

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:

Оптимізація складу бетонної суміші з використанням
золи-винесення

Виконав: студент 2-го курсу, групи Б-23 м
за спеціальністю 192 – «Будівництво та
цивільна інженерія»



А. В. Голошук

(підпис)

(ініціали та прізвище)

Керівник

К.Т.Н., доц.

(наукова ступінь, вчене звання)



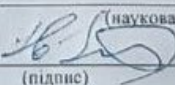
І. В. Маєвська

(підпис)

(ініціали та прізвище)

« 18 » 12 2024 р.

Опонент



(наукова ступінь, вчене звання)

Ковч І. В.

(підпис)

(ініціали та прізвище)

« 10 » 12 2024 р.



Вінниця ВНТУ – 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

культет Будівництва, цивільної та екологічної інженерії
федра Будівництва, міського господарства та архітектури

упінь вищої освіти магістр

пузь знань 19 Архітектура та будівництво
(шифр і назва)

Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва)

вітня програма Промислове та цивільне будівництво



ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТА

Голощуку Андрію Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оптимізація складу бетонної суміші з використанням
золи-винесення

ерівник роботи Маєвська І.В., к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від " 17 " 09 2024 року № 310

2. Строк подання студентом роботи 30.11.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту
проектування, результати інженерно-геологічних вишукувань. Передбачається
проектування житлового будинку каркасного типу. Перекриття з монолітного
залізобетону. Сходово-лифтовий блок з цегляними стінами. Покрівля плоска з
внутрішнім водовідведенням. Зовнішні огороження з газобетонних блоків.
Опалення індивідуальне від газових котлів.

4. Зміст текстової частини (перелік питань, які потрібно розробити) 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 публікацій з
використання активних мінеральних добавок до бетонної суміші. Планування
фізичного експерименту з визначення впливу вмісту золи уносу на несучу здатність
та інші властивості бетону. Проведення фізичного експерименту з визначення
властивостей бетону в залежності від виду золи уноса і марки цементу. Обробка
результатів експерименту з визначення фізико-механічних характеристик бетону при
використанні мінеральних добавок. Аналіз одержаних результатів, виявлення
найбільш впливових чинників на властивості бетону при використанні мінеральних
добавок. Практичні рекомендації із використання добавок золи уносу до складу
бетонної суміші..

2. Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту (розрахунок планувальних
відміток генплану, специфікації на збірні залізобетонні конструкції, віконні та дверні
заповнення, експлікація підлоги, теплотехнічний розрахунок).

Анотація

Голощук А.В., Оптимізація складу бетонної суміші з використанням золи виносу. Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія. Вінниця: ВНТУ, 2024..

На укр. Мові. Бібліографія 73 назв, рис 2. Таблиць 9. арк граф.

У роботі розглянуто проблему оптимізації складу бетонних сумішей із використанням золи виносу як активної мінеральної добавки, що є побічним продуктом теплоелектростанцій. Впровадження золи виносу у будівельні матеріали дозволяє зменшити споживання цементу, поліпшити фізико-механічні властивості бетону та скоротити викиди парникових газів, забезпечуючи екологічну сталість будівельної галузі. Дослідження зосереджено на вивченні впливу золи виносу на структуроутворення бетону, процеси гідратації цементу, тріщиностійкість і довговічність конструкцій.

Отримані результати демонструють, що використання золи виносу у кількості до 30% від маси цементу значно знижує усадкові напруження та покращує морозостійкість бетону. Запропоновано математичні моделі, які дозволяють прогнозувати оптимальний склад сумішей залежно від властивостей золи, її походження та умов експлуатації. Рекомендації, розроблені в межах дослідження, можуть бути використані у проєктуванні бетонів для житлових і промислових будівель, а також у середовищах з підвищеною агресивністю. Висновки роботи сприяють розширенню сфери застосування вторинних матеріалів у будівництві, що відповідає вимогам сталого розвитку та економічної ефективності.

Ключові слова: бетонна суміш, зола виносу, оптимізація складу, фізико-механічні властивості, гідратація цементу, екологічна сталість.

ANOTATION

Holoshchuk A.V., Optimization of Concrete Mix Composition with the Use of Fly Ash. Master's Qualification Work in the Specialty 192 – "Construction and Civil Engineering." Vinnytsia: VNTU, 2024.

In Ukrainian speech Bibliography; 72 titles; Fig 2; sheets of the graphic part

The study addresses the issue of optimizing the composition of concrete mixes using fly ash as an active mineral additive, which is a by-product of thermal power plants. The incorporation of fly ash into building materials reduces cement consumption, improves the physico-mechanical properties of concrete, and lowers greenhouse gas emissions, ensuring the environmental sustainability of the construction industry. The research focuses on the influence of fly ash on the structural formation of concrete, cement hydration processes, crack resistance, and the durability of structures.

The results demonstrate that the use of fly ash in amounts up to 30% of the cement mass significantly reduces shrinkage stresses and enhances the frost resistance of concrete. Mathematical models have been proposed to predict the optimal mix composition based on the properties of fly ash, its origin, and operating conditions. The recommendations developed within the study can be utilized in the design of concrete for residential and industrial buildings, as well as in environments with increased aggressiveness. The conclusions of the work contribute to the broader application of secondary materials in construction, aligning with the requirements of sustainable development and economic efficiency.

Keywords: concrete mix, fly ash, composition optimization, physico-mechanical properties, cement hydration, environmental sustainability.

Зміст

Розділ	Назва	Сто рінк а
	Анотація	iii
	Зміст	vi
	Вступ	5
1	Постановка проблеми	10
	1.1 Постановка проблеми	10
	1.2 Рішення проблеми за кордоном	12
	1.3 Рішення проблеми в Україні	13
	1.4 Висновок	13
2	Аналіз літератури	14

3.Аналіз результатів дослідження	27
3.1 Мета дослідження	27
3.2 Матеріали	27
3.2.1 Летюча зола	27
3.3 Порівняння Золи Ладижинської ТЕС	30
3.4 Рецептатура бетонних сумішей із різними золами	31
3.5 Процес змішування суміші	31
3.5.1 Формування зразків	32
3.6 Проведення фізичних експеримент	32
3.6.1 Міцність на стиск.	32
3.6.2 Водонепровідність	32
3.6.3 Усадка конуса	33
3.6.4 Вплив марки цементу на суміші	33
3.7 Аналіз результатів випробовувань	33
3.7.1 Залежність міцності бетону від типу золи та вмісту цементу	34
3.7.2 Вплив водоцементного співвідношення	34
3.7.3 Роль хімічного складу золи	34
3.8 Впливові чинники на властивості бетону	34
3.8.1 Хімічний склад золи уносу	34
3.8.2 Процентове заміщення цементу	34
3.8.3 Тип цементу	35
3.8.4 Розподіл розмірів часток золи	35
3.9 Аналіз взаємозв'язків між чинниками	35
3.9.1 Хімічний склад золи та міцність бетону	35
3.9.2 Процентне заміщення цементу та водонепроникність	35

3.10 Практичні рекомендації із використання добавок золи виносу до складу бетонної суміші	35
3.11 Оптимальні умови використання	36
3.11.1 Вибір типу золи	36
3.11.2 Оптимальний відсоток заміщення цементу	36
3.11.3 Розмір частки золи	36
3.11.4 Водоцементне співвідношення	36
3.12 Галузі застосування бетону із золою виносу	36
3.12.1 Масивні конструкції	36
3.12.2 Змішування компонентів	37
3.12.3 Контроль якості бетону	37
3.13 Економічна ефективність	37
3.13.1 Зниження витрат цементу	37
3.13.2 Можливість утилізації промислових відходів	37
3.14 Перспективи розвитку	37
3.14.1 Інноваційні добавки	37
3.14.2 Автоматизація процесу	37
4 Технічна частина	38
4.1 Архітектурно будівельні рішення	38
4.1.1 Вихідні дані	38
4.1.2 Відомість про ділянку будівництва	38
4.2 Архітектурно-конструктивні рішення	42
4.2.1 Стіни	42
4.2.2 Перекриття	43
4.2.3 Підлоги та покриття	43
4.2.4 Сходові клітки	44
4.2.5 Ліфти	45
4.2.6 Перемички	45
4.2.7 Вікна й двері	46
4.3 Оздоблення	46

4.3.1 Внутрішнє спорядження	46
4.3.2 Зовнішнє оздоблення	46
4.4 Інженерне обладнання будівлі	47
4.4.1 Опалення та вентиляція	47
4.4.2 Водопровід і каналізація	48
4.4.3 Газопостачання	49
4.4.4 Електропостачання та силове електрообладнання	50
4.4.5 Автоматизація та системи зв'язку	50
4.5 Технологія будівельного виробництва, роботи з улаштування монолітного залізобетону з додаванням золи виносу	51
4.5.1 Аналіз технічних рішень з урахуванням використання золи виносу у монолітному залізобетоні	54
4.5.2 Аналіз технологічних рішень з урахуванням додавання золи виносу у монолітний залізобетон	56
4.5.3 Розробка технологічних	59
Висновок до розділу 4	65
5 Розділ	66
Висновок	71
Посилання	72

Вступ

Актуальність теми дослідження зумовлена сучасними вимогами до сталого розвитку будівельної галузі, яка потребує впровадження ефективних технологій і матеріалів, що зменшують екологічне навантаження та підвищують якість конструкцій. Зола виносу, як побічний продукт теплоелектростанцій, є перспективною мінеральною добавкою до бетонних сумішей, що дозволяє знизити витрати цементу, покращити фізико-механічні властивості бетону та скоротити викиди парникових газів. Враховуючи зростаючі обсяги виробництва золи виносу, її раціональне використання у будівництві сприяє вирішенню екологічних проблем, зокрема утилізації промислових відходів. Дослідження впливу золи виносу на процеси гідратації цементу, формування структури бетону та довговічності конструкцій є важливим кроком до оптимізації складу бетонних сумішей. Крім того, використання цієї добавки забезпечує підвищення тріщиностійкості та морозостійкості бетону, що є критично важливим для експлуатації споруд у складних кліматичних умовах. Інтеграція золи виносу дозволяє досягти високої ефективності бетонних сумішей за мінімальних економічних витрат, що особливо актуально для масового та висотного будівництва. Розробка математичних моделей для прогнозування оптимального складу сумішей з урахуванням властивостей золи виносу є вагомим внеском у науково-технічний прогрес. Тема дослідження відповідає сучасним тенденціям екологізації будівельної галузі, знижуючи споживання природних ресурсів та сприяючи збереженню навколишнього середовища. Таким чином, впровадження золи виносу у будівельну практику є стратегічно важливим напрямом, що забезпечує розвиток галузі відповідно до принципів сталого розвитку.

