону В25. Висота східця складає 10 см, ширина – 60 см.

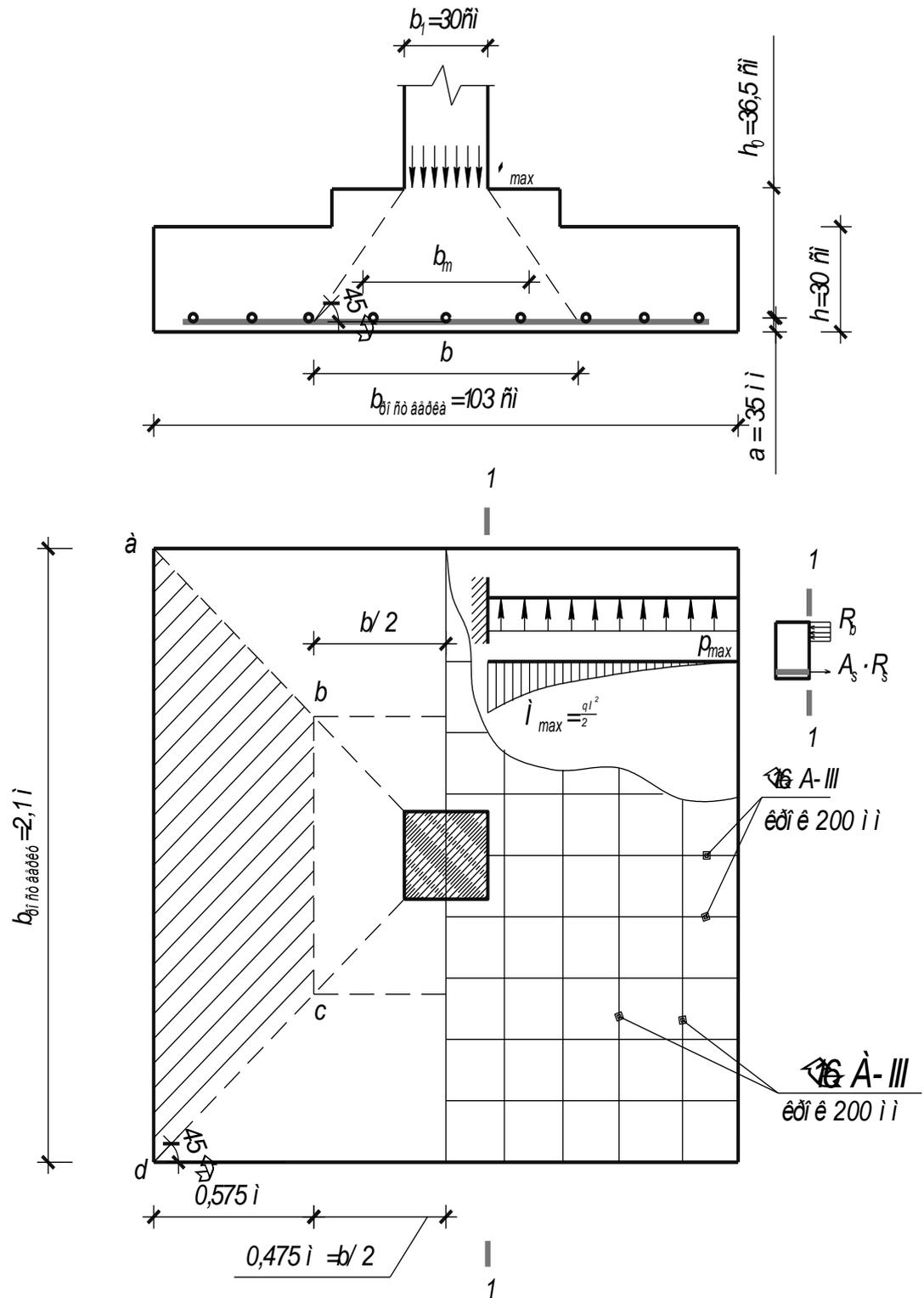


Рисунок 4.1 – Схема до розрахунку на протискування фундаментного ростверку

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Підрахунок обсягів робіт

Усі основні об'єми робіт для будівлі визначені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Об'єм будівельно-монтажних робіт

| Найменування робіт | Один вимір | Формула підрахунку | Об'єм робіт |
|---|------------|---|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Підземний цикл | | | |
| Планування площадки бульдозером | m^2 | $F = A \cdot B = 93,8 \cdot 112$ | 10506 |
| Зрізання рослинного прошарку | m^3 | $V = h \cdot A \cdot B = 0,5 \cdot 93,8 \cdot 112$ | 5253 |
| Розробка ґрунту екскаватором у відвал | m^3 | $V = 109,6 + 612 + 387,6$ | 1109,2 |
| Розробка ґрунту екскаватором на автосамоскиди | m^3 | $V = 132 + 3044,7 + 128,7$ | 3305,4 |
| Ручна доробка ґрунту | m^3 | $V = (72 \cdot 1,2 \cdot 2,2 + 84 \cdot 1,2 \cdot 1,8 + 6 \cdot 2,8 \cdot 2,8 + 9,46 + 9,26) \cdot 0,1$ | 43,73 |
| Устрій бетонної підготовки під фундаменти | m^3 | $V = 43,73$ | 43,73 |
| Устрій фундаментних подушок вагою до 3,5т | шт. | $N = 72 + 84$ | 156 |
| Монтаж фундаментних блоків вагою до 0,5т | шт. | $N = 132$ | 132 |
| до 1,5т | | $N = 617$ | 617 |
| до 3,5т | | $N = 209$ | 209 |
| Влаштування гориз. гідроізоляції | m^2 | $F = A \cdot B = 849,7$ | 849,7 |
| Влаштування вертикальної гідроізоляції | m^2 | $F = A \cdot B = 114 \cdot 4,6$ | 524,4 |

Продовження таблиці 5.1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|----------------|--|---------|
| Влаштування монолітного фундаменту | м ³ | $V=6\cdot 5,7$ | 34,2 |
| Засипання пазух котловану | м ³ | $V=1109,2$ | 1109,2 |
| Ущільнення ґрунту пазух котловану | м ³ | $V=1109,2$ | 1109,2 |
| Влаштування монолітних колон | м ³ | $V=6\cdot 1,87=11,22$ | 11,22 |
| Влаштування монолітних балок | м ³ | $V=6\cdot 2,74+2\cdot 2+3\cdot 2,05+2\cdot 1,6=27,98$ | 27,98 |
| Надземний цикл | | | |
| Мурування зовнішніх стін | м ³ | $V=(16\cdot 3,3\cdot 163,8\cdot 0,64+1,88\cdot 163,8\cdot 0,51+43,8\cdot 0,3\cdot 8\cdot 3,3+(163,8+43,8)\cdot 0,25\cdot 0,65)-(1050,61\cdot 0,64)-2,574\cdot 0,51$ | 5107,2 |
| Мурування внутрішніх стін | м ³ | $V=16\cdot 3,3\cdot 0,38\cdot (21,6+7,75+18,7+11,3+1\cdot 1,5+5,15+4,8+8,2+1,8+3,6+2,2+1,7+2,2+2+7,05+5,9+3,9+11,87+7,36+8,85)+3,3\cdot 0,38\cdot 23,8-16\cdot 0,38\cdot (1,95\cdot 2+1,5\cdot 2,1\cdot 6+2,059\cdot 5+1,338)$ | 2778,53 |
| Армування цегляної кладки | т | $M=268,55$ | 268,55 |
| Влаштування утеплення фасаду мінер. ватою | м ² | $F=(16\cdot 3,3\cdot 163,8+1,88\cdot 163,8+43,8\cdot 1,4)-(1050,61+2,574)$ | 7964,72 |
| Мурування перегородок | м ² | $F=16\cdot 3\cdot 123,4-(1269,204-16\cdot (1,95\cdot 2+1,5\cdot 2,1\cdot 6+2,059\cdot 5+1,338))$ | 5204,92 |
| Монтаж перемичок | шт. | $N=880+240+240+480+5+470$ | 2315 |
| Монтаж сходових маршів | шт. | $N=35$ | 35 |
| Монтаж сходових площадок | шт. | $N=35$ | 35 |

Продовження таблиці 5.1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|-------|---|---------|
| Влаштування металевих сходів | т | $M_{сх}=32 \cdot 0,35$ | 11,2 |
| | | $M_{пл}=32 \cdot 0,15$ | 4,8 |
| Влаштування круглих колон | m^3 | $N=10 \cdot 0,9$ | 9 |
| Монтаж плит перекриття площею до $5m^2$ до $10m^2$ | шт. | $N=64+4 \cdot 16$ | 128 |
| | | $N=496+224+48+112+288+5 \cdot 16+3 \cdot 32+6 \cdot 4+2+3+7+4+2+7+10$ | 1564 |
| Монтаж плит покриття площею до $5m^2$ до $10m^2$ | шт. | $N=3$ | 3 |
| | | $N=31+16+16+14+4+4+11+6+4+18$ | 124 |
| Монтаж плит лоджій | шт. | $N=85+17$ | 102 |
| Влаштування монолітної балки для куполу | m^3 | $V=3,28$ | 3,28 |
| Монтаж металевого куполу | т | $M=10 \cdot 9,46 \cdot 5,8+92,32 \cdot 1,12+32,4+7 \cdot (6 \cdot 3,1 \cdot 9,46+15,1+26,4 \cdot 1,12)$ | 2,09 |
| Монтаж віконних блоків площею до $2m^2$ більше $2m^2$ | m^2 | $F=100,8+20,85$ | 121,65 |
| | m^2 | $F=297,6+132,8+123,84+95,36+74,88$ | 724,48 |
| Монтаж дверних блоків площею до $3m^2$ | m^2 | $F=187,2+144,16+57,66+180,48+201,82+214,08+296,5+2,66+2,574$ | 1287,13 |
| Монтаж воріт | т | $M=3,2$ | 3,2 |
| Скління вікон | m^2 | $F=n \cdot A \cdot B=846,13$ | 846,13 |
| Покрівельні роботи | | | |
| Устрій пароізоляції покрівлі | m^2 | $F= A \cdot B=216,8+105,1 +342,8$ | 664,7 |
| Устрій утеплювача | m^2 | $F= A \cdot B=216,8+105,1 +342,8$ | 664,7 |
| Устрій стяжки | m^2 | $F= A \cdot B=216,8+105,1 +342,8$ | 664,7 |