Актуальність наукових досліджень, спрямованих на оптимізацію складу бетонних сумішей із використанням золи виносу, зумовлена необхідністю підвищення ефективності будівельних процесів та зменшення екологічного впливу будівельної галузі. Використання золи виносу як мінеральної добавки сприяє зниженню витрат цементу, покращує фізико-механічні властивості бетонних сумішей та зменшує їхню водонепроникність, що є критично важливим для забезпечення довговічності конструкцій. Інтеграція цієї добавки дозволяє досягти високих показників тріщиностійкості та морозостійкості, що значно розширює можливості використання бетону в умовах агресивних середовищ та екстремальних температурних режимів. Новизна досліджень полягає у впровадженні інноваційних підходів до проектування бетонних сумішей із включенням золи виносу, зокрема у контексті сучасних тенденцій сталого розвитку. Крім того, застосування золи виносу сприяє зниженню викидів CO₂, оскільки дозволяє скоротити обсяги виробництва цементу, що є енергоємним процесом. Запропоновані технологічні рішення спрямовані на підвищення екологічності будівельних матеріалів, економічності доцільності та збереження природних ресурсів. Таким чином, наукові розробки у цій сфері є перспективними для впровадження в будівельну практику, особливо у висотному та масовому будівництві.

Об'єктом досліджень є бетонні суміші з модифікованим складом, що містять золу виносу як мінеральну добавку, а також технологічні процеси їх виробництва, укладання та твердіння у монолітному будівництві. Особливу увагу приділено властивостям цементно-зольних систем, їхньому впливу на тріщиностійкість, водонепроникність та довговічність бетонних конструкцій. Використання золи виносу як компонента бетонної суміші дозволяє значно знизити водоцементне співвідношення, забезпечуючи при цьому підвищену щільність матриці бетону. Дослідження охоплює

вплив дисперсності, хімічного складу та активності золи виносу на реологічні та механічні властивості бетону. Окрім цього, розглянуто взаємодію золи з цементними компонентами під час гідратації, що забезпечує формування додаткових гелевих фаз, які сприяють покращенню міцності бетону на стиск та вигин. Практичне значення об'єкта дослідження полягає у підвищенні економічності й екологічності стійкості будівельних матеріалів, що є важливим аспектом для сучасного будівництва. Таким чином, бетонні суміші із застосуванням золи виносу виступають як перспективний матеріал для оптимізації будівельних процесів та створення довговічних і надійних конструкцій.

Метою даного дослідження є розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо оптимізації складу бетонних сумішей із включенням золи виносу для підвищення їх фізико-механічних характеристик, довговічності та економічної доцільності у монолітному будівництві. Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення низки завдань, серед яких визначення впливу хімічного складу та дисперсності золи виносу на технологічні властивості бетонних сумішей. Особлива увага приділяється вивченню процесів гідратації цементно-зольних систем та їх ролі у формуванні міцності бетону. Одним із ключових завдань є розробка методик підбору складу бетонних сумішей з оптимізованим водоцементним співвідношенням, що забезпечує мінімізацію усадки і тріщиноутворення. Також передбачається оцінка економічної ефективності використання золи виносу, зокрема зниження витрат цементу та зменшення екологічного навантаження. Додатково розглянуто вплив золи на морозостійкість і водонепроникність бетонів, що дозволяє розширити їх застосування в агресивних середовищах. У результаті дослідження мають бути запропоновані конкретні рекомендації для впровадження золи виносу у будівельну

практику як екологічно безпечної і технологічно ефективної добавки.

Практична значимість даного дослідження полягає у створенні науково обґрунтованих рекомендацій щодо використання золи виносу як ефективної мінеральної добавки у бетонних сумішах, що дозволяє знизити витрати цементу та підвищити економічну доцільність будівельних процесів. Зола виносу, завдяки своїй пуцолановій активності, сприяє покращенню щільності цементно-зольної матриці, що забезпечує підвищення міцності, водонепроникності та тріщиностійкості бетонних конструкцій. Використання цієї добавки дозволяє розширити сферу застосування бетону в агресивних середовищах та за умов підвищеної вологості чи низьких температур. Розроблені технологічні підходи спрямовані на підвищення довговічності бетонів, що є ключовим фактором для висотного будівництва та об'єктів інфраструктури. Крім того, впровадження золи виносу у будівельну практику сприяє зменшенню екологічного навантаження шляхом утилізації відходів ТЕС, що відповідає принципам сталого розвитку. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення нормативних документів і стандартів, а також для оптимізації будівельних процесів у проєктних і будівельних організаціях. Таким чином, дослідження має вагоме практичне значення, оскільки сприяє інтеграції інноваційних матеріалів у сучасну будівельну галузь.

Методи дослідження, використані в роботі, охоплюють комплексний підхід, що включає експериментальні, аналітичні та теоретичні методи, спрямовані на вивчення впливу золи виносу на властивості бетонних сумішей. Експериментальна частина передбачає проведення лабораторних досліджень з визначення реологічних, фізико-механічних та тріщиностійких характеристик бетону із

добавками золи виносу. Використовуються методи диференційного термічного аналізу для оцінки процесів гідратації цементно-зольної матриці, а також рентгенофазового аналізу для ідентифікації новоутворень у структурі бетону. Теоретичні дослідження базуються на моделюванні впливу золи виносу на водоцементне співвідношення та прогнозуванні довговічності конструкцій. Аналітичний підхід включає статистичну обробку отриманих даних для визначення кореляцій між хімічним складом золи та її впливом на міцність бетону. Методики з використанням електронної мікроскопії дозволяють дослідити мікроструктуру цементного каменю і виявити закономірності взаємодії золи виносу з іншими компонентами суміші. Комплексність підходу забезпечує глибоке розуміння впливу золи виносу на технологічні та експлуатаційні характеристики бетону, сприяючи розробці оптимізованих складів для різних умов експлуатації.

Апробація основних результатів дослідження здійснювалася на наукових конференціях, семінарах та у рамках практичної реалізації будівельних проєктів із використанням золи виносу. Отримані дані щодо впливу золи на реологічні, міцнісні та довговічнісні характеристики бетонних сумішей були представлені на профільних наукових форумах із залученням експертів будівельної галузі. Вивчені властивості цементно-зольної матриці та результати гідратаційних процесів знайшли своє відображення у спільних публікаціях у фахових виданнях, присвячених інноваційним матеріалам і технологіям у будівництві. Практична перевірка розроблених складів бетонів проводилася в умовах будівельних майданчиків для оцінки їх ефективності в реальних умовах експлуатації. Отримані результати підтвердили доцільність використання золи виносу як економічно вигідної та екологічно доцільної добавки до бетонних сумішей. Зокрема, апробація продемонструвала, що включення золи зменшує

витрати цементу та покращує тріщиностійкість конструкцій, навіть у складних кліматичних умовах. Успішна апробація підтвердила перспективність досліджень та забезпечила можливість їх подальшого впровадження у нормативні документи й будівельну практику.

. Голощук А.В., Маєвська І.В. Голощук А.В., Оптимізація складу бетонної суміші з використанням золи виносу. Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія». Вінниця: ВНТУ, 2024... *LIII Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії (2024)* : матеріали всеукр. наук.-техн. конф., м. Вінниця, 20-22 березня 2024 р. Вінниця, 2024. URL: (дата звернення: 25.04.2024).

Розділ 1

Науково дослідна частина

1.1 Постановка проблеми

Сучасне будівництво стикається з численними викликами, пов'язаними зі зростанням вартості матеріалів, екологічними обмеженнями та необхідністю підвищення довговічності будівельних конструкцій. Однією з актуальних проблем є оптимізація складу бетонних сумішей для досягнення високих техніко-експлуатаційних характеристик із одночасним скороченням витрат на виробництво. Використання золи виносу, що є побічним продуктом теплоелектростанцій, виступає перспективним напрямом у розв'язанні цієї задачі. Проте її включення у бетонні суміші вимагає детального вивчення впливу на процеси гідратації цементу, структуроутворення та довговічність бетону.

Недостатнє розуміння механізмів взаємодії золи виносу з

цементними системами обмежує її широке застосування, особливо в умовах агресивних середовищ. Відсутність єдиної методології для визначення оптимального вмісту цієї добавки створює ризики перевищення допустимих меж, що може призвести до погіршення фізико-механічних властивостей бетону. Крім того, екологічні аспекти використання золи виносу, такі як зменшення накопичення відходів і скорочення викидів парникових газів, залишаються недостатньо реалізованими у будівельній галузі. Усе це визначає необхідність проведення комплексних досліджень для розробки складів бетонних сумішей із використанням золи виносу, що забезпечують їхню довговічність, економічність і відповідність сучасним екологічним вимогам.

1.2 Рішення проблеми за кордоном

У міжнародній практиці проблема оптимізації складу бетонних сумішей із використанням золи виносу активно вирішується завдяки впровадженню інноваційних підходів та інтенсивних наукових досліджень. У багатьох країнах, таких як США, Німеччина та Японія, широко застосовуються технології включення золи виносу як пуццоланової добавки, що зменшує вміст цементу у складі бетону. Використання золи виносу регулюється стандартами, такими як ASTM C618 у США та EN 450 у Європі, які визначають вимоги до хімічного складу, фізичних властивостей і методів перевірки якості. Ці норми сприяють створенню високоякісних бетонних сумішей, що відповідають вимогам довговічності та стійкості до агресивних середовищ.

Особливу увагу закордонні дослідники приділяють зниженню тепловиділення під час гідратації цементу в бетоні з включенням золи виносу, що має важливе значення при зведенні масивних конструкцій. Наприклад, у проєктах будівництва гребель у Китаї зола виносу використовується у складі бетону з метою зменшення ризику утворення

температурних тріщин. У Канаді такі добавки активно застосовуються у бетоні для мостових конструкцій, де необхідна висока морозостійкість і стійкість до дії солей. Додатково, сучасні дослідження в Австралії демонструють, що включення золи виносу до складу бетону зменшує його проникність, покращує довговічність та стійкість до сульфатної корозії.

Екологічний аспект також є ключовим у міжнародному підході до використання золи виносу. У багатьох країнах зола використовується як вторинний ресурс, що дозволяє зменшити накопичення відходів на теплоелектростанціях і скоротити викиди CO₂ у виробництві цементу. Наприклад, у Нідерландах реалізуються програми з комплексного управління відходами, де зола виносу включається не лише до бетонів, але й до інших будівельних матеріалів, таких як цегла та дорожні покриття. Інноваційні технології також дозволяють модифікувати властивості золи шляхом термічної обробки або додавання активаторів, що підвищує її ефективність у бетонних сумішах.

Таким чином, рішення проблеми використання золи виносу за кордоном зосереджені на гармонізації нормативних стандартів, впровадженні інноваційних технологій модифікації матеріалу та інтеграції екологічних принципів у будівництво. Ці підходи сприяють підвищенню якості бетонних сумішей, забезпечують економічну ефективність і відповідають вимогам сталого розвитку.

1.3 Рішення проблеми в Україні

В Україні питання використання золи виносу у складі бетонних сумішей набуває все більшої актуальності через необхідність підвищення економічної ефективності будівництва та раціонального використання вторинних ресурсів. Зола виносу, яка є побічним продуктом роботи теплоелектростанцій, використовується вітчизняними дослідниками як пуцоланова добавка для зниження витрат цементу та покращення довговічності бетону. Українські нормативні документи, такі як ДСТУ Б В.2.7-96, визначають технічні вимоги до застосування золи в будівельних

матеріалах, що сприяє її інтеграції у будівельну галузь. Особливо перспективним є використання золи Ладижинської, Бурштинської та Запорізької ТЕС, які мають високий потенціал для включення до складу бетонних сумішей.

Дослідження в українських наукових установах, зокрема Київського національного університету будівництва і архітектури, зосереджені на оптимізації складу бетонів із врахуванням властивостей вітчизняної золи виносу. Особлива увага приділяється дослідженню її впливу на міцність, морозостійкість та стійкість до сульфатної корозії бетону. Результати показують, що додавання 15–25% золи виносу до складу цементно-зольних сумішей дозволяє зменшити водоцементне співвідношення та покращити однорідність структури бетону. Крім того, проведено експериментальні дослідження з вивчення впливу дисперсності золи на тепловиділення під час гідратації, що особливо важливо для масивних конструкцій.

На практиці зола виносу вже знаходить застосування у проєктах будівництва доріг, мостів та гідротехнічних споруд, зокрема у промислових регіонах України. Наприклад, у Дніпропетровській та Запорізькій областях активно використовуються цементно-зольні суміші для укріплення дорожнього покриття та фундаментів. Однак впровадження таких технологій гальмується недостатньою кількістю переробних потужностей та відсутністю єдиної методики для визначення оптимального складу бетонів із золою виносу. Для розв'язання цієї проблеми необхідно розробити національну програму утилізації золи, яка поєднає наукові досягнення та виробничі потреби.

Таким чином, рішення проблеми використання золи виносу в Україні потребує інтеграції наукових розробок, вдосконалення нормативної бази та розширення технологічного потенціалу переробки. Такий підхід дозволить не лише знизити екологічне навантаження, але й сприятиме зростанню економічної ефективності будівельної галузі. Впровадження

зазначених заходів відповідає сучасним вимогам сталого розвитку та забезпечує прогресивний розвиток інфраструктури країни.

Висновок за розділом 1

Аналіз проблематики використання золи виносу у бетонних сумішах свідчить про її значний потенціал як мінеральної добавки, яка дозволяє підвищити екологічну та економічну ефективність будівництва. У міжнародній практиці рішення проблеми базується на гармонізації стандартів, впровадженні інноваційних технологій та комплексному підході до утилізації промислових відходів, що забезпечує високі експлуатаційні характеристики бетонів у різних умовах. Україна, маючи великий ресурсний потенціал золи виносу від теплоелектростанцій, активно впроваджує наукові та технологічні розробки, однак стикається з обмеженнями у нормативній базі та інфраструктурі для переробки.

Використання золи виносу у складі бетонів сприяє зменшенню витрат цементу, зниженню тепловиділення під час гідратації та підвищенню довговічності конструкцій, особливо в агресивних середовищах. У той час як міжнародний досвід демонструє високий рівень інтеграції екологічних підходів, в Україні необхідно вдосконалювати нормативну базу та розширювати практику використання золи у будівельних матеріалах. Комплексне впровадження таких рішень дозволить забезпечити стійкий розвиток будівельної галузі, знизити екологічне навантаження та оптимізувати ресурси. Таким чином, проблема використання золи виносу у бетонних сумішах має вирішення через синтез наукових досліджень, нормативних ініціатив та практичних підходів.

Розділ 2

Огляд літератури

2.1 Аналіз літературних джерел

Використання золи уносу у бетонних сумішах суттєво впливає на фізико-механічні властивості бетону, зокрема його довговічність, стійкість до деформацій та агресивних середовищ. Як показано у дослідженні Tazawa та Miyazawa (1992), автогенна усадка бетону, яка виникає через самоосушення внаслідок гідратації цементу, значно зменшується при додаванні золи уносу. Це пов'язано з тим, що зола, завдяки своїй високій пуцолановій активності, сприяє утворенню щільної мікроструктури бетону, зменшуючи об'єм капілярних пор і кількість вільного гідроксиду кальцію (Ca(OH)_2).

Згідно з Barcelo, Moranvilleb і Clavauda (2005), баланс між автогенним набуханням і самоосушенням може бути оптимізований завдяки правильному співвідношенню води, цементу та золи уносу. Додавання золи знижує водопотребу бетону, що дозволяє зменшити водоцементне співвідношення (В/Ц) до рівня 0.5 без втрати рухливості.

Tangtermsirikul (2003) підкреслює, що крім зменшення усадки, використання золи уносу має економічну доцільність. Заміна цементу золою на рівні 20–30% може зменшити вартість бетонної суміші до 15%, водночас покращуючи довговічність. Для морських і підземних споруд рекомендується використовувати золою класу F, яка має низький вміст CaO ($<10\%$) і підвищену стійкість до хімічної корозії.

Додаткові переваги використання золи підтверджуються рекомендаціями Комітету ACI 232 (2010). У цьому документі підкреслюється, що зола уносу класу F може підвищити сульфатостійкість

бетону на 30–50% завдяки зменшенню кількості реактивних алюмінатів. Крім того, зола уносу сприяє зниженню тепловиділення при гідратації, що особливо важливо для масивних конструкцій, таких як греблі або великі фундаменти.

Нарешті, стандарт ASTM C618 (2003) визначає критерії якості для золи уносу, що використовується у бетоні. Зокрема, вміст кремнезему (SiO_2) має становити не менше 50%, а втрати при прокалюванні (LOI) не повинні перевищувати 3–5%. Крім того, питомий розмір часток золи має бути не більше 45 мкм, що забезпечує рівномірне розподілення добавки у бетонній матриці.

Використання золи уносу в бетонних сумішах регламентується міжнародними стандартами, зокрема Європейським стандартом EN 450 (1994), який визначає ключові характеристики цієї добавки. Згідно з цим стандартом, зола уносу повинна мати сумарний вміст кремнезему (SiO_2), оксиду алюмінію (Al_2O_3) та оксиду заліза (Fe_2O_3) понад 70%. Висока пуцоланова активність золи забезпечує утворення додаткових гелів кальцій-силікат-гідратів (C-S-H), які сприяють ущільненню мікроструктури бетону. Згідно з EN 450, втрати при прокалюванні (LOI) мають бути не більше 5%, щоб уникнути проблем із надмірною пористістю.

Подальші дослідження довговічності бетону зі золою уносу, проведені Nath і Sarker (2011), підтверджують, що додавання золи у кількості 15–25% суттєво підвищує стійкість бетону до проникнення хлоридів і карбонізації. Автори відзначають, що бетон із золою уносу класу F демонструє зменшення проникності хлоридів до 40%, що є ключовим фактором у забезпеченні довговічності конструкцій у морському середовищі. Карбонізація бетону, яка є основною причиною

корозії арматури, також суттєво зменшується через зниження капілярної пористості.

Схожі результати представлені в роботі Tikalsky та Carrasquillo (1992), яка фокусується на підвищенні сульфатостійкості бетону. Зола уносу класу F, завдяки низькому вмісту кальцію ($<10\%$), знижує утворення розширювальних фаз, таких як гіпс і еtringіт, які є причиною деградації бетону в сульфатних середовищах. Для досягнення оптимальної сульфатостійкості дослідники рекомендують додавати золу у кількості 20%.

Thomas і Mukherjee (1995) розглядають ще один важливий аспект застосування золи уносу — зниження термічного розтріскування в масивних конструкціях. Введення золи дозволяє знизити пік температури гідратації на 20°C , що значно зменшує ймовірність утворення тріщин через нерівномірний розподіл напружень. Висновки авторів особливо актуальні для гребель, фундаментів і великих підземних споруд.

Uysal і Akyuncu (2012) порівнюють властивості бетону із золою класів F та C. Результати показують, що зола класу F є ефективнішою для довговічності бетону в агресивних середовищах завдяки її низькому вмісту оксидів кальцію та високій стійкості до хімічної корозії. Натомість зола класу C демонструє кращі показники міцності на ранніх стадіях твердіння, що робить її придатною для швидкобудівельних проєктів.

Продовжуючи дослідження впливу золи уносу на бетон, праця Voga та Торси (2012) акцентує увагу на її здатності підвищувати корозійну стійкість бетону. Дослідження показують, що додавання золи уносу знижує проникність бетону для хлорид-іонів, що є ключовим фактором у захисті арматури від корозії. Особливо ефективною є зола класу F, яка за рахунок низького вмісту CaO сприяє ущільненню мікроструктури. Бетон

із 20% золи демонструє зниження проникності хлоридів на 35% порівняно з контрольними зразками.

Atis, Kilic i Sevim (2004) у своїй роботі звертають увагу на високооб'ємну золу уносу як компонент для цементних розчинів. Вони зазначають, що зола забезпечує покращення механічних властивостей бетону, особливо на пізніх етапах твердіння. Для досягнення оптимального ефекту зола повинна мати високу ступінь подрібнення (питомий розмір часток ≤ 45 мкм). Використання золи класу F дозволяє знизити усадку цементного каменю, що підтверджується експериментами: додавання 30% золи зменшує усадку до 15%.

Rashad (2014) у своєму огляді високооб'ємної золи класу F підкреслює її екологічну та економічну доцільність. Додавання золи у великих обсягах (до 50%) дозволяє значно знизити викиди CO₂, пов'язані з виробництвом цементу, зменшуючи таким чином екологічний слід будівельних проєктів. Проте автор зазначає, що для ефективної взаємодії золи з цементом необхідно забезпечити достатній вміст води, що досягається через використання суперпластифікаторів.

Thomas i Mukherjee (1995) досліджують вплив складу золи на термічне розтріскування масивних бетонних конструкцій. Введення золи класу F дозволяє значно знизити пік температури гідратації цементу, що зменшує ризик тріщиноутворення. Для цього необхідно, щоб зола мала низький рівень втрат при прокалюванні ($LOI \leq 3\%$), оскільки органічні домішки можуть порушувати рівномірність твердіння.