Продовження таблиці 5.1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|----------------|-----------------------------------|---------|
| Устрій рулонного килима | м ² | $F= A \cdot B=216,8+105,1 +342,8$ | 664,7 |
| Влаштування покрівлі з металочерепиці | м ² | $F= A \cdot B= 75,6+7 \cdot 31,1$ | 293,3 |
| Підлоги | | | |
| Влаштування бетонної підготовки під підлоги | м ² | $F= A \cdot B=197,18$ | 197,18 |
| Влаштування щебеневої підготовки під підлогу | м ² | $F= A \cdot B=381,2$ | 381,2 |
| Влаштування утеплювача | м ² | $F= A \cdot B=9159,04$ | 9159,04 |
| Влаштування гідроізоляції | м ² | $F= A \cdot B=808,64$ | 808,64 |
| Влаштування шумопоглинаючого шару | м ² | $F= A \cdot B=7061,6$ | 7061,6 |
| Влаштування цементно-піщаної стяжки | м ² | $F=18,07+146,96+790,57+6914,64$ | 7870,24 |
| Влаштування стяжки з листів ДВП | м ² | $F=1256,65+32,15$ | 1291,8 |
| Влаштування асфальтобетонної підлоги | м ² | $F= A \cdot B=381,2$ | 381,2 |
| Влаштування підлоги з керамічної плитки | м ² | $F= A \cdot B=808,64$ | 808,64 |
| Влаштування підлоги з лінолеуму | м ² | $F= A \cdot B=1288,8$ | 1288,8 |
| Влаштування мозаїчної підлоги | м ² | $F= A \cdot B=1046,96$ | 1046,96 |
| Влаштування підлоги з ламінату | м ² | $F= A \cdot B=7061,6$ | 7061,6 |

Продовження таблиці 5.1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|----------------|--|----------|
| Оздоблювальні роботи | | | |
| Оздоблення фасаду металевим сайдингом | т | $F=(12,1+3,1+5 \cdot 1,7+4,4+4,4+8,55+4,75+ 5,6+1,2+3,2+4,5+3,7+2+8,3+4,6+2,8+16,2+3,1+5,2) \cdot 55$ $,67+2 \cdot 2 \cdot (8,1+14,4)-$ $(2,574+297,6+132,8+ 123,84+95,36+74,88+20,85+2,66) \cdot 0,8 \cdot 7,85$ | 36,7 |
| Поліпшене штукатурення стін | м ² | $F=16 \cdot 3 \cdot (18+16,4+21+ 16,5+20,4+19,7+8,2+12,9+18,1+23,9+ 21,4+ 14,2+7,3+5,5+17,3+19,8+10,5+49,7+7,5+ 22,8+15,6+16,6+16+17,6+14,1+13,9+12,8+19,4)+114 \cdot 4,6+51,1-$ $2 \cdot (187,2+144,16+57,66+180,48+214,08+265,61)+846,13+2,66+201,82)$ | 20327,31 |
| Обклеювання шпалерами стін | м ² | $F= 16 \cdot 3 \cdot (18+16,4+21+16,5+20,4+19,7+8,2+12,9+18,1+23,9+21,4+14,2+7,3+5,5+17,3+22,8+15,6+16,6+16+17,6+14,1+13,9+12,8+19,4)-(2 \cdot (187,2+144,16+57,66 +180,48+214,08+265,61)+846,13+2,66+201,82)$ | 19664,31 |
| Обклеювання шпалерами стель | м ² | $F=16 \cdot (62,84+163,14+119,51+137,39+89,56)$ | 9159,04 |
| Лицювання стін керамічною плиткою | м ² | $F=16 \cdot 3 \cdot (15,9+9,9+ 15,1+12,9+6,3+6,9+13,4+17,4+16,3+6,4+10,9+17,2+5,9+10,9)-(214,08+144,16)$ | 7580,96 |
| Поліпшене фарбування стелі | м ² | $F=16 \cdot (14,54+44,82+ 7 \cdot 9,94)+381,2$ | 2444,24 |
| Поліпшене фарбування стін | м ² | $F= F_{шт}-F_{шп}= 20327,31-19664,31$ | 663 |
| Влаштування основи під вимощення | м ² | $F=1,5 \cdot (12,1+3,1+5 \cdot 1,7+4,4+4,4+8,55+4,75+5,6+1,2+3,2+ 4,5+3,7+2+8,3+4,6+2,8+16,2+3,1+5,2+7 \cdot 5,1)$ | 947,38 |
| Влаштування вимощення з асфальтобетону | м ² | $F= F_{під}$ | 947,38 |

5.2 Розробка кошторисної документації

Кошторисна документація до магістерської кваліфікаційної роботи складена у відповідності до КНУ Настанова з визначення вартості будівництва. за допомогою кошторисної програми Будівельні технології.

Локальні кошториси складаються в поточному рівні цін на трудові і матеріально-технічні ресурси. В локальному кошторисі визначено кошторисну вартість робіт, яка містить в собі прямі та загальновиробничі витрати.

Прямі витрати враховують заробітну плату робітників, вартість експлуатації будівельних машин і механізмів, вартість матеріалів, виробів і конструкцій. Загальновиробничі витрати будівельно-монтажної організації входять у виробничу собівартість будівельно-монтажних робіт. Для розрахунку загальновиробничі витрати групуються в три блоки:

- а) засоби на заробітну плату робітників;
- б) відрахування на соціальні заходи;
- в) інші статті загально - виробничих витрат.

Склад, об'єми робіт та необхідну кількість витратних матеріалів наведено у таблиці 5.1.

Вартість робіт по локальному кошторису на загально-будівельні роботи становить 112852.526 тис. грн.

(найменування об'єкта будівництва)

Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 02-001-003на загально-будівельні роботи.

(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА:

креслення(специфікації)№

Кошторисна вартість

112852.526 тис. грн.

Кошторисна трудомісткість

281.94454 тис. люд.-год

Кошторисна заробітна плата

21701.251 тис. грн.

Середній розряд робіт

3.7 розряд

Складений в поточних цінах станом на 4 січня 2025 р.