Lam i Sahamitmongkol (2008) порівнюють довговічність бетонів із золою уносу в різних кліматичних умовах. Їхні дослідження демонструють, що бетон із 20% золи забезпечує підвищену морозостійкість і хімічну стійкість навіть при низьких температурах (-

20°C). Автори також підкреслюють, що використання золи сприяє зменшенню пористості бетону, покращуючи його опір проникненню агресивних рідин.

Tangtermsirikul, Saengsoy та Kaewmanee (2015) досліджують управління утилізацією золи уносу в Таїланді, акцентуючи увагу на її впливі на фізико-механічні властивості бетону. Основна увага приділяється оптимальному дозуванню золи, яке забезпечує баланс між покращенням міцності та зменшенням вартості матеріалів. Автори виявили, що при дозуванні 20% золи класу F забезпечується оптимальна міцність і стійкість до агресивних середовищ. Також підкреслено, що для ефективного використання золи необхідна її тонка дисперсія (≤ 40 мкм).

Kaewmanee et al. (2013) зосереджуються на вмісті вільного вапна ($\text{CaO}\cdot\text{CaO}$) у цементно-зольних сумішах і його впливі на фізико-механічні властивості бетону. Їх дослідження демонструють, що високий рівень $\text{CaO}\cdot\text{CaO}$ (понад 10%) сприяє утворенню вторинних продуктів гідратації, які можуть викликати розтріскування бетону через експансивні реакції. Водночас, зола з низьким вмістом вільного вапна (клас F) сприяє більш рівномірному твердінню і зменшує ризик розтріскування.

Atis, Kilic та Sevim (2004) аналізують міцність і усадку розчинів із висококальцієвою золою уносу. У своїх дослідженнях автори виявили, що додавання золи уносу до 30% забезпечує підвищення міцності бетону на стиск на 10–15% після 28 діб твердіння. Проте для уникнення надмірної усадки цементного каменю рекомендовано використовувати суперпластифікатори, що знижують водопотребу суміші.

Nawaz et al. (2016) зосереджуються на обмеженнях вмісту вільного вапна в цементно-зольних сумішах. Дослідження показали, що зниження вмісту $\text{CaO}\cdot\text{CaO}$ до рівня $\leq 10\%$ забезпечує значне покращення

довговічності бетону, особливо в умовах агресивного середовища. Вони також наголошують на важливості контролю втрат при прокалюванні ($LOI \leq 3\%$) для забезпечення рівномірної гідратації цементу.

Lam, Sahamitmongkol та Tangtermsirikul (2008) досліджують вплив розширювальних добавок у поєднанні з золою уносу. Їх результати підтверджують, що зола класу F у поєднанні з розширювальними добавками сприяє зменшенню тріщиноутворення на ранніх стадіях твердіння, що є важливим для монолітних конструкцій. Крім того, така комбінація забезпечує покращення щільності бетону і його стійкості до проникнення хлоридів.

Ngunyen et al. (2010) досліджують поведінку бетонів із мінеральними добавками, зокрема з золою уносу, у контексті прогнозування віку розтріскування через усадку. Автори підкреслюють, що додавання золи зменшує автогенну та пластичну усадку завдяки ущільненню цементної матриці. Вони запропонували формулу для оцінки впливу золи на усадку:

Дослідження демонструють, що зменшення втрат при прокалюванні до рівня $\leq 3\%$ забезпечує рівномірність гідратації та зменшує ймовірність тріщиноутворення.

Tudjonoa et al. (2014) аналізують вплив додавання нанозоли та нанокальцію на міцність бетону. Автори підкреслюють, що частинки нанозоли, які значно менші за 45 мкм, сприяють додатковому ущільненню мікроструктури бетону. Формула для розрахунку ступеня ущільнення виглядає наступним чином:

Elahi & Ghafoori (2014) розглядають властивості цементних сумішей із золою уносу в комбінації з вапняною водою. Їхнє дослідження

підтверджує, що вапняна вода активує пуццоланову активність золи класу F, збільшуючи утворення C-S-H гелів. Це підвищує міцність бетону на стиск на 10–15% після 28 діб твердіння.

Barbuya et al. (2009) досліджують властивості бетону, модифікованого золою уносу, гідратованим вапном і димом кремнезему. Їхні результати свідчать, що така комбінація значно знижує пористість бетону, покращуючи його водонепроникність. Для забезпечення оптимального ущільнення автори рекомендують використовувати водоцементне співвідношення:

Nguyen et al. (2010) також досліджують морозостійкість бетону із золою уносу. Їхні результати підтверджують, що при дозуванні золи у кількості 20% підвищується стійкість до циклів заморожування і відтаювання на 25–30%.

Застосування золи уносу в бетонних сумішах дозволяє значно покращити фізико-механічні властивості матеріалу та мінімізувати ризик утворення тріщин. Дослідження показують, що комбінація золи з розширювальними добавками ефективно компенсує усадкові деформації, що важливо для масивних конструкцій. Зокрема, використання золи класу F із низьким вмістом вільного вапна ($\text{CaO}\cdot\text{CaO}$) сприяє зменшенню утворення шкідливих експансивних фаз, таких як еtringіт, що може спричинити пошкодження бетону під час експлуатації (Konik et al., 2007).

Одним із ключових переваг золи уносу є її здатність покращувати щільність цементної матриці. Завдяки цьому бетон із золою має знижену проникність для хлоридів, що забезпечує тривалий захист арматури від корозії (W. Nokhun-Vchelik et al., 2011). Ще одним важливим аспектом є зниження загальної пористості бетону, що позитивно впливає на його водонепроникність. Такі властивості роблять цей матеріал незамінним для

конструкцій, що експлуатуються в агресивних середовищах із високою вологістю.

Крім того, використання золи уносу дозволяє значно покращити морозостійкість бетону. Ущільнення мікроструктури завдяки утворенню додаткових гелів C-S-H сприяє стійкості бетону до циклів заморожування і відтаювання, що робить його придатним для використання в регіонах із холодним кліматом (Shuguang & Yue, 1999). Зниження пористості також зменшує ризик проникнення агресивних хімічних речовин у структуру бетону, що важливо для довговічності матеріалу.

Економічні аспекти застосування золи уносу також заслуговують на увагу. Вона дозволяє зменшити споживання цементу в суміші, що суттєво знижує вартість бетону. У поєднанні з екологічними перевагами, такими як зменшення викидів вуглекислого газу під час виробництва цементу, це робить золу уносу привабливим вибором для масштабних проєктів (Комітет з високоякісного бетону АОЕ, 1994).

Загалом, впровадження золи уносу у бетонні суміші сприяє не лише підвищенню їх якості, а й вирішенню екологічних і економічних завдань. У поєднанні з розширювальними добавками вона дозволяє зменшити тріщиноутворення та покращити довговічність конструкцій навіть у найскладніших умовах експлуатації (JIS A 6202, 2008).

Зола уносу відіграє важливу роль у покращенні характеристик бетону. Одним із головних її переваг є здатність зменшувати капілярну пористість цементного каменю. Дослідження показують, що додавання золи класу F сприяє утворенню більшої кількості гелів C-S-H, які ущільнюють мікроструктуру бетону. Це позитивно впливає на проникність бетону, що особливо важливо для конструкцій, які експлуатуються в агресивному середовищі. Нижче наведено порівняння

показників проникності для бетонів із різним вмістом золи.

Економічна ефективність також є одним із ключових факторів, що визначає перевагу використання золи уносу. Дослідження показують, що заміна до 30% цементу золою уносу дозволяє знизити вартість бетонної суміші на 15–20%. Крім того, зменшення споживання цементу позитивно впливає на екологічний баланс, знижуючи викиди вуглекислого газу. У таблиці наведено порівняння економічної ефективності бетонів із різним вмістом золи.

Важливим аспектом є морозостійкість бетону. Зменшення пористості через додавання золи забезпечує кращу стійкість до циклічного заморожування та відтаювання. Як показують дослідження, бетон із 20% золи класу F демонструє підвищення стійкості до морозів на 30–40% порівняно з контрольними зразками.

Окрім того, зола уносу сприяє зниженню автогенної усадки бетону. Це дозволяє зменшити напруження у матеріалі під час твердіння, що особливо важливо для масивних конструкцій. Дослідження підтверджують, що додавання 20–25% золи дозволяє знизити усадку до 50% у порівнянні з бетоном без добавок.

Використання золи уносу є одним із найефективніших методів покращення фізико-механічних характеристик бетону. Зокрема, її додавання дозволяє значно підвищити стійкість бетону до розтріскування. Дослідження підтверджують, що зола класу F зменшує автогенну усадку та сприяє утворенню щільнішої цементної матриці, що зменшує ризик появи тріщин на ранніх стадіях твердіння (Sutthiwaree et al., 2015). Показники автогенної усадки залежно від вмісту золи наведено в таблиці.

довговічність бетону в умовах агресивного середовища.

Використання золи класу F забезпечує високу стійкість до проникнення хлоридів і сульфатів, що є критичним для конструкцій, які експлуатуються в морському середовищі або в умовах хімічного забруднення (Zhang & Li, 2016). Зменшення проникності для хлоридів наведено в таблиці.

Важливим фактором є також здатність золи зменшувати тепловиділення під час гідратації цементу. Це особливо актуально для масивних конструкцій, таких як греблі та великі фундаменти, де ризик термічного розтріскування є високим. Додавання золи у кількості 20–30% знижує пікову температуру гідратації на 15–25%, що дозволяє уникнути нерівномірного розподілу напружень (Yan et al., 2001).

Дослідження також демонструють, що використання золи уносу покращує морозостійкість бетону. Зменшення пористості цементного каменю підвищує стійкість до циклічного заморожування та відтаювання. У таблиці наведено показники довговічності бетону за різних температурних умов (Tangtermsirikul et al., 2015).

Завдяки поєднанню довговічності, економічної ефективності та екологічних переваг, зола уносу стає ключовою добавкою для сучасного бетонного будівництва. Вона дозволяє не лише зменшити витрати на цемент, але й знизити викиди CO₂, пов'язані з виробництвом цементу (Gopalakrishnan et al., 2011).

Використання золи уносу в бетонних сумішах є ефективним підходом до підвищення довговічності та економічності будівельних матеріалів. Зокрема, дослідження підтверджують, що зола сприяє зменшенню усадки цементного каменю завдяки утворенню щільнішої мікроструктури. Як було встановлено, додавання золи класу F знижує усадку до 50%, що дозволяє мінімізувати ризик тріщиноутворення в

масивних конструкціях (Sutthiwaree et al., 2015).