| № Ч.ч. | Обґрунтування (шифр норми) | Найменування робіт і витрат | Одиниця виміру | Кількість | Вартість одиниці, грн. | | Загальна вартість, грн. | | | Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслуговуванням машин | |
|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------|-----------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------------|--------------------|--|--------|
| | | | | | Всього | експлуатації машин | Всього | заробітної плати | експлуатації машин | тих, що обслуговують машини | |
| | | | | | заробітної плати | в тому числі заробітної плати | | | | на одиницю | всього |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Розділ № 1 Підземна частина | | | | | | | | | | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|-----------|---|--|--------|----------|----------|-------|-----|-------|---------|-------|
| 1 | КБ1-30-1 | Планування площ бульдозерами потужністю 59 кВт [80 к.с.] за 1 прохід | 1000м2 спланованої поверхні за 1 прохід бульдозеру | 10.506 | 355.12 | 355.12 | 3731 | - | 3731 | - | - |
| | | | | | - | 63.73 | | | 670 | 0.7740 | 8.13 |
| 2 | КБ1-207-2 | Згрібання зрізаного або викорчуваного середнього чагарника і дрібнолісся чагарниковими граблями на тракторі потужністю 79 кВт [108 к.с.] з переміщенням до 20 м | 1 га | 1.0506 | 2610.79 | 2610.79 | 2743 | - | 2743 | - | - |
| | | | | | - | 498.84 | | | 524 | 5.2932 | 5.56 |
| 3 | КБ1-13-1 | Розроблення ґрунту у відвал екскаваторами 'драглайн' або 'зворотна лопата' з ковшом місткістю 0,4 [0,3-0,45] м3, група ґрунтів 1 | 1000 м3 ґрунту | 1.1092 | 20360.08 | 19787.20 | 22583 | 635 | 21948 | 9.5400 | 10.58 |
| | | | | | 572.88 | 4984.24 | | | 5529 | 58.9016 | 65.33 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|-----------|--|--|---------|-----------|----------|--------|-------|--------|----------|--------|
| 4 | КБ1-18-1 | Розроблення ґрунту з навантаженням на автомобілі-самоскиди екскаваторами одноковшовими дизельними на гусеничному ході з ковшом місткістю 0,4 [0,35-0,45] м3, група ґрунтів 1 | 1000 м3 ґрунту | 3.30504 | 36790.54 | 35340.93 | 121594 | 4791 | 116803 | 24.1400 | 79.78 |
| | | | | | 1449.61 | 8151.49 | | | 26941 | 96.9391 | 320.39 |
| 5 | КБ1-163-1 | Розробка ґрунту вручну в траншеях шириною понад 2 м і котлованах площею перерізу до 5 м2 з кріпленнями при глибині траншей і котлованів до 2 м, група ґрунтів 1 | 100м3 ґрунту | 0.4373 | 17179.45 | - | 7513 | 7513 | - | 275.4000 | 120.43 |
| | | | | | 17179.45 | - | | | - | - | - |
| 6 | КБ6-1-1 | Улаштування бетонної підготовки | 100м3 бетону, бугобетону і залізобетону в ділі | 0.4373 | 279011.09 | 2329.72 | 122012 | 4151 | 1019 | 150.7000 | 65.90 |
| | | | | | 9492.59 | 890.07 | | | 389 | 10.6641 | 4.66 |
| 7 | КБ7-1-3 | Укладання фундаментних подушек при глибині котлована до 4 м, маса конструкцій до 3,5 т | 100 шт збірних конструкцій | 1.56 | 52003.40 | 39683.30 | 81125 | 19219 | 61906 | 175.4500 | 273.70 |
| | | | | | 12320.10 | 11777.64 | | | 18373 | 137.8801 | 215.09 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|--------------|--|--|-------|-----------|----------|---------|-------|--------|----------|--------|
| 8 | K58-1121-661 | Подушки фундаментні | шт | 156.0 | 1508.24 | | 235285 | | | | |
| 9 | KB7-1-1 | Укладання блоків і плит стрічкових фундаментів при глибині котлована до 4 м, маса конструкцій до 0,5 т | 100 шт збірних конструкцій | 1.32 | 175527.01 | 18305.49 | 231696 | 8445 | 24163 | 94.5400 | 124.79 |
| | | | | | 6397.52 | 5569.16 | | | 7351 | 61.6842 | 81.42 |
| 10 | KB7-1-2 | Укладання блоків і плит стрічкових фундаментів при глибині котлована до 4 м, маса конструкцій до 1,5 т | 100 шт збірних конструкцій | 6.17 | 286426.72 | 25408.06 | 1767253 | 50561 | 156768 | 119.6300 | 738.12 |
| | | | | | 8194.66 | 7655.32 | | | 47233 | 86.6694 | 534.75 |
| 11 | KB7-1-3 | Укладання блоків і плит стрічкових фундаментів при глибині котлована до 4 м, маса конструкцій до 3,5 т | 100 шт збірних конструкцій | 2.09 | 373601.40 | 39683.30 | 780827 | 25749 | 82938 | 175.4500 | 366.69 |
| | | | | | 12320.10 | 11777.64 | | | 24615 | 137.8801 | 288.17 |
| 12 | KB6-1-16 | Улаштування фундаментних плит залізобетонних плоских | 100м3 бетону, бугобетону і залізобетону в ділі | 0.342 | 604562.63 | 8489.25 | 206760 | 5843 | 2903 | 249.4100 | 85.30 |
| | | | | | 17084.59 | 2709.27 | | | 927 | 32.7235 | 11.19 |
| 13 | KB8-3-3 | Гідроізоляція стін, фундаментів горизонтальна обклеювальна в 2 шари | 100 м2 поверхні, що ізолюється | 8.497 | 27401.46 | - | 232830 | 18091 | - | 30.3200 | 257.63 |
| | | | | | 2129.07 | - | | | - | - | - |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|-----------|---|--------------------------------|--------|------------|-----------|----------|---------|--------|-----------|----------|
| 14 | КБ8-3-7 | Гідроізоляція стін, фундаментів бокова обмазувальна бітумна в 2 шари по вирівненій поверхні бутового мурування, цеглі, бетону | 100 м2 поверхні, що ізолюється | 5.244 | 13717.40 | - | 71934 | 12931 | - | 33.5000 | 175.67 |
| | | | | | 2465.94 | - | | | | | |
| 15 | КБ1-27-1 | Засипка траншей і котлованів бульдозерами потужністю 59 кВт [80 к.с.] з переміщенням ґрунту до 5 м, група ґрунтів 1 | 1000 м3 ґрунту | 1.1092 | 6954.47 | 6954.47 | 7714 | - | 7714 | - | - |
| | | | | | - | 1248.09 | | | 1384 | 15.1575 | 16.81 |
| 16 | КБ1-134-1 | Ущільнення ґрунту пневматичними трамбівками, група ґрунтів 1, 2 | 100 м3 ущільненого ґрунту | 11.092 | 2681.96 | 1471.30 | 29748 | 13429 | 16319 | 18.3600 | 203.65 |
| | | | | | 1210.66 | 372.20 | | | 4128 | 5.1175 | 56.76 |
| 17 | КБ6-15-1 | Улаштування колон цивільних будівель у металевій опалубці | 100 м3 залізобетона в ділі | 0.1122 | 1186964.00 | 124830.45 | 133177 | 11554 | 14006 | 1432.4400 | 160.72 |
| | | | | | 102978.11 | 45625.13 | | | 5119 | 547.2600 | 61.40 |
| | | Разом прямих витрат по розділу № 1 | | | | | 4058525 | 182912 | 512961 | | 2662.96 |
| | | | | | | | | | 143183 | | 1669.66 |
| | | Розділ № 2 Надземна частина | | | | | | | | | |
| 18 | КБ8-5-1 | Конструкції з цегли. Мурування стін зовнішніх простих при висоті поверху до 4 м | 1 м3 мурування | 5107.2 | 4514.29 | 126.21 | 23055382 | 2903494 | 644580 | 8.2000 | 41879.04 |
| | | | | | 568.51 | 51.08 | | | 260876 | 0.6120 | 3125.61 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|-----------|---|--|---------|-----------|----------|----------|---------|--------|----------|----------|
| 19 | КБ8-5-7 | Конструкції з цегли. Мурування стін внутрішніх при висоті поверху до 4 м | 1 м3 муруван ня | 2778.53 | 4587.34 | 126.21 | 12746062 | 1648252 | 350678 | 8.6600 | 24062.07 |
| | | | | | 593.21 | 51.08 | | | 141927 | 0.6120 | 1700.46 |
| 20 | КБ8-11-1 | Армування мурування стін та інших конструкцій | 1 т металеви х виробів | 268.55 | 30104.14 | 129.02 | 8084467 | 1201793 | 34648 | 63.7300 | 17114.69 |
| | | | | | 4475.12 | 52.21 | | | 14021 | 0.6256 | 168.00 |
| 21 | КБ15-78-1 | Утеплення фасадів мінеральними плитами товщиною 100 мм з опорядженням декоративним розчином. Стіни гладкі | 100 м2 поверхні опорядж ення | 79.6472 | 104188.08 | - | 8298289 | 2666504 | - | 417.8600 | 33281.38 |
| | | | | | 33478.94 | - | | | - | - | - |
| 22 | КБ8-6-1 | Мурування перегородок армованих товщиною в 1/4 цегли при висоті поверху до 4 м | 100 м2 перегоро док [з відрахув анням прорізів] | 52.0492 | 42042.25 | 729.22 | 2188265 | 733097 | 37955 | 195.9200 | 10197.48 |
| | | | | | 14084.69 | 295.10 | | | 15360 | 3.5360 | 184.05 |
| 23 | КБ7-11-1 | Укладання перемичок масою від 0,3 до 0,7 т при найбільшій масі монтажних елементів у будівлі до 5 т | 100 шт збірних конструк цій | 23.15 | 77351.16 | 16810.99 | 1790679 | 184682 | 389174 | 117.8900 | 2729.15 |
| | | | | | 7977.62 | 5787.72 | | | 133986 | 72.5867 | 1680.38 |
| 24 | КБ7-47-2 | Установлення сходових площадок масою більше 1 т | 100 шт збірних конструк цій | 0.35 | 758516.18 | 30847.06 | 265481 | 8647 | 10796 | 343.6500 | 120.28 |
| | | | | | 24705.00 | 10818.22 | | | 3786 | 134.2889 | 47.00 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|----------|---|----------------------------|-------|-----------|----------|----------|--------|--------|----------|---------|
| 25 | КБ7-47-4 | Установлення сходових маршів без зварювання масою більше 1 т | 100 шт збірних конструкцій | 0.35 | 802106.50 | 27950.84 | 280737 | 7840 | 9783 | 319.0000 | 111.65 |
| | | | | | 22400.18 | 10152.14 | | | 3553 | 125.3406 | 43.87 |
| 26 | КБ9-29-1 | Монтаж сходів прямолінійних і криволінійних, пожежних з огорожею | 1 т конструкцій | 11.2 | 34451.35 | 5280.05 | 385855 | 37666 | 59137 | 46.2400 | 517.89 |
| | | | | | 3363.04 | 1479.83 | | | 16574 | 16.0249 | 179.48 |
| 27 | КБ9-30-1 | Монтаж площадок із настилом і огорожею з листової, рифленої, просічної і круглої сталі | 1 т конструкцій | 4.8 | 34959.06 | 5049.14 | 167803 | 19592 | 24236 | 57.4400 | 275.71 |
| | | | | | 4081.69 | 1081.36 | | | 5191 | 11.6206 | 55.78 |
| 28 | КБ7-43-1 | Установлення круглих колон | 100 шт збірних конструкцій | 0.1 | 838725.90 | 71361.57 | 83873 | 4443 | 7136 | 640.9000 | 64.09 |
| | | | | | 44433.60 | 21748.85 | | | 2175 | 239.9298 | 23.99 |
| 29 | КБ7-45-1 | Укладання панелей перекриття з обпиранням по контуру площею до 5 м2 [для будівництва в районах із сейсмічністю до 6 балів] | 100 шт збірних конструкцій | 1.28 | 544192.63 | 14382.92 | 696567 | 23835 | 18410 | 262.0500 | 335.42 |
| | | | | | 18621.27 | 4662.67 | | | 5968 | 58.9559 | 75.46 |
| 30 | КБ7-45-2 | Укладання панелей перекриття з обпиранням по контуру площею до 15 м2 [для будівництва в районах із сейсмічністю до 6 балів] | 100 шт збірних конструкцій | 15.64 | 771922.64 | 29148.87 | 12072870 | 430270 | 455888 | 387.1500 | 6055.03 |
| | | | | | 27510.88 | 9272.04 | | | 145015 | 118.7677 | 1857.53 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|-----------|---|----------------------------|--------|-----------|----------|--------|-------|-------|-----------|--------|