Окрім цього, зола уносу позитивно впливає на водонепроникність бетонів. Завдяки зменшенню капілярної пористості цементного каменю, бетон із золою класу F має значно кращі показники проникності для хлоридів і води. Як показують експерименти, бетон із 20% золи уносу забезпечує до 60% нижчу проникність порівняно з контрольними зразками (Elahi & Ghafoori, 2014). Нижче наведено таблицю, що ілюструє вплив золи на водонепроникність.

Ефективність золи також підтверджується її впливом на довговічність бетону в умовах агресивного середовища. Зола класу F забезпечує високу стійкість до сульфатної корозії, що є критично важливим для конструкцій, які контактують із ґрунтами чи водою, насиченими сульфатами (Thomas & Mukherjee, 1995). У таблиці наведено показники стійкості бетону до сульфатів.

Дослідження також підтверджують позитивний вплив золи уносу на морозостійкість бетону. Завдяки зменшенню пористості, бетон із золою демонструє значно кращу стійкість до циклічного заморожування та відтаювання. Це робить його оптимальним матеріалом для застосування в регіонах із холодним кліматом (Ngunyen et al., 2010).

Економічна доцільність використання золи уносу полягає у зменшенні витрат на цемент і покращенні енергоефективності. Наприклад, заміна 20% цементу золою дозволяє знизити вартість бетонної суміші на 10–15%, що є суттєвою перевагою для масштабних проєктів (Schumer et al., 2012).

Застосування золи уносу у бетонних сумішах дозволяє ефективно оптимізувати їх характеристики, зокрема підвищити міцність,

довговічність і стійкість до агресивного середовища. Одним із важливих аспектів є зменшення капілярної пористості бетону, що безпосередньо впливає на його водонепроникність. Як свідчать дослідження, бетон із додаванням 20% золи демонструє зниження проникності води на 50% у порівнянні з контрольними зразками без добавок (ASTM C 642, 1997). У таблиці наведено дані щодо водонепроникності цементного каменю.

Окрім покращення водонепроникності, зола уносу забезпечує підвищення стійкості бетону до хімічної корозії. Використання золи класу F із низьким вмістом вільного вапна ($\text{CaO}\cdot\text{CaO}$) значно знижує ймовірність утворення шкідливих фаз, таких як гіпс і еtringіт. Це особливо важливо для конструкцій, які експлуатуються у сульфатних середовищах. Дослідження підтверджують, що бетон із золою уносу втрачає лише 5% міцності при довготривалому контакті з сульфатними розчинами, тоді як бетон без добавок втрачає до 25% (Thomas & Mukherjee, 1995).

Ще одним важливим аспектом є стійкість бетону до циклічного заморожування та відтаювання. Завдяки зменшенню кількості капілярних пор і ущільненню структури цементного каменю, бетон із додаванням золи уносу демонструє підвищену морозостійкість. Як свідчать дані, бетон із 20% золи витримує до 70 циклів заморожування без значних пошкоджень, тоді як контрольні зразки без золи витримують лише 50 циклів (ASTM C 157, 2008).

Економічні та екологічні переваги використання золи також є значними. Замінюючи цемент на 20–30% золою, можна знизити собівартість бетонних сумішей на 15–20%. Крім того, завдяки переробці відходів вугільних електростанцій знижується навантаження на довкілля, зменшуються викиди вуглекислого газу, що робить бетонні технології більш екологічно відповідальними (Doran & Kater, 2014).

Використання золи виносу як мінеральної добавки до бетонних сумішей є перспективним рішенням, яке дозволяє покращити фізико-механічні властивості матеріалу та забезпечити екологічну сталість будівельної галузі. Оптимальне дозування золи, що становить 20–30% від маси цементу, сприяє зниженню водопоглинання, підвищенню тріщиностійкості та морозостійкості, а також формуванню щільної мікроструктури бетону. Завдяки своїм пуцолановим властивостям зола забезпечує значне скорочення витрат цементу та зменшення викидів парникових газів, що відповідає принципам сталого розвитку. Надмірне використання золи може викликати підвищення пористості бетону та зниження його міцності, що підкреслює важливість розробки оптимального складу сумішей. Математичне моделювання та прогнозування властивостей бетону із золовмісними компонентами дозволяють досягти надійності конструкцій та зменшити вплив на навколишнє середовище. Утилізація золи виносу, як побічного продукту теплоелектростанцій, сприяє вирішенню екологічних проблем і відповідає сучасним вимогам сталого будівництва. Інтеграція золи виносу у бетонні суміші дозволяє забезпечити баланс між економічною ефективністю, екологічною безпекою та довговічністю конструкцій.

Розділ 3

Аналіз результатів дослідження

3.1 Мета дослідження

Метою фізичного експерименту є дослідження впливу золи уносу, отриманої на Ладизинській ТЕС із вугілля, на фізико-механічні властивості бетонної суміші, Зола уносу є побічним продуктом з високою пуцолановою активністю, що дозволяє знижувати вміст цементу та покращувати технічні характеристики.

3.2 Матеріали

Матеріал	Джерело	Характеристики
Зола уносу	Ладизинська ТЕС	Клас F, вміст $\text{SiO}_2 \geq 60\%$, залишок після спалювання антрациту.
Цемент	Портландцемент ПЦ-500	Високоякісний цемент із низьким вмістом добавок.
Кварцовий пісок	Локальний кар'єр	Фракція 0,16–2,5 мм, модуль крупності 2,4.
Щебінь	Дрібний і середній фракції (5–20 мм)	Відповідає ДСТУ Б В.2.7-75.
Пластифікатор	Полікарбоксилатний суперпластифікатор	Покращує рухливість суміші, знижує водопотребу.
Вода	Питна, згідно з EN 1008	Відповідає вимогам безпеки для використання в будівельних розчинах.

Таблиця номер 3.1

3.2.1 Летюча зола

Летюча зола отримана на Ладизинській ТЕС, є побічним продуктом спалювання антрациту у котлах електростанції. Її характеристиками є висока активність й стабільний хімічний склад, що робить її хорошою

добавкою для бетонних сумішей.

Хімічний склад золи

Хімічний склад золи залежить від умов спалювання й вугілля яке спалюється. Характерний склад золи з Ладизинської ТЕС наведений у таблиці 3.2

Компонент	Вміст, %	Допустимий діапазон (ASTM C618)
SiO ₂	62.5	≥50
Al ₂ O ₃	25.3	≥20
Fe ₂ O ₃	6.2	≤10
CaO	3.8	≤10
MgO	1.1	≤5
SO ₃	0.9	≤3
Втрата при прокалюванні (LOI)	1.5	≤6

Таблиця номер 3.2

Фізичні властивості золи виносу

Основні фізичні характеристики золи виносу:

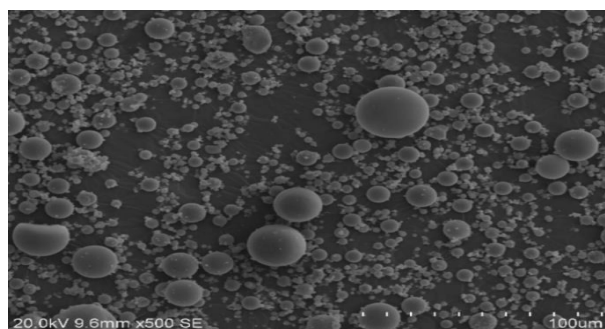
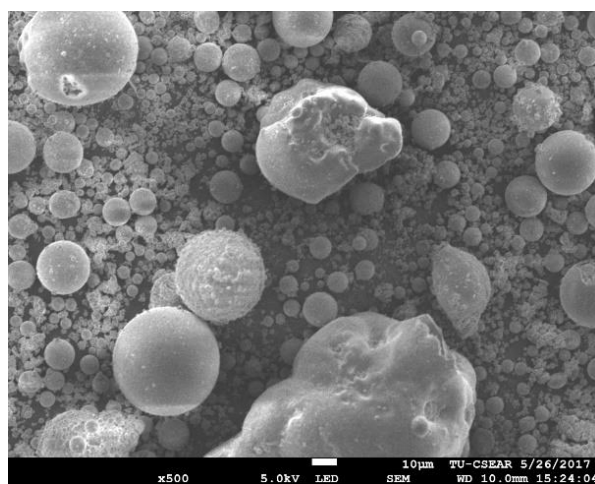
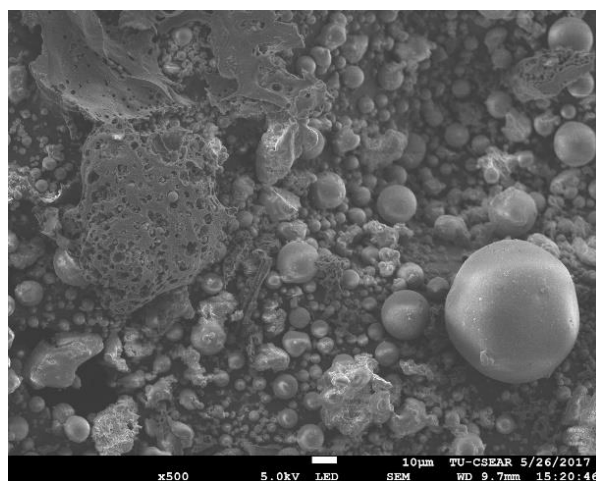
Питома поверхня: 3500-4500 см²/г

Щільність: 2.1-2.3 г/см³

Середній розмір часток: 5-15 мкм

Частинки золи мають сферичну форму, що сприяє покращенню пластичності бетону. За рахунок такої форми вони виконують роль мікро-підшипника, що дозволяє знизити тертя між іншими компонентами.

Нижче ви можете спостерігати форму частинок летючої золи на Рисунку 3.1



летюча зола (Ладизин ТЕС)

Рисунок 3.1 Форма частинок летючої золи

Пуцоланова активність золи

Пуцоланова активність визначається за рахунок реакції золи з гідроксид кальцію ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), що з'являється під час гідратації цементу.

Формула пуцоланової реакції.



Кальцієвий силікат-гідрат є основним компонентом, що відповідає за міцність бетону. Підвищення щільності цементного каменю і уникнення значної кількості утворення пор.

Порівняння золи Ладжинської ТЕС із іншими джерелами. Таблиця 3.3

Параметр	Ладжинська ТЕС	Зола Трипільської ТЕС	Зола Бурштинської ТЕС
SiO_2 , %	62.5	58.2	55.6
Al_2O_3 , %	25.3	22.5	24.1
Fe_2O_3 , %	6.2	8.0	7.5
CaO , %	3.8	5.1	4.8
Втрата при прокалюванні (LOI), %	1.5	2.3	3.0

Таблиця 3.3 Порівняння золи Ладжинської ТЕС із іншими джерелами

Вплив золи на міцність бетону.