| 31 | КБ7-45-7 | Укладання панелей покриття ребристих площею до 5 м2 [для будівництва в районах із сейсмічністю до 6 балів] | 100 шт збірних конструкцій | 0.03 | 677392.89 | 16053.24 | 20322 | 279 | 482 | 132.3900 | 3.97 |
| | | | | | 9296.43 | 5289.51 | | | 159 | 66.8500 | 2.01 |
| 32 | КБ7-45-8 | Укладання панелей покриття ребристих площею до 10 м2 [для будівництва в районах із сейсмічністю до 6 балів] | 100 шт збірних конструкцій | 1.24 | 781658.71 | 17600.85 | 969257 | 14898 | 21825 | 171.1000 | 212.16 |
| | | | | | 12014.64 | 6003.14 | | | 7444 | 75.1226 | 93.15 |
| 33 | КБ7-53-1 | Установлення в панельних будівлях плит лоджій площею до 5 м2 | 100 шт збірних конструкцій | 1.02 | 126307.57 | 10832.08 | 128834 | 10472 | 11049 | 137.9000 | 140.66 |
| | | | | | 10266.66 | 3665.93 | | | 3739 | 45.5681 | 46.48 |
| 34 | КБ6-18-2 | Улаштування балок для перекриттів, підкранових і об'язувальних на висоті від опорної площадки до 6 м при висоті балок до 500 мм | 100 м3 залізобетону в ділі | 0.0328 | 505969.36 | 33555.14 | 16596 | 3786 | 1101 | 1624.4000 | 53.28 |
| | | | | | 115429.86 | 10123.29 | | | 332 | 122.3669 | 4.01 |
| 35 | КБ9-26-1 | Монтаж куполу металевого | 1 т конструкцій | 2.09 | 27519.29 | 6546.76 | 57515 | 5353 | 13683 | 34.4000 | 71.90 |
| | | | | | 2561.08 | 1945.46 | | | 4066 | 20.8304 | 43.54 |
| 36 | КБ10-20-2 | Заповнення віконних прорізів готовими блоками площею до 2 м2 з металопластику в кам'яних стінах житлових і громадських будівель | 100 м2 прорізів | 1.2165 | 412389.10 | 839.54 | 501671 | 13955 | 1021 | 149.5000 | 181.87 |
| | | | | | 11471.14 | 512.04 | | | 623 | 6.4856 | 7.89 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--|-----------|---|--------------------------------|---------|----------------------|---------------------|---------|--------|----------------|---------------------|-------------------|
| 37 | КБ10-20-3 | Заповнення віконних прорізів готовими блоками площею до 3 м2 з металопластику в кам'яних стінах житлових і громадських будівель | 100 м2 прорізів | 7.2448 | 409451.71 8697.35 | 698.57 426.06 | 2966396 | 63011 | 5061 3087 | 113.3500 5.3966 | 821.20 39.10 |
| 38 | КБ10-26-1 | Установлення дверних блоків у зовнішніх і внутрішніх прорізах кам'яних стін, площа прорізу до 3 м2 | 100 м2 прорізів | 12.8713 | 477901.95 9924.95 | 7155.18 2217.84 | 6151219 | 127747 | 92096 28546 | 139.6700 23.5338 | 1797.73 302.91 |
| 39 | КБ9-46-1 | Монтаж воріт | 1т конструкцій | 3.2 | 42259.03 5156.12 | 12255.57 3463.75 | 135229 | 16500 | 39218 11084 | 66.2400 32.7836 | 211.97 104.91 |
| Розділ № 2.1 Покрівельні роботи | | | | | | | | | | | |
| 40 | КБ12-20-1 | Улаштування пароізоляції обклеювальної в один шар | 100 м2 поверхні, що ізолюється | 6.647 | 16468.73 1781.16 | 152.20 42.33 | 109468 | 11839 | 1012 281 | 24.4900 0.4915 | 162.79 3.27 |
| 41 | КБ12-19-1 | Утеплення покриттів легким [ніздрюватим] бетоном | 1 м3 утеплювача | 66.47 | 4738.63 337.00 | 270.42 71.60 | 314977 | 22400 | 17975 4759 | 5.7400 0.8446 | 381.54 56.14 |
| 42 | КБ12-22-1 | Улаштування вирівнюючих стяжок цементно-піщаних товщиною 15 мм | 100 м2 стяжок | 6.647 | 9247.57 2288.04 | 1928.95 546.49 | 61469 | 15209 | 12822 3633 | 38.3900 6.4686 | 255.18 43.00 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------------------------------|-----------|--|--------------------------|---------|----------|---------|---------|--------|-------|----------|---------|
| 43 | КБ12-21-1 | Грунтування основ із бетону або розчину під водоізоляційний покрівельний килим | 100 м2 покрівлі | 6.647 | 6190.17 | 21.36 | 41146 | 3171 | 142 | 7.0500 | 46.86 |
| | | | | | 477.07 | 5.94 | | | 39 | 0.0798 | 0.53 |
| 44 | КБ12-12-1 | Улаштування покрівель двосхилих із металочерепиці 'Монтерей' | 100 м2 покрівлі | 2.933 | 45908.33 | 538.79 | 134649 | 24113 | 1580 | 124.6800 | 365.69 |
| | | | | | 8221.40 | 125.40 | | | 368 | 1.4775 | 4.33 |
| Розділ № 2.1.1 Підлога | | | | | | | | | | | |
| 45 | КБ11-11-5 | Улаштування стяжок бетонних товщиною 20 мм | 100 м2 стяжки | 1.978 | 9891.03 | 95.04 | 19564 | 7543 | 188 | 57.8300 | 114.39 |
| | | | | | 3813.31 | 79.21 | | | 157 | 1.0323 | 2.04 |
| 46 | КБ11-2-4 | Улаштування ущільнених трамбівками підстиляючих щебених шарів | 1 м3 підстильного шару | 38.12 | 2672.06 | 437.41 | 101859 | 12015 | 16674 | 4.7800 | 182.21 |
| | | | | | 315.19 | 94.80 | | | 3614 | 1.3014 | 49.61 |
| 47 | КБ11-9-1 | Улаштування тепло- і звукоізоляції суцільної з плит або мат мінераловатних або скловолокнистих | 100 м2 поверхні ізоляції | 91.5904 | 2265.87 | 20.44 | 207532 | 205660 | 1872 | 32.7800 | 3002.33 |
| | | | | | 2245.43 | 17.03 | | | 1560 | 0.2220 | 20.33 |
| 48 | КБ11-6-1 | Улаштування гідроізоляції полімерцементною сумішшю товщиною шару 30 мм на рідині ГКЖ-10 | 100 м2 поверхні ізоляції | 8.0864 | 29475.89 | 3057.38 | 238354 | 66013 | 24723 | 109.6500 | 886.67 |
| | | | | | 8163.44 | 858.83 | | | 6945 | 12.2052 | 98.70 |
| 49 | КБ11-8-2 | Улаштування звукоізоляції засипної шлакової | 1 м3 ізоляції | 706.16 | 2096.95 | 99.04 | 1480782 | 241090 | 69938 | 5.4200 | 3827.39 |
| | | | | | 341.41 | 51.90 | | | 36650 | 0.6801 | 480.26 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|------------|---|--|----------|----------|--------|---------|---------|--------|----------|----------|
| 50 | КБ11-11-1 | Улаштування стяжок цементних з розчину товщиною 20 мм | 100 м2 стяжки | 78.7024 | 10322.36 | 95.04 | 812395 | 291917 | 7480 | 56.2500 | 4427.01 |
| | | | | | 3709.13 | 79.21 | | | 6234 | 1.0323 | 81.24 |
| 51 | КБ11-11-17 | Улаштування стяжок з плит деревноволокнистих | 100 м2 стяжки | 12.918 | 16656.52 | 11.24 | 215169 | 9283 | 145 | 11.5200 | 148.82 |
| | | | | | 718.62 | 9.37 | | | 121 | 0.1221 | 1.58 |
| 52 | КБ11-19-1 | Улаштування асфальтобетонних литих покриттів товщиною 25 мм | 100 м2 покриття | 3.812 | 35972.57 | - | 137127 | 12715 | - | 48.1100 | 183.40 |
| | | | | | 3335.47 | - | | | - | - | - |
| 53 | КБ11-29-1 | Улаштування покриттів з керамічних плиток на розчині із сухої клеючої суміші, кількість плиток в 1 м2 до 7 шт | 100 м2 покриття | 8.0864 | 13755.54 | 36.79 | 111233 | 90455 | 297 | 155.6000 | 1258.24 |
| | | | | | 11186.08 | 30.66 | | | 248 | 0.3996 | 3.23 |
| 54 | КБ11-39-1 | Улаштування покриттів з лінолеуму полівінілхлоридного на клеї 'Бустилат' | 100 м2 покриття | 70.616 | 7023.62 | 6.13 | 495980 | 276643 | 433 | 55.7900 | 3939.67 |
| | | | | | 3917.57 | 5.11 | | | 361 | 0.0666 | 4.70 |
| | | Розділ № 2.1.1.1 Оздоблювальні роботи | | | | | | | | | |
| 55 | КБ15-49-3 | Штукатурення внутрішніх поверхонь зовнішніх стін цементно-вапняним або цементним розчином по каменю і бетону [коли решта поверхонь не штукатуриться] поліпшене механізованим способом | 100 м2 поверхні штукатур ення | 203.2731 | 14099.62 | 499.73 | 2866073 | 1536523 | 101582 | 101.5300 | 20638.32 |
| | | | | | 7558.91 | 409.03 | | | 83145 | 6.3134 | 1283.34 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|------------|--|-----------------------------------|----------|----------|-------|---------|---------|------|----------|----------|
| 56 | КБ15-252-1 | Обклеювання стін по штукатурці і бетону, гіпсобетонних та гіпсолітових поверхнях, по листових матеріалах вологостійкими шпалерами на паперовій основі | 100 м2 поверхні обклеювання | 196.6431 | 18959.64 | 1.02 | 3728282 | 1453641 | 201 | 101.6400 | 19986.80 |
| | | | | | 7392.28 | 0.85 | | | 167 | 0.0111 | 2.18 |
| 57 | КБ15-182-2 | Шпаклювання шпаклівкою мінеральною стель | 100 м2 поверхні оздоблення | 91.5904 | 8992.52 | 4.09 | 823629 | 645849 | 375 | 100.4200 | 9197.51 |
| | | | | | 7051.49 | 3.41 | | | 312 | 0.0444 | 4.07 |
| 58 | КБ15-23-1 | Гладке облицювання плитками керамічними глазурованими стін, стовпів, пілястрів і укосів [без карнизних, плінтусних і кутових плиток] без установлення плиток туалетної гарнітури по цеглі і бетону | 100 м2 поверхні облицювання | 75.8096 | 62365.10 | 52.99 | 4727873 | 1775158 | 4017 | 325.7200 | 24692.70 |
| | | | | | 23416.01 | 30.54 | | | 2315 | 0.3997 | 30.30 |
| 59 | КБ15-152-1 | Поліпшене фарбування приміщень клейовими розчинами стін | 100 м2 поверхні фарбування | 6.63 | 2374.26 | 1.02 | 15741 | 6550 | 7 | 14.0700 | 93.28 |
| | | | | | 988.00 | 0.85 | | | 6 | 0.0111 | 0.07 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|------------|--|----------------------------|---------|----------|--------|-----------|----------|---------|---------|-----------|
| 60 | КБ15-152-2 | Поліпшене фарбування приміщень клейовими розчинами стель | 100 м2 поверхні фарбування | 24.4424 | 2590.91 | 1.02 | 63328 | 27204 | 25 | 15.8500 | 387.41 |
| | | | | | 1112.99 | 0.85 | | | 21 | 0.0111 | 0.27 |
| 61 | КБ11-2-4 | Улаштування ущільнених трамбівками підстиляючих щебневих шарів | 1 м3 підстиль ного шару | 94.738 | 2672.06 | 437.41 | 253146 | 29860 | 41439 | 4.7800 | 452.85 |
| | | | | | 315.19 | 94.80 | | | 8981 | 1.3014 | 123.29 |
| 62 | КБ11-19-1 | Улаштування асфальтобетонних литих покриттів товщиною 25 мм | 100 м2 покриття | 9.4738 | 35972.57 | - | 340797 | 31600 | - | 48.1100 | 455.78 |
| | | | | | 3335.47 | - | | | - | - | - |
| Разом прямих витрат по розділу № 2.1.1.1 | | | | | | | 12818869 | 5506385 | 147646 | | 75904.65 |
| | | | | | | | | | 94947 | | 1443.52 |
| Разом прямих витрат по розділу № 2.1.1 | | | | | | | 16638864 | 6719719 | 269396 | | 93874.78 |
| | | | | | | | | | 150837 | | 2185.21 |
| Разом прямих витрат по розділу № 2.1 | | | | | | | 17300573 | 6796451 | 302927 | | 95086.84 |
| | | | | | | | | | 159917 | | 2292.48 |
| Разом прямих витрат по розділу № 2 | | | | | | | 98363942 | 16922567 | 2530884 | | 235325.46 |
| | | | | | | | | | 967429 | | 12078.09 |
| Разом прямих витрат по кошторису | | | | | | | 102422467 | 17105479 | 3043845 | | 237988.42 |
| | | | | | | | | | 1110612 | | 13747.75 |
| Разом прямі витрати | | | | | | грн. | 102422467 | | | | |
| в тому числі: | | | | | | | | | | | |
| вартість матеріалів, виробів і комплектів | | | | | | грн. | 82273143 | | | | |
| вартість ЕММ | | | | | | грн. | 3043845 | | | | |
| в т.ч. заробітна плата в ЕММ | | | | | | грн. | | 1110612 | | | |
| заробітна плата робітників | | | | | | грн. | | 17105479 | | | |