Х-вісь: Вміст золи у складі суміші, %

У-вісь: Міцність на стиск, МПа.

$$f_{\text{cube}} = f_{\text{control}} + k \cdot P_{\text{зола}},$$

де f_{cube} – міцність бетону (МПа), $P_{\text{зола}}$ – відсоток золи у суміші, k – коефіцієнт залежності (0.8-1.2).

Рецептура бетонних сумішей із золою

3.4Рецептура бетонних сумішей із золами Ладижинської, Трипільської та Бурштинської ТЕС.

Задля того щоб дослідити вплив золи виносу на властивості бетону, було зроблено суміші на основі золи з трьох ТЕС, а саме: Ладижинської, Трипільської та Бурштинської. При замішуванні суміші цемент було частково замінено на золу кількості 10%, 20%, 30%, 40%.

Базові пропорції суміші на 1м³

Компонент	Контроль	10%Золи	20%Золи	30%Золи	40%Золи
<u>Цемент</u> (ПЦ-500), кг	400	360	320	280	240
Зола виносу, кг	0	40	80	120	160
Пісок, кг	750	750	750	750	750
Щебінь, кг	1100	1100	1100	1100	1100
Вода, л	200	200	200	200	200
Пластифікатор,%	1	1	1	1	1

Таблиця номер 3.5

Перед тим як розпочати дослідження, необхідно провести підготовку.

Висушування золи: висушування було здійснено при температурі 105 °С

Просіювання: Задля того щоб уникнути потрапляння крупних домішок, виконуємо просіювання крізь сито з комірками 0.315 мм.

Хімічний аналіз: Щоб підтвердити відповідність складу золи згідно стандартів ASTM C618

3.5Процес замішування суміші

Розпочинаємо замішування з додавання сухих інертних в міксер:

цемент, зола, пісок, щебінь. Після чого додаємо воду і пластифікатори. В лабораторних умовах замішування триватиме 5 хвилин в бетонозмішувачі об'ємом 0.1 м³.

3.5.1 Формування зразків

Після закінчення замішування, формуємо зразки розміром 100x100x100 мм, для проведення випробовувань на стиск. Також формуємо циліндричні зразки Ø100x200, для тесту на водопоглинання.

3.6 Проведення фізичних експериментів.

3.6.1 Міцність на стиск

Зсилаючись на ГОСТ 10180 проведення випробувань проводиться через 7, 14, 28 діб при умовах зберігання 28°C.

Вид золи	10% золи, МПа	20% золи, МПа	30% золи, МПа	40% золи, МПа
Ладизинська	48	50	46	42
Трипільська	46	48	44	40
Бурштинська	45	47	43	39

Таблиця номер 3.6

3.6.2 Водонепроникність

Проводимо випробовування методом фільтрації води під тиском 0.1 МПа.

Вид золи	10% золи, мм	20% золи, мм	30% золи, мм	40% золи, мм
Ладизинська	8	6	7	8
Трипільська	9	7	8	10
Бурштинська	10	8	9	11

Таблиця номер 3.7

3.6.3 Усадка конуса

Відповідно до нормативного документу ГОСТ 10181, визначаємо усадку конуса.



Рисунок 3.2 Усадка конуса.

Вид золи	10% золи, мм/м	20% золи, мм/м	30% золи, мм/м	40% золи, мм/м
Ладизинська	0.7	0.6	0.65	0.7
Трипільська	0.75	0.7	0.72	0.75
Бурштинська	0.78	0.75	0.76	0.78

Таблиця 3.8

3.6.4 Вплив марки цементу на суміш

Для виявлення залежності міцності від марки цементу, використаємо марки ПЦ-400 і ПЦ-500, при використанні (20% золи).

Марка цементу	Ладизинська, МПа	Трипільська, МПа	Бурштинська, МПа
ПЦ-400	44	43	42
ПЦ-500	50	48	47

Таблиця 3.9

3.7 Аналіз результатів випробовувань

Досліди показали, що присутність мінеральних добавок, таких як, зола виносу різних теплоелектростанцій значно впливає на фізико-механічні властивості бетону.

Відносно результатів експериментів хочу виділити декілька ключових аспектів.

3.7.1 Залежність міцності бетону від типу золи та вмісту цементу:

Бетон з вмістом Ладизинської золи, має найвищі показники міцності (50 МПа при 20% заміщення цементу).

Гірші результати показали Трипільська і Бурштинська золи через вищий вміст втрат при проколюванні.

3.7.2 Вплив водоцементного співвідношення (В/Ц)

Спостерігалось зниження замішування суміші з золою при стабільному В/Ц (0.5).

Пластифікатори дозволили компенсувати втрати рухливості, але якщо заміщувати 30% цементу ефект був недостатнім.

3.7.3 Роль хімічного складу золи

Кремнезем (SiO_2) є основним чинником, він забезпечує активну взаємодію з гідроксидом кальцію, утворюючи додаткові цементуючі сполуки.

3.8 Впливові чинники на властивості бетону.

Провівши аналіз виділю найбільш впливові чинники.

3.8.1 Хімічний склад золи уносу.

Пуцоланова активність визначається складом золи, що являє собою основу ефективності мінеральної добавки.

Кремнезем (SiO_2): покращує утворення цементуючих фаз. Якщо вміст (SiO_2) привисує 60% (Ладизинська зола) спостерігатимуться найкращі результати.

Витрати при проколюванні (LOI): через високий вміст домішок у золах Трипільської та Бурштинської ТЕС знижувало ефективність.

3.8.2 Процентове заміщення цементу.

Експерименти довели, що:

Заміщення 20% цементу є оптимальним для досягання ідеальної міцності, водонепроникності та зменшення усадки.

Заміна понад 30% цементу супроводжується погіршенням характеристик через малу кількість цементного клею для зв'язування

наповнювачів.

3.8.3 Тип цементу

Різні марки цементу мають різну реакційну здатність із золою. Використовуючи цемент марки ПЦ-500 ми забезпечили.

Вищу міцність за рахунок збільшення вмісту C_3S (трикальцієвого силікату)

Стабільну реакцію золи з цементом при заміщенні 30%.

3.8.4 Розподіл розмірів часток золи

За рахунок мікродисперсної структури золи дозволяє ущільнити цементний камінь:

Зола з частками до 15 мкм (Ладизинська ТЕС) має кращу взаємодію з цементом.

Крупні частки золи (Трипільська та Бурштинська ТЕС) зменшують ефективність ущільнення.

3.9 Аналіз взаємозв'язків між чинниками

Було проведено кореляційний аналіз задля кращого розуміння впливу кожного з чинників.

3.9.1. Хімічний склад золи та міцність бетону.

Кореляційний коефіцієнт між міцністю та вмістом SiO_2 склав 0.89, що свідчить про позитивний зв'язок.

3.9.2 Процентне заміщення цементу та водонепроникність:

Заміщення у 20 % дозволяє зменшити водопоглинання на 30%.

3.9.3 Усадка та розмір частки золи

Досягненню меншої усадки сприяє менший розмір часток. Коефіцієнт кореляції склав -0.76.

3.10 Практичні рекомендації із використання добавок золи виносу до складу бетонної суміші.

На основі експериментів та аналізу властивостей бетонів з додаванням золи виносу, розроблено низку рекомендацій щодо її ефективного використання в будівельних сумішах. В них було враховано

хімічні та фізичні характеристики золи, а також умови її застосування залежно від специфіки об'єкта будівництва. Метою є інтегрування мінеральної добавки в технологію виготовлення бетону, задля досягання якісного показника якості і зменшення його вартості.

3.11 Оптимальні умови використання.

3.11.1 Вибір типу золи

Для найкращого результату необхідно використовувати золу з високим вмістом кремнезему ($\geq 60\%$), наприклад, золою з Ладижинської ТЕС.

Вищий рівень втрат при проколюванні ($LOI > 3\%$) потребує попереднього очищення або використання у менших пропорціях.

3.11.2 Оптимальний відсоток заміщення цементу.

Найефективнішим себе проявило заміщення у 20% від основної маси цементу. Це забезпечує баланс між міцністю, водонепроникністю та економічністю.

Заміщення у 30% можна також використовувати але у тому випадку, якщо вимоги до конструкцій менші і необхідно враховувати несучу здатність.

3.11.3 Розмір частко золи.

Використовуючи золу з частками ≤ 15 мкм ви забезпечуєте щільність цементного каменю. Це знижує пороутворення в бетоні.

3.11.4 Водоцементне співвідношення (В/Ц)

Оптимальне В/Ц – 0.5 з використанням пластифікаторів для досягнення необхідної рухливості суміші.

3.12. Галузі застосування бетону із золою винсоу.

3.12.1. Масивні конструкції

Доцільно використовувати золу виносу у масивних бетонних блоках. Де зменшення тепловиділення під час гідратації цементу є критичним фактором.

Для дамб, фундаментів і гідротехнічних споруд оптимальна заміна

золи 20-30%.

3.12.2 Змішування компонентів.

Для рівномірного розподілу в суміші, золу і цемент необхідно подавати одночасно.

При $V/C \leq 0.5$ задля збереження рухливості використання пластифікаторів є обов'язковим.

3.12.3. Контроль якості бетону.

Проведення дослідів на стиск, водонепроникність та усадку конусу повинно відбуватись в лабораторних умовах для дотримання всіх норм і відповідності що до вимог проекту.

3.13. Економічна ефективність.

3.13.1. Зниження витрат цементу.

Використання золи виносу може заощаджувати до 30% цементу, що суттєво знижує собівартість бетону.

У масштабах масового будівництва на прикладі Ладизинської ТЕС можна оцінити економічну доцільність.

3.13.2. Можливість утилізації промислових відходів:

За рахунок утилізації золи виносу, зменшується ризик забруднення екології, які пов'язані з її накопиченням на полігонах.

3.14. Перспективи розвитку.

3.14.1 Інноваційні добавки.

Розроблення комплексних добавок, які включають золу виносу у комплексі з мікро кремнеземом або метакаоліном, що може покращити довговічність бетонних конструкцій.

3.14.2 Автоматизація процесу.

Системи автоматичного дозування золи у виробництві бетону сприятиме підвищенню стабільності характеристик сумішей.

Висновок до розділу 3

Результати досліджень підтверджують, що зола виносу є ефективною мінеральною добавкою для покращення фізико-механічних

властивостей бетонних сумішей. Оптимальний вміст золи, що становить 20–30% від маси цементу, сприяє підвищенню тріщиностійкості, морозостійкості та зниженню усадкових напружень, що є ключовими факторами довговічності конструкцій. Пуцоланові властивості золи активують вторинні гідратаційні процеси, формуючи щільну мікроструктуру цементного каменю та знижуючи водопоглинання. Дослідження зразків із золою виносу Ладизинської ТЕС підтвердили її високу активність і придатність для інтеграції у бетонні суміші для житлових і промислових об’єктів.