Будівельні Технології: Кошторис 8.4 Онлайн

336_лк 02-001-003

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|-------|-----------|----------|----|----|-----------|
| | | всього заробітна плата | | | | грн. | | 18216091 | | | |
| | | Загальновиробничі витрати | | | | грн. | 10430059 | | | | |
| | | трудомісткість в загальновиробничих витратах | | | | люд-г | | | | | 30208.37 |
| | | заробітна плата в загальновиробничих витратах | | | | грн. | | 3485160 | | | |
| | | Всього по кошторису | | | | грн. | 112852526 | | | | |
| | | Кошторисна трудомісткість | | | | люд-г | | | | | 281944.54 |
| | | Кошторисна заробітна плата | | | | грн. | | 21701251 | | | |

Керівник
проектної
організації

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Прийняв

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

5.3 Висновки по розділу 5

Приведено обрахунки основних обсягів робіт як наземної, так і підземної частин споруди. Ця частина роботи є необхідною базою для розгляду задачі оцінки економічної складової спорудження будівлі.

Складена кошторисна документація: локальний кошторис на загально-будівельні роботи. Кошторисна вартість робіт - 112852.526 тис. грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. C.A. Brebbia, J.C. F. Telles, L.C. Wroubel. BOUNDARY ELEMENT TECHNIQUES, Theory and Applications in Engineering. New York. 1989
<http://www.mymanual.ru/ebooks/texnicheskaia>
2. Бойко І.П. Теоретичні основи проектування паливних фундаментів на пружнопластичні основи./ І.П. Бойко. Зб. КНУБА «Основи і фундаменти». – 1985. - №18, С. 11-18.
3. Бойко І.П. Напружено-деформований стан ґрунтового масиву при побудові нових фундаментів поблизу існуючих будинків / І.П. Бойко, О.В. Сахаров // Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково – технічний збірник. – К. : КНУБА, 2004. – Вип. 28. – С. 3-10.
4. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд будівельних конструкцій і основ. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.- 43с.
5. Моргун А.С. Теорія пластичної течії в механіці ґрунтів./ А.С. Моргун – Вінниця, ВНТУ. – 2013 – 108с.
6. Бойко І.П. Особливості взаємодії плитних фундаментів значних розмірів з ґрунтовою основою. КНУБА. Збірник Основи та фундаменти № 50. 2025. С.9-12.
7. Ніколаєвський В.М. Дилатансія і закони незворотного деформування ґрунтів. / ОФМГ № 5, 1979, с. 29-31.
8. Ніколаєвський В.М. Механіка пористих і тріщиноватих середовищ, «Недра», 1984, 232 с.
9. Моргун А.С., Меть І.М., Підлущкий В.Л. Залишкові деформації ґрунту та розрахункові методи їх визначення за МГЕ : монографія . Вінниця : ВНТУ, 2023. 107 с.
10. Бойко І.П. Взаємодія фундаментів із бурових палів з основою./ Гаврилук О. , Кашоїда О., Жук В. КНУБА. Збірник Основи та фундаменти № 50. 2025. С.13-20.

11. Бойко І.П., В.Л. Підлуцький. Дослідження взаємодії паль в умовах пального випробувань. Десята всеукраїнська НТК «Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування». Полтава. 10.09. 2018.
12. Ніколаєвський В. Н. Дилатансія та закони незворотнього деформування ґрунтів / В. Н. Ніколаєвський // Зб. Основи, фундаменти та механіка ґрунтів. - 1979. - № 5. - С. 29-31.
13. Моргун А.С. Деформативність ґрунту при пластичній формозміні та дилатансії : монографія – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 97 с.
14. Швецов Г.І. Основи і фундаменти / Швецов Г.И. Вища школа, 1991. 357с.
15. Шукле Л. Геологічні проблеми механіки ґрунтів / Шукле Л. Будвидат, 1976. – 485 с.
16. Оксанович Л.В. Невидимий конфлікт. Будвидат, 1981. – 191 с.
17. Abovskiy N. P. Energy principle and its application for the creation of controlled structures/ Abovskiy N. P// Spatial structures in new and renovation projects of Building and construction. Proceeding international congress ICSS – 98 / June 22 – 26, 1998. – P. 307 – 311.
18. Носенко В.С., Кашоїда О.К. Визначення НДС групи паль шляхом числового моделювання їх взаємодії з основою за даними польових досліджень. КНУБА. Зб. Основи та фундаменти, (43). 2021. С.87-100.
19. Моргун А. С., Меть І. М., Ніцевич А. В. Моделювання ефекту взаємодії системи "будівля–фундамент–основа" за числовим методом граничних елементів: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2009. – 163 с.
20. Теорія пластичної течії в механіці ґрунтів : монографія / А.С. Моргун. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 112 с.
21. Моргун А.С. Деформативність ґрунту при пластичній формозміні та дилатансії : монографія . Вінниця : ВНТУ, 2018. – 97 с.
22. Mindlin R. D., Force at a point in the interior of a semi-infinite solid, Physics. 7, 195-202 (1936).

23. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд будівельних конструкцій і основ. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.- 43с.

24. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. – К: Мінрегіонбуд України, 2009.- 97с.

25. Посилання на тези: Модуль в науці: дослідження, проблеми, перспективи

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/view/23113>

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Прикладання сучасних числових методів до визначення напружено-деформованого стану наземних та підземних частин будівлі

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 19,55%

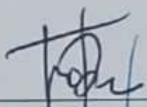
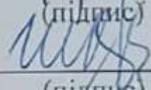
Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

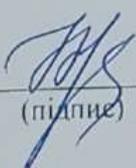
- Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення 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)

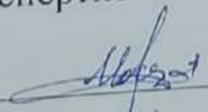
Швец В. В. доцент, зав.каф. БМГА
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

(підпис)

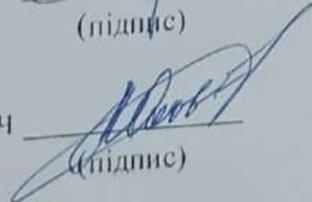
Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Блащук Н. В.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник 
(підпис)

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

Здобувач 
(підпис)

Маковей О. О.
(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК В Відомість наповнення графічної частини

| Аркуш | Найменування | Примітки |
|-------|--|----------|
| 1 | Тема та вступ МКР | Плакат 1 |
| 2 | Мета і задача дослідження МКР | Плакат 2 |
| 3 | Об'єкт, предмет, методи дослідження МКР | Плакат 3 |
| 4 | Розрахункова схема каркасно – монолітної будівлі | Плакат 4 |
| 5 | Графік навантаження – осідання будівлі на натуральному ґрунті | Плакат 5 |
| 6 | Графік навантаження – осідання будівлі при заміні ґрунту гравієм | Плакат 6 |
| 7 | Висновки дослідження МКР | Плакат 7 |
| 8 | Аналітична схема будівлі | |
| 9 | Генплан будівлі | |
| 10 | План цокольного поверху будівлі | |

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Прикладання сучасних числових методів до визначення напружено-деформованого стану наземної та підземної частин будівлі»

В роботі розглянуто фізичний процес зміни під навантаженням НДС (напружено-деформованого стану) будівлі, процес адекватно описується варіаційним численням з метою вибору екстремальних значень зусиль.

Як відомо, математичною моделлю технічних об'єктів на мікрорівні є система диференціальних рівнянь в частинних похідних, яка описує процеси суцільного середовища з заданими краєвими умовами. Точне рішення цієї системи вдається отримати лише в часткових випадках, зазвичай залучають числові методи. В роботі використано для розрахунку НДС наземної частини споруди ПК LIRA, теоретичну основу якого становить метод скінчених елементів (МСЕ). Для розрахунку підземної частини споруди використано числовий метод граничних елементів (МГЕ), в основі якого метод зважених нев'язок та теорема Беті про взаємність робіт двох станів системи.

Мета дослідження

Метою МКР є прикладання розрахунково-теоретичного апарату методики розрахунку НДС (напружено – деформованого стану) системи "будівля–фундамент–основа" за МСЕ (метод скінчених елементів), МГЕ (метод граничних елементів) і моделювання в системі «наземна та підземна частини споруд».

Задачі дослідження

- використання комплексних числових сучасних методів (МСЕ, МГЕ) для проведення числових досліджень;
- аналіз нормативних документів і наукових робіт в дослідній області, напружено-деформованого стан каркасу будівлі при сумісній роботі наземної і підземної частин висотних будівель та перерозподіл зусиль між елементами цієї системи;
- виявлення дилатансійних залежностей деформування ґрунтів при числових дослідженнях роботи фундаментів;
- дослідження осідань багатопверхових 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 частина – основа – фундамент», а також оцінки ефективності проектного рішення;
- проведення комплексних теоретичних і числових досліджень НДС системі «наземна та підземна частини споруд» та порівняння з експериментальними даними.