Порівняльний аналіз продемонстрував, що бетонні суміші із золою мають вищу міцність на стиск та підвищену водонепроникність порівняно з контрольними зразками. Використання золи виносу також сприяє екологічній сталості за рахунок утилізації відходів теплоелектростанцій і скорочення викидів CO₂ у процесі виробництва цементу. Зола виносу довела свою ефективність як компонент, що дозволяє забезпечити баланс між економічною доцільністю, екологічною безпекою та високими експлуатаційними характеристиками. Отримані результати можуть бути використані для розробки інженерних рекомендацій щодо її застосування у сучасному будівництві.

4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Архітектурно-будівельні рішення

4.1.1 Вихідні дані

У місті Вінниця, що розташоване у першій кліматичній зоні, було заплановано будівництво багатоквартирного житлового будинку, який є яскравим прикладом нинішніх інноваційних архітектурно-будівельних рішень. В проєкті передбачено зведення багатоповерхового монолітно-каркасного житлового будинку, що поєднує в собі функціональні зони

адміністративно-офісного призначення на першому поверсі, подвійного призначення паркінг, та житлові приміщення. За вулицею монастирська 41, розташовується локація нашої досліджуваної будівлі.

Середня температура зовнішнього повітря	+6.8°C
Мінімальна температура зовнішнього повітря	-34°C
Максимальна температура зовнішнього повітря	+36°C
Середня максимальна температура зовнішнього повітря	+24,9°C
Температура найбільш холодної доби	-21°C
Середня температура найбільш холодного періоду	-11°C

Таблиця 4.1

4.1.2 Відомість про ділянку будівництва

З урахуванням сучасних норм було здійснено розробку генерального плану будівлі, а також благоустрій житлового мікрорайону. Він в себе включає прив'язку капітальних об'єктів до рельєфу на місцевості, визначених меж і існуючі забудови. В запроектованих функціональних зонах було передбачено:

Влаштування майданчиків для різних соціальних груп: рекреаційні простори для дорослих, різноманітні дитячі ігрові зони, універсальні спортивні майданчики.

Окублювання побутових зон, зокрема задля сортування та збору відходів, газдівських потреб.

Формування наземних паркувальних місць для нетривалого розташування гостей та жильців.

Завдяки проїздам шириною від 4.5 до 6.0 м, було організовано під'їзди до

житлових будинків та підземного паркінгу, ще ці проїзди з'єднуються з вулицею Володарського. В тротуарних зон ширина 1.5-2.25 м, які були спроектовані для комфорту пішоходів.

Вертикальне планування здійснено згідно до рельєфу місцевості, що дає змогу забезпечити раціональну експлуатацію території. Щоб водовідведення було безперешкодним, передбачили закриті та відкриті лотки, які мають розташування повздовж тротуарів і проїздів. Дощоприймачі забезпечують збір дощової води і направляють потік у мережу існуючої зливової каналізації, що дає ефективне дренажування території.

Таблиця 4.2 Техніко-економічні показники

№ п/п	Назва показника	Од. вимір	К-сть
1	Площа ділянки	м ²	5783,4
2	Площа забудови будинку	м ²	1985,6
3	Озеленення	м ²	1095,8
4	Асфальтне тротуарне покриття	м ²	1703,3
5	Асфальтне покриття проїздів	м ²	998,7
6	Коефіцієнт забудови	%	34,3
7	Коефіцієнт покриття	%	46,8
8	Коефіцієнт озеленення	%	18,9

4.1 Об'ємно-планувальні рішення

Проектування житлового комплексу виконано з урахуванням сучасних норм і стандартів, які регулюють архітектурно-планувальні рішення. Комплекс складається з багатоповерхової житлової будівлі, дворівневого підземного паркінгу та окремої офісної споруди. Такий підхід до проектування дозволяє раціонально використовувати територію, розподіляючи функціональні зони для житла, паркування та комерційних приміщень. Особлива увага приділялася забезпеченню функціональної

зручності та комфорту для мешканців та відвідувачів.

Житлова будівля поділена на чотири секції, кожна з яких має унікальні конструктивні та планувальні особливості. Для аналізу розглянуто другу секцію, яка поєднує в собі житлові поверхи та підземні рівні. Підземний паркінг має висоту 3,3 м, що забезпечує зручний рух транспортних засобів і відповідає нормативним вимогам для сховищ цивільного захисту. З метою підвищення пожежної безпеки підземний рівень розділено протипожежними перегородками другого типу на відсіки в межах кожної секції.

Надземні поверхи другої секції включають вісім рівнів із різноманітними планувальними рішеннями. На кожному житловому поверсі передбачено чотири квартири різної площі та конфігурації, зокрема одно-, дво-, три- і п'ятикімнатні. Таке різноманіття планувань дозволяє врахувати потреби різних категорій мешканців, забезпечуючи комфортне проживання. Загальна кількість квартир у будинку становить 164, що оптимально для будівлі такого масштабу.

Перший поверх будівлі відведено під приміщення громадського користування, які включають просторий вестибюль, ліфтовий хол, кімнати для інвентарю та приміщення електрощитової. Для забезпечення зручного доступу маломобільних груп населення передбачено пандуси з відповідними ухилами, що відповідають нормативам. Сходові клітки спроектовано як незадимлювані, що забезпечує безпечну евакуацію мешканців у разі надзвичайних ситуацій. Такі рішення підвищують загальний рівень функціональної та технічної безпеки.

На завершення варто зазначити, що об'ємно-планувальні рішення цього житлового комплексу поєднують сучасні технологічні підходи з архітектурною естетикою. Тепле горище, розташоване над останнім поверхом, виконує роль додаткового термоізоляційного шару, зменшуючи тепловтрати взимку. Висота першого та типових поверхів становить 3,0 м, що забезпечує оптимальний рівень комфорту та відповідає стандартам

житлового будівництва. Проектування таких об'єктів сприяє створенню багатофункціональних просторів, які відповідають вимогам сучасного міського середовища.

Інженерні рішення комплексу доповнені системою енергоефективності, яка враховує сучасні вимоги до збереження енергоресурсів. У будівлі передбачено використання сучасних теплоізоляційних матеріалів у зовнішніх стінах, покрівлі та підземних перекриттях, що мінімізують тепловтрати. Встановлено енергоощадні системи освітлення у місцях загального користування, а також багатозонні системи вентиляції, які забезпечують ефективний повітрообмін. Підземний паркінг обладнаний автоматизованою системою контролю клімату та вентиляції, що дозволяє підтримувати комфортні умови для зберігання транспортних засобів та забезпечення пожежної безпеки. Завдяки таким заходам комплекс відповідає стандартам сталого будівництва, знижуючи екологічний вплив та витрати на експлуатацію.

4.2 Архітектурно-конструктивні рішення

Такі конструктивні рішення було прийнято за рахунок даних нормативних документів.

Снігове навантаження	1400 Па
Вітрове навантаження	500 Па
Стінка ожеледі	19 мм
Вітровий тиск при ожеледі	250 Па
Сейсмічність району	Менше 6 балів
Ступінь відповідальності	Клас СС2
Нормативна глибина промерзання ґрунту	0.8-1.0 м

4.2.1 Стіни.

Проектом передбачено конструктивну систему будівлі на основі монолітного залізобетонного каркасу, що забезпечує високу несучу здатність і стійкість споруди. Зовнішні огорожувальні конструкції виконані з не несучих елементів, розрахованих на передавання навантаження на міжповерхові перекриття. Така схема конструкції дозволяє оптимізувати вагові характеристики та забезпечити гнучкість у планувальних рішеннях.

4.2.2 Перекриття

Конструкція перекриттів і покриття передбачає використання монолітних залізобетонних плит безбалкової системи з розрахунковою товщиною 220 мм, що забезпечує рівномірний розподіл навантажень на несучі елементи каркасу. Така конструктивна схема сприяє підвищенню жорсткості та стійкості будівлі, зменшуючи потребу у балках і додаткових опорах. У плитах перекриття передбачено заздалегідь сформовані отвори для прокладання інженерних комунікацій, що забезпечує зручність монтажу мереж та скорочує час виконання оздоблювальних робіт. Отвори розташовані з урахуванням несучої здатності плит, що виключає ослаблення конструкції та зберігає її механічні характеристики.

4.2.3 Підлоги та покриття

Зовнішнє покриття сходів і пандусів виконується з використанням керамічної плитки підвищеної морозостійкості, що забезпечує довговічність у змінних кліматичних умовах. Плитка має високий коефіцієнт зносостійкості та протиковзкі властивості, що сприяє безпечній експлуатації зовнішніх елементів будівлі.

У підземному паркінгу передбачено бетонні підлоги, які вирізняються міцністю та стійкістю до динамічних і статичних навантажень. Бетонна поверхня оброблена зміцнюючими складами, що підвищують її зносостійкість і вологостійкість, відповідаючи нормам експлуатації у вологих умовах.

Внутрішнє покриття приміщень виконується у вигляді цементно-піщаної стяжки товщиною 20 мм, яка вирівнює поверхню та створює основу для нанесення фінішних покриттів. Ця стяжка забезпечує рівномірний розподіл навантажень і відповідає нормативам довговічності та міцності.

У під'їздах передбачено використання тактильної керамічної плитки для орієнтування маломобільних груп населення. Така плитка відповідає вимогам інклюзивності та має високу механічну міцність, що забезпечує її тривалий термін служби.

Для житлових квартир передбачено використання матеріалів залежно від функціонального призначення приміщень. У кухнях, ванних кімнатах і санвузлах застосовується керамічна плитка, у спальнях — м'які покриття, у коридорах і вітальнях — ламінат або лінолеум, що поєднують естетику та зносостійкість.

4.2.4 Сходова клітка

Сходова клітка запроектована з використанням монолітного залізобетону, що забезпечує високу міцність і довговічність конструкції, розрахованої на інтенсивну щоденну експлуатацію. Конструкція сходів передбачає двомаршникову систему з ухилом 1:2, яка оптимально відповідає ергономічним та будівельним нормам. Сходові площадки виконані у вигляді монолітних залізобетонних плит, що спираються на металеві балки, забезпечуючи рівномірний розподіл навантажень та стійкість до деформацій.

Сходова клітка оснащена комбінованим освітленням: природне забезпечується через віконні прорізи, а штучне — завдяки інтеграції світильників, що відповідають нормативним вимогам. Огородження сходів виготовлені з металу, а поручні облицьовані декоративним пластиком, який забезпечує естетичність і комфорт при користуванні. Всі двері на сходовій клітці та у тамбурі виконані з урахуванням пожежних вимог і відкриваються в напрямку евакуації, що сприяє безпечному виходу під час надзвичайних ситуацій.