Об'єкт дослідження

Об'єкт дослідження – напружено-деформований стан каркасу будівлі при сумісній роботі наземної і підземної частин висотних будівель та перерозподіл зусиль між елементами цієї системи.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проектування та будівництво наземної та фундаментної частини промислових та цивільних багатоповерхових будівель.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

До методів дослідження поставленої задачі відносяться:

- аналіз нормативних і літературних джерел;
- науково-технічних досягнень;
- аналітичні дослідження з використанням методів теорії пружності та пластичності;
- методи розв'язання задач будівельних конструкцій, механіки ґрунтів та фундаментобудування з використанням теорії граничної рівноваги;
- числовий метод МСЕ та МГЕ для моделювання НДС системи;
- порівняльний аналіз результатів математичного моделювання з аналогічними даними відомих рішень та експериментом.

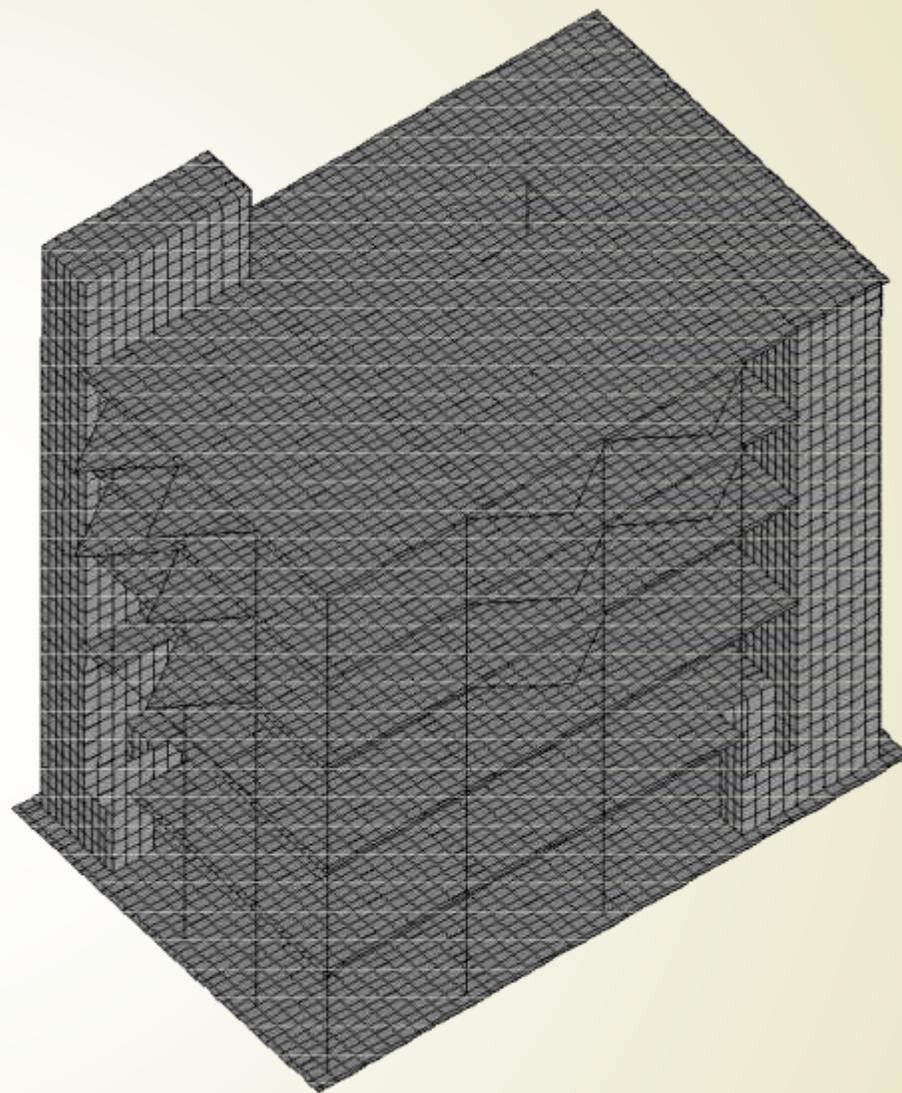
Рохрахункова схема будівлі

Математична модель дає основу для числового аналізу, за допомогою якого можна отримати дані не лише описового, але і прогнозного характеру.

В даному випадку компактність будівлі в плані (рис. 3) і відносно сприятливі інженерно-геологічні умови:

$E=15058$ кПа, $\nu=0,3$, $\rho=1,8811$ т/м³, $\varphi=0,2973$

$c=14,202$ на глибині 6,5 м – дресвяний ґрунт з пісчаним заповнювачем, $R_0=20$ МПа
будівельного майданчика дозволили розглядати варіант улаштування фундаментів на природній основі (суцільної монолітної залізобетонної плити)

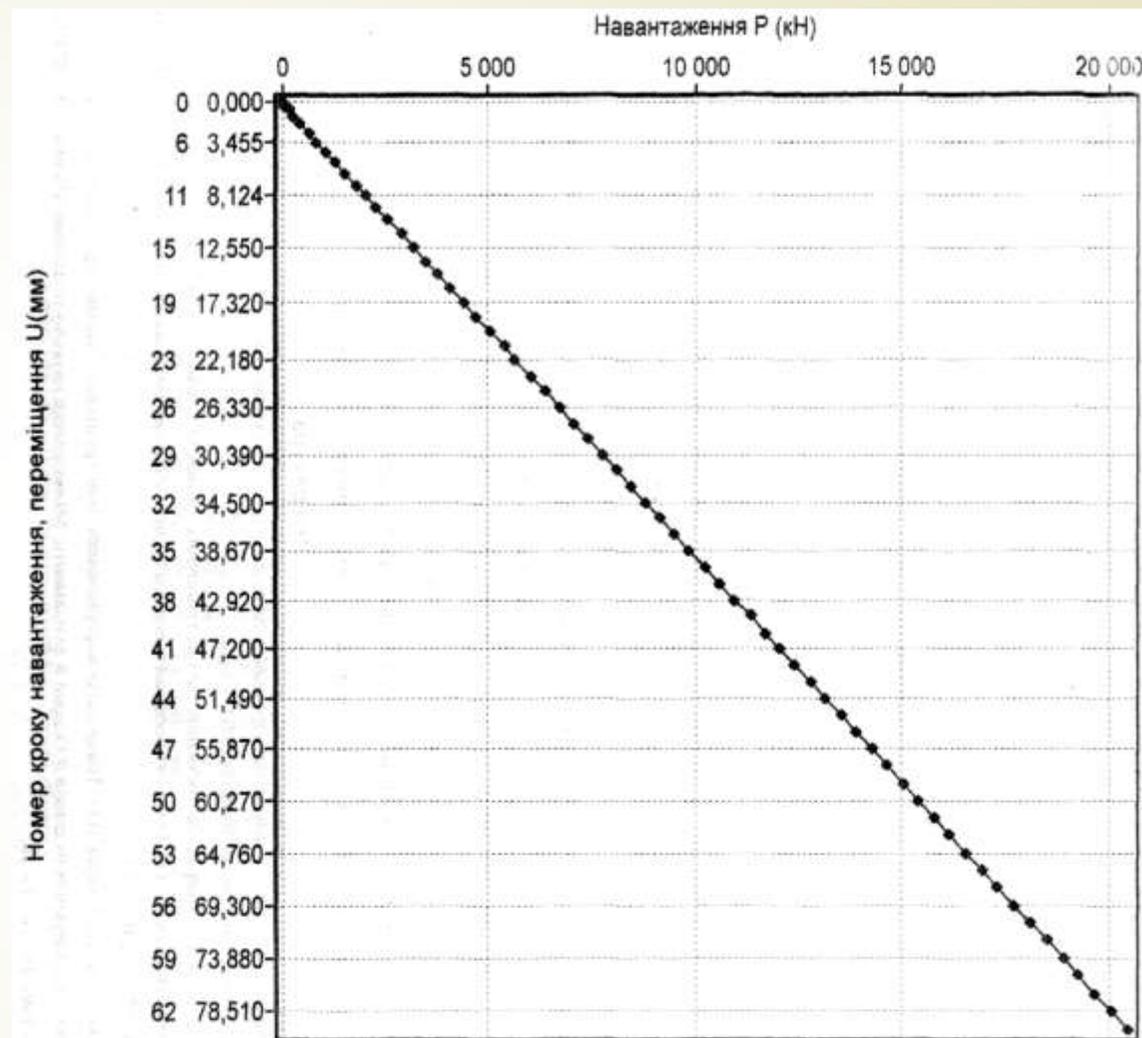


Графік навантаження–осідання будівлі на фундаментній плиті $h=30\text{см}$ **на натуральному ґрунті**. Середньозважені характеристики $E=15058\text{ кПа}$; $\nu=0,3$; $\rho=1,8911$; $\varphi=0,2973\text{ радіан}$; $C=14,802\text{ кПа}$. Вага будівлі – 24437 кПа

Визначення за МГЕ осідання будівлі на природній основі подано на рис. 5 для фундаментної плити висотою 30 см .

Попереднім розрахунком на ПК "Ліра" НДС наземної частини будівлі у випадку жорсткого зацемлення основи, визначено вагу будівлі $P=24437\text{ кН}$.

За графіком на рис. 5 $s=f(p)$ при такому навантаженні основи осідання перевищує $s=8\text{ см}$.

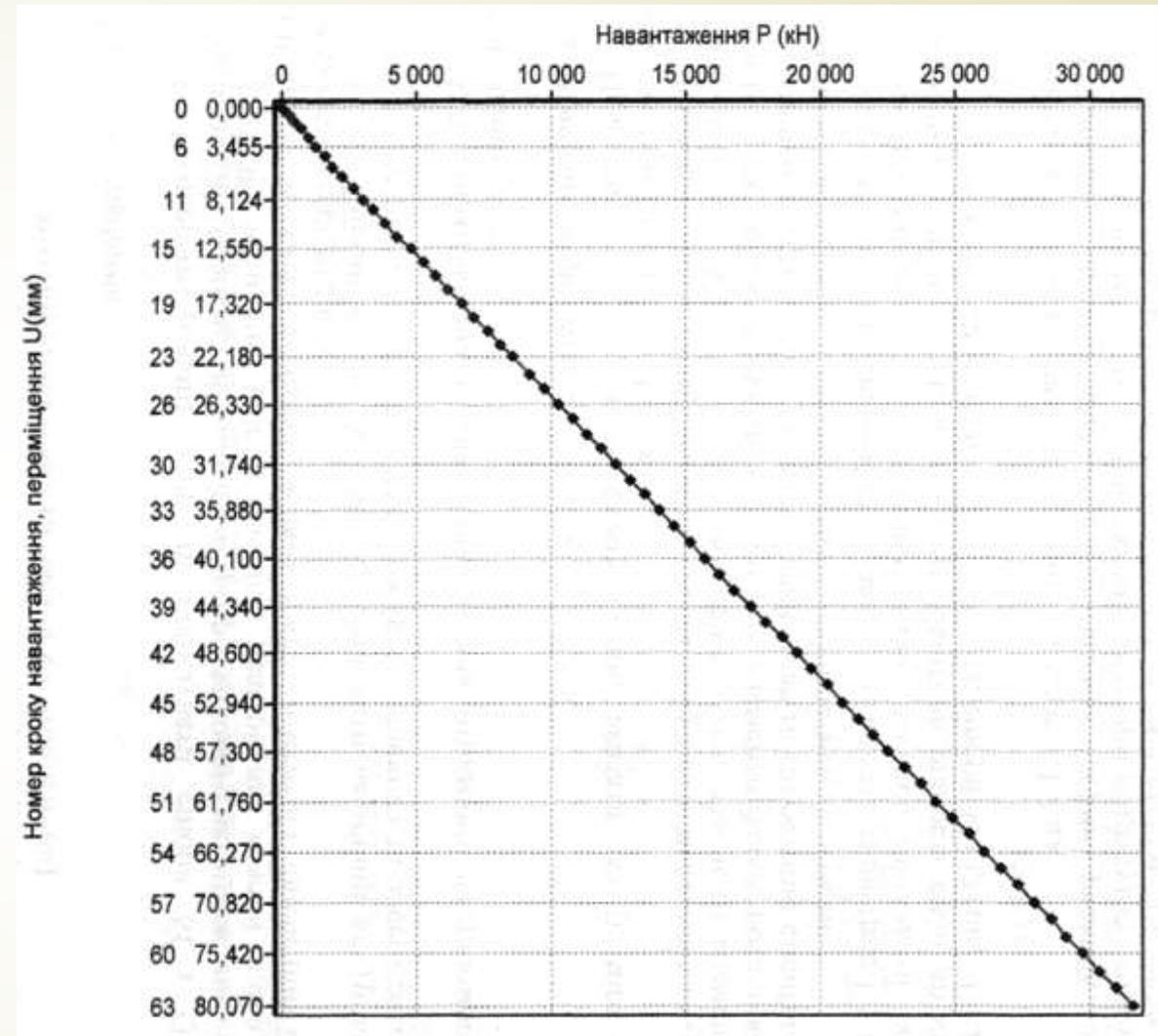


Графік «навантаження-осідання» будівлі на фундаментній плиті $h = 30$ см **при заміні 1 м. ґрунту гравієм** фракції 2-10 мм .
Середньозважені характеристики $E=15058$ кПа; $\nu=0,3$; $\rho=1,8911$. Вага будівлі – 24437 кПа

Відповідно було прийнято рішення заміни 1 м ґрунту під підвалом будинку (суглинку м'якого) на 1 м гравію з фізико-механічними показниками.

При навантаженні $P = 24437$ кН очікуване осідання за МГЕ $s=5,9$ см, що < 8 см. Таким чином, товщина $h=30$ см фундаментної плити та підсипка гравієм ґрунтової основи під фундаментною плитою забезпечує оптимальне осідання будівлі.

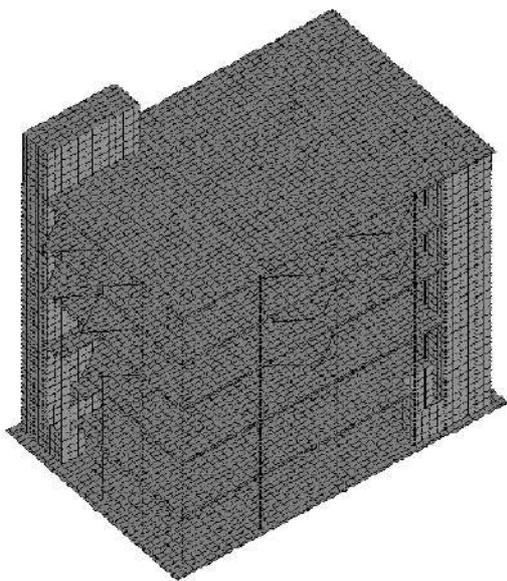
За допомогою запропонованого методу опір фундаментної плити може бути визначений з точністю, достатньою для проектування.



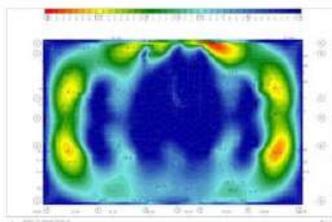
Висновки

1. За допомогою запропонованого методу опір фундаментної плити може бути визначений з точністю, достатньою для проектування.
2. Підсипка гравієм ґрунтової основи під фундаментною плитою забезпечує оптимальне осідання будівлі, що позитивно впливає на точність прогнозування напружено-деформованого стану (НДС) споруди, забезпечуючи більш рівномірний розподіл навантаження.
3. Результати дослідження допомагають оптимізувати проектування фундаментів і споруд загалом, зменшуючи витрати на будівництво без втрати надійності.
4. Використання сучасних програмних комплексів, таких як Ліра, довело ефективність чисельного моделювання у визначенні НДС системи «наземна споруда – фундамент – основа».
5. Проблему прогнозування поведінки сучасної висотної споруди (системи "будівля–фундамент–основа") можна вирішити лише засобами числового моделювання з використанням швидкодійних ЕОМ та сучасних числових методів розв'язку крайових задач – методу скінченних елементів та методу граничних елементів.
6. Зв'язок між МСЕ та МГЕ: взаємне доповнення; підсилення розрахунків; зменшення обчислень; ефективність; точність; складність.

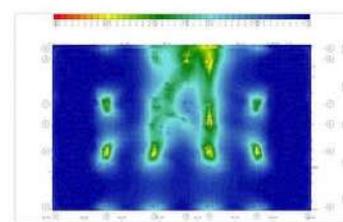
Аналіз стану навісних балок



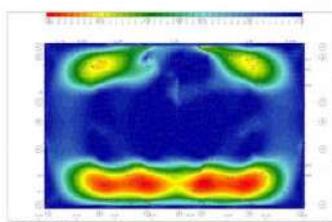
I зона верхнього армування вздовж осі X



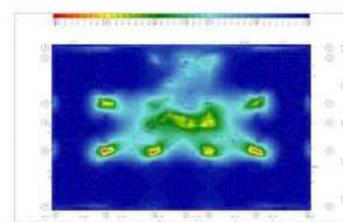
I зона нижнього армування вздовж осі X



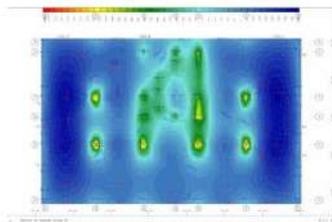
I зона верхнього армування вздовж осі Y



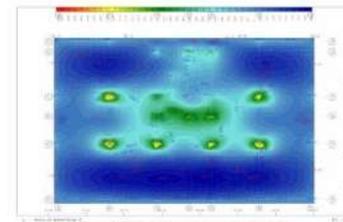
I зона нижнього армування вздовж осі Y



Максимальні згинальні моменти по осі X

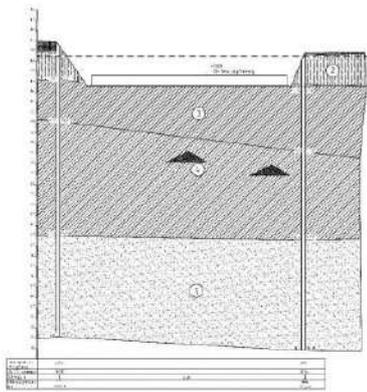


Максимальні згинальні моменти по осі Y



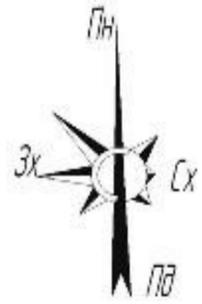
УМОВИ РОЗРАХУНУ

- Матеріал I класу (звичайний) з бетону ступеня B20 та армування класу А-III (сталева звичайна)
- Стіна з цегли, вага-об'єм, вага об'єкта I в об'єкті-результиці "проектна вага об'єкта"
- Сходи по майдану-двір, шпиль, висота стовпа, в об'єкті-результиці "проектна вага об'єкта"
- Стіна навісних балок з будівельним бетоном класу B20
- Стіна навісних балок з бетону ступеня B20 та армування класу А-III (сталева звичайна)



| ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|---|-------|--------|------|--------|--------|--------|--------|
| ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ | | | | | | | | | |
| № | Вид | № | Розр. | В.клас | Дата | Листів | Всього | Листів | Всього |
| 1 | Розр. | 1 | 1 | B20 | 2023 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | Арм. | 1 | 1 | A-III | 2023 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | Бетон | 1 | 1 | B20 | 2023 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | Арм. | 1 | 1 | A-III | 2023 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | Бетон | 1 | 1 | B20 | 2023 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | Арм. | 1 | 1 | A-III | 2023 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | Бетон | 1 | 1 | B20 | 2023 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | Арм. | 1 | 1 | A-III | 2023 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | Бетон | 1 | 1 | B20 | 2023 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | Арм. | 1 | 1 | A-III | 2023 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Генплан



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

| | |
|--|----------------------------------|
| | Будівля, що проектується |
| | Будівля, що існує |
| | існуюче асфальтобетонне покриття |
| | Проектуємі тротуарні бордюри |
| | Проектуємі дорожнє покриття |
| | Газон |
| | Дерева, кущи |

ЕКСПІКАЦІЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

| № | Найменування | Об'єкт | Площа м ² | Розміри в метрах | Повторення |
|---|--------------------------|--------|----------------------|------------------|------------|
| 1 | Будівля, що проектується | н | 268 | 15,0х16,9 | |
| 2 | Двоповерховий будинок | н | 265,5 | 22,5х11,8 | 10кратів |
| 3 | Двоповерховий будинок | н | 528 | 12х44 | 4кратів |
| 4 | Ізразні насадження | н | 574 | | 1кратів |
| 5 | Двоповерховий будинок | н | 471 | 34х11,8 | 4кратів |
| 6 | Пятиповерховий будинок | н | 24,78 | 21х11,8 | 1кратів |
| 7 | Пятиповерховий будинок | н | 337 | 15х22 | 4кратів |

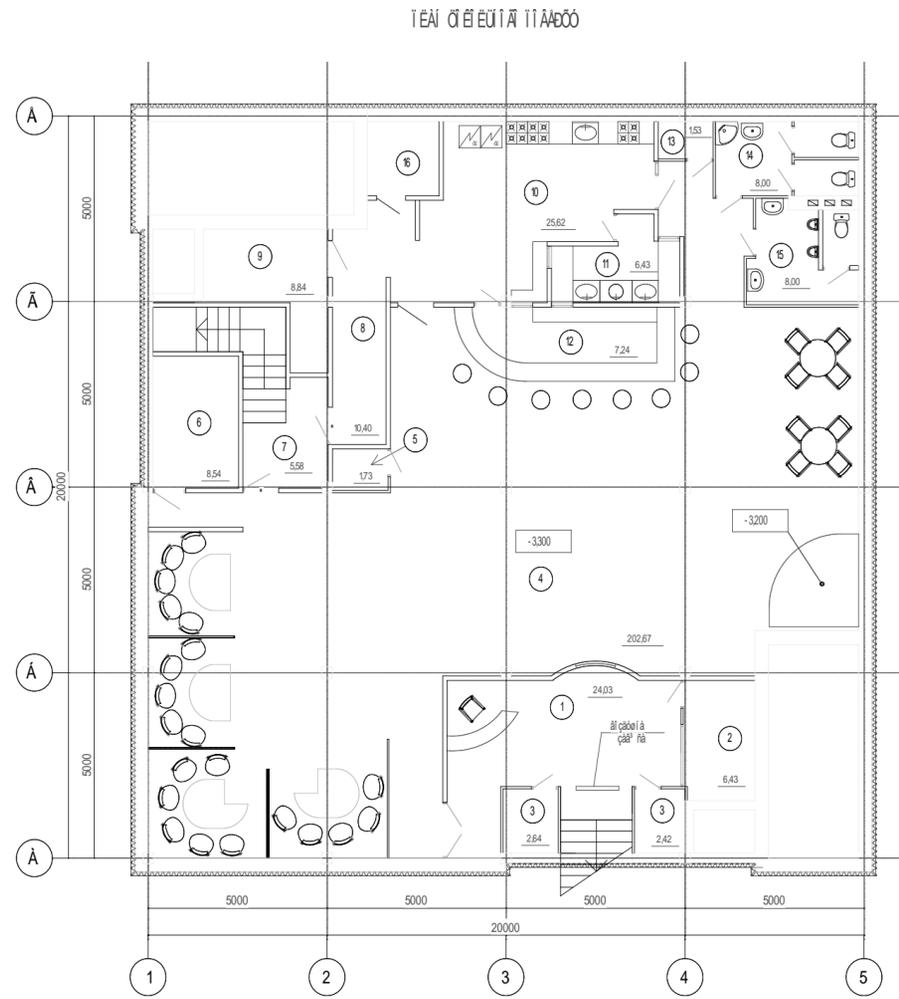
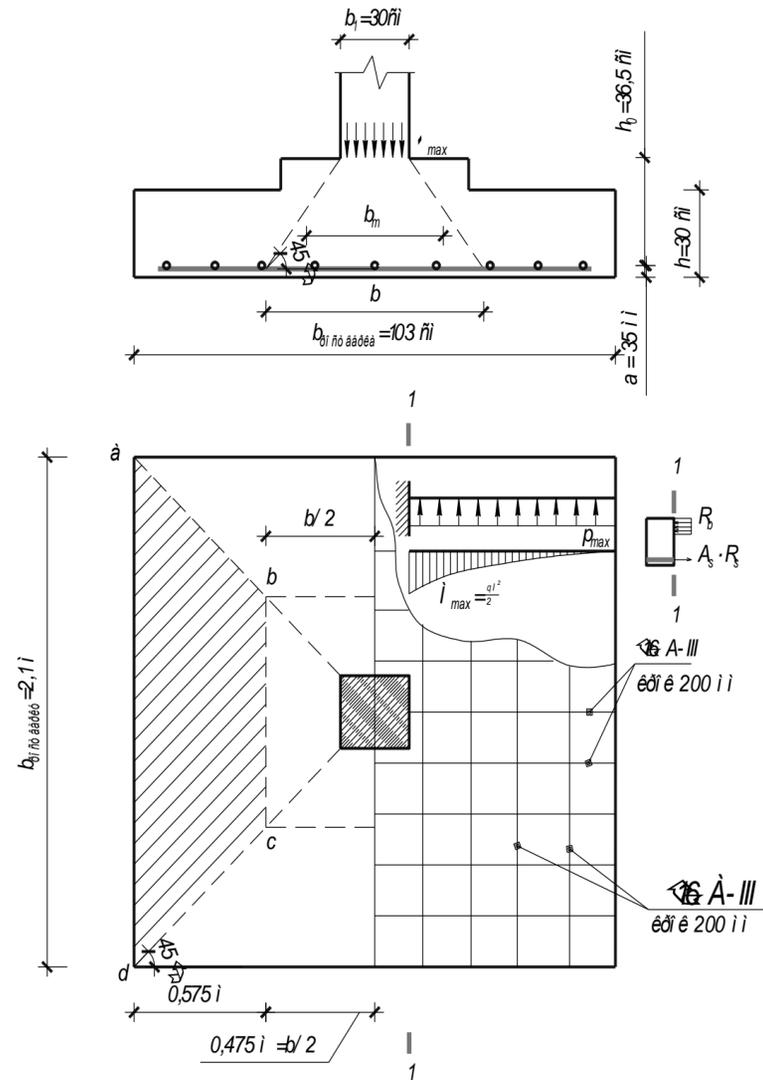
ВІДОМІСТЬ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ

| № | Назва | Кількість |
|---|--------------|-----------|
| 1 | Луга | 10 |
| 2 | Клен | 7 |
| 3 | Каштан | 8 |
| 4 | Кущи самшиту | 11 |
| 5 | Кущи жасмину | 11 |

ТЕП

| Назва | Об'єм, куб.м | Кількість | % |
|-----------------------------|----------------|-----------|------|
| Площа асфальту | м ² | 7889 | 100 |
| В т.ч. під забудовою | м ² | 268 | 3,3 |
| Асфальтове покриття | м ² | 1852 | 24 |
| Покрашене покриття бордюрів | м ² | 337 | 5 |
| Зелені насадження | м ² | 3125,7 | 39,7 |

| № | Назва | Об'єм, куб.м | Кількість | % |
|---|--------------|--------------|-----------|---|
| 1 | Луга | | | |
| 2 | Клен | | | |
| 3 | Каштан | | | |
| 4 | Кущи самшиту | | | |
| 5 | Кущи жасмину | | | |



ВІДЗИВ

офіційного опонента к. т. н., доц. Слободян Наталії Михайлівни на магістерську дисертацію Маковій Олесі Олександрівни

ПРИКЛАДАННЯ СУЧАСНИХ ЧИСЛОВИХ МЕТОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НАЗЕМНИХ ТА ПІДЗЕМНИХ ЧАСТИН БУДІВЛІ

яку представлено на здобуття кваліфікації магістра з будівництва за спеціальністю 8.092101- Промислове та цивільне будівництво.

Дисертація Маковій О.О. складається із п'яти розділів, являє собою актуальне завершене дослідження. Робота містить нові результати, які мають як наукове, так і прикладне значення. Всі основні результати отримані Маковій О.О. 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, Маковій О.О. притаманні якості молодого науковця, що може ставити і вирішувати важливі науково-технічні задачі сучасними засобами.

Загалом представлена наукова робота заслуговує на оцінку «добре», а її автор заслуговує на присвоєння кваліфікації магістра з будівництва за спеціальністю 8.092101 – "Промислове та цивільне будівництво".

Офіційний опонент

к.т.н., доц. Слободян Н.М.



ВІДЗИВ

керівника на магістерську дисертацію Маковій Олесі Олександрівни
ПРИКЛАДАННЯ СУЧАСНИХ ЧИСЛОВИХ МЕТОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ
НАПРУЖЕНО_ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НАЗЕМНИХ ТА
ПІДЗЕМНИХ ЧАСТИН БУДІВЛІ

яку представлено на здобуття кваліфікації магістра з будівництва за спеціальністю 8.092101- Промислове та цивільне будівництво.

Робота Маковій О.О. виконана на кафедрі промислового та цивільного будівництва ВНТУ в рамках виконання науково-дослідних робіт кафедри Будівництва, міського господарства та архітектури ФБЕЦІ ВНТУ за темою кафедральної Науково - дослідної роботи № 60К1/14.

В магістерській дисертації наведено аналіз нормативних і літературних джерел по дослідній темі, науково-технічних досягнень, проведено аналітичні дослідження з використання методів теорії пружності та пластичності в розрахунках будівельних конструкцій, що є актуальним питанням сьогодення при їх проектуванні.

Здійснено огляд сучасного стану питання основних положень числових методів МСЕ, МГЕ, та за допомогою цих методів проведено дослідження та моделювання НДС елементів підземної та наземної частин будівлі з урахуванням їх спільної роботи. В економічній частині розроблено календарний план.

Таким чином, дисертація Маковій О.О. являє собою завершене дослідження актуальної проблеми фундаментобудування та механіки ґрунтів, відповідає сучасному рівню знань в області прогнозування НДС системи "наземна частина – підземна частина " та заслуговує на оцінку добре.

Апробацію основних положення і результатів МКР проведено на конференції «Молодь в науці» – 2025, ВНТУ, та відображені у тезах доповідей конференції.

Науковий керівник

д.т.н., професор, кафедри БМГА

 А. С. Моргун