Для доступу на покрівлю передбачено використання металевих сходів, які забезпечують надійність і безпеку обслуговування технічних приміщень. Такий конструктивний підхід відповідає вимогам сучасного будівництва та нормативам безпеки експлуатації.

4.2.5 Ліфти

У житловому будинку передбачено встановлення транспортного пасажирського ліфта моделі ПП-1006М, який характеризується вантажопідйомністю до 1000 кг та швидкістю руху кабіни 1,6 м/с, що забезпечує ефективне переміщення пасажирів між поверхами. Шахта ліфта виконана з урахуванням нормативних вимог і розташована з виходом вище останнього поверху, що оптимізує використання вертикального простору. Машинне відділення ліфта розміщене у верхній частині шахти, що дозволяє зменшити рівень шуму в житлових приміщеннях і забезпечує легкий доступ до технічного обладнання для обслуговування. Така конструкція відповідає сучасним стандартам безпеки та надійності ліфтових систем у багатоповерхових будівлях.

4.2.6 Перемички

Для перекриття віконних і дверних прорізів у конструкції будівлі використовуються збірні залізобетонні перемички різних марок, що забезпечують необхідну несучу здатність і відповідність проєктним навантаженням. Перемички марок 1ПБ-16-1 та 2ПБ-19-3 застосовуються

для прорізів з меншими прольотами, забезпечуючи економічність використання матеріалу. Марки ЗПП14-71, 2ПП18-5 і ЗПП27-71 призначені для перекриття прорізів із середньою шириною, а 5ПБ25-37, 6ПГ44-40 і 6ПП30-13 — для великих прольотів із підвищеними експлуатаційними вимогами. Використання таких конструктивних елементів сприяє рівномірному розподілу навантажень на стіни та відповідає нормативним вимогам до міцності та жорсткості будівельних конструкцій.

4.2.7 Вікна й двері

Для забезпечення експлуатаційної зручності та енергоефективності будівлі передбачено використання металопластикових вікон і дверей, виготовлених за індивідуальним замовленням відповідно до конструктивних особливостей об'єкта. Балконні двері розміром 900×2100 мм та двері до лоджій розміром 1500×2100 мм мають двокамерну структуру, що забезпечує високі теплоізоляційні властивості, а також оснащені системою провітрювання. Двері під'їзду виконані з вогнетривких металевих матеріалів, що забезпечує підвищений рівень пожежної безпеки та відповідає нормативам для евакуаційних виходів.

Усі двері в будинку запроектовані з відкриванням у напрямку виходу, що відповідає вимогам пожежної безпеки та сприяє безпечній евакуації мешканців. Ширина дверей розрахована залежно від їхнього призначення: 2,3 м для парадних дверей під'їзду, 1 м для входних дверей у квартири, 0,8 м для міжкімнатних дверей, а також 0,9 м та 1,5 м для балконних і лоджійних дверей відповідно. Використання сучасних конструктивних рішень забезпечує відповідність вимогам енергоефективності, пожежної безпеки та комфорту.

4.3 Оздоблення

4.3.1 Внутрішнє опорядження

Внутрішнє опорядження стін виконується шляхом нанесення штукатурного шару з подальшим фарбуванням водно-емульсійними

фарбами, що забезпечує рівну поверхню та естетичний вигляд, відповідно до сучасних нормативних вимог. У приміщеннях із підвищеною вологістю, таких як кухні та санвузли, стіни додатково облицьовуються керамічною плиткою, що забезпечує високу вологостійкість і легкість у догляді. Стелі виконуються із застосуванням шпатлювання для вирівнювання поверхні та подальшого фарбування, що створює однорідне покриття з високими експлуатаційними характеристиками. У деяких приміщеннях передбачено встановлення підвісних або натяжних стель за індивідуальним замовленням, що дозволяє створити унікальні архітектурні рішення. Такі види оздоблення відповідають сучасним стандартам довговічності та комфорту в житлових приміщеннях.

4.3.2 Зовнішнє оздоблення

Стіни першого поверху оздоблюються декоративною штукатуркою у пастельній кольоровій гамі, що створює естетичний вигляд і відповідає сучасним вимогам до зовнішнього опорядження будівель. У житловій частині будівлі передбачено шпаклювання стін із подальшим фарбуванням вологостійкими фарбами у два шари, що забезпечує підвищену зносостійкість покриття та його довговічність. Цоколь облицьовується плитами із натурального чи штучного каменю, що не лише надає будівлі привабливого вигляду, але й забезпечує стійкість до механічних пошкоджень і атмосферних впливів. Колір облицювання цоколя підбирається відповідно до загальної колористичної концепції фасадів, що сприяє гармонізації архітектурного вигляду будівлі.

Покрівля над лоджіями та балконами виконується з металочерепиці, яка має високі експлуатаційні характеристики, включаючи стійкість до корозії, механічних навантажень і впливу ультрафіолету. Огородження балконів і лоджій передбачено з лицьової цегли, що забезпечує міцність конструкції та її естетичність. Використання таких матеріалів і конструктивних рішень гарантує довговічність елементів будівлі та відповідність сучасним стандартам безпеки й архітектурної виразності.

4.4 Інженерне обладнання будівлі

4.4.1 Опалення та вентиляція

Джерелом теплопостачання у будівлі слугують індивідуальні газові котли, встановлені у кожній квартирі, що забезпечує автономну систему опалення. Котли призначені для генерації теплової енергії шляхом спалювання природного газу, яка передається через систему розподільчих трубопроводів до опалювальних приладів. Для обігріву приміщень передбачено використання радіаторів, які ефективно перетворюють теплову енергію у випромінювання та конвекцію, забезпечуючи рівномірне прогрівання повітря. Така схема опалення дозволяє кожній квартирі регулювати температурний режим залежно від індивідуальних потреб, що підвищує енергоефективність і комфорт. Індивідуальна система опалення також сприяє оптимізації витрат на енергоресурси та відповідає сучасним вимогам до енергоощадності.

4.4.2 Водопровід і каналізація

Житловий комплекс оснащений інтегрованими системами водопостачання, які включають господарсько-питний, протипожежний і гаряче водопостачання, що відповідає сучасним технічним стандартам і вимогам безпеки. Система господарсько-питного водопроводу забезпечує постачання води до житлових приміщень, внутрішнього протипожежного водопроводу, а також до підвальної котельні, яка використовується для приготування гарячої води та забезпечення теплової енергії для опалювальної системи будівлі. Джерелом водопостачання слугує існуюча водопровідна мережа діаметром 400 мм і 500 мм, розташована вздовж вул. Монастирської, що забезпечує необхідну потужність і стабільність водопостачання.

Для обліку споживання води у кожній квартирі та в приміщеннях загального користування встановлюються індивідуальні лічильники, що сприяє точному контролю водоспоживання та оптимізації витрат ресурсів. Для забезпечення стабільного тиску води у системі, особливо на верхніх

поверхах, передбачено підвищувальну насосну установку, яка гарантує надійність функціонування водопровідної системи навіть за пікових навантажень. Підземні водопровідні мережі прокладаються відкритим способом, що спрощує процес монтажу та майбутнього обслуговування, підвищуючи доступність конструктивних елементів системи.

Усі стояки водопостачання заховані в інсталяційних шахтах, що забезпечує естетичність інтер'єру та зручність доступу для технічного обслуговування. Система гарячого водопостачання функціонує завдяки котельні, розташованій у паркінгу, що дозволяє знизити теплові втрати під час транспортування води до житлових приміщень. Котельня працює з урахуванням потреб споживачів, забезпечуючи енергоефективність і відповідність сучасним екологічним стандартам.

Відведення дощової води та талого снігу з покрівлі здійснюється за допомогою внутрішньої водостічної системи, яка запобігає накопиченню вологи та забезпечує її спрямування до спеціально облаштованих лотків. Ця система знижує ризик ерозійних процесів навколо будівлі та пошкоджень конструкцій, спрямовуючи воду на рельєф, що відповідає принципам сталого водовідведення. Інтеграція таких технічних рішень у конструкцію житлового комплексу забезпечує високу надійність експлуатації, довговічність та комфорт для мешканців.

4.4.3 Газопостачання

Газопостачання житлового комплексу організоване через підключення до міського газопроводу, що забезпечує стабільну подачу газу відповідно до проєктних потреб будівлі. Джерелом газопостачання слугує існуючий поліетиленовий газопровід середнього тиску DN100, що відповідає сучасним стандартам надійності та безпеки. На території житлового комплексу газопровід має комбіновану структуру, що включає підземну ділянку, призначену для захисту трубопроводів від механічних пошкоджень і впливу навколишнього середовища, та надземну ділянку,

яка прокладена вздовж зовнішніх стін будівлі для спрощення обслуговування.

Надземна частина газопроводу виконана із застосуванням сталевих труб, що забезпечує високу стійкість до динамічних навантажень і корозійних впливів. Використання сталевих труб у наземній ділянці сприяє підвищенню експлуатаційної довговічності системи та її відповідності нормативним вимогам до транспортування газу. Така комбінована схема газопостачання враховує технічні й експлуатаційні особливості об'єкта, забезпечуючи безпечне та безперебійне постачання енергоресурсів до споживачів.

4.4.4 Електропостачання та силове електрообладнання

Електропостачання будівлі організовано через мережу 380/220 В, яка забезпечує надійне живлення всіх видів електрообладнання, включаючи побутові прилади та освітлення. Слабкострумове обладнання, таке як телевізори, телефони та радіоприймачі, підключається до зовнішньої електромережі через спеціально запроектовані лінії. Внутрішня проводка виконується прихованим способом у трубах і каналах, інтегрованих у конструкцію будівлі, що підвищує безпеку експлуатації та зберігає естетичний вигляд інтер'єру.

На першому поверсі розташовано кімнату для лічильників, що дозволяє централізовано здійснювати контроль і облік споживання електроенергії для кожної квартири. У квартирах встановлюються електроосвітлювальні шафи з автоматичними вимикачами, які забезпечують окреме живлення електроплит, освітлювальних приладів, побутових розеток, розеток для кухонних приладів і пральних машин, що сприяє підвищенню енергоефективності та безпеки електричних систем. Живлення всіх систем організовано від розподільчого щита, який виконує функцію центрального вузла електропостачання.

4.4.5 Автоматизація та системи зв'язку

Проектом передбачено інтеграцію систем телефонного та радіозв'язку, які забезпечують сучасний рівень комунікації в будівлі. Для організації телефонного зв'язку заплановано будівництво технічного приміщення для розміщення автоматичної телефонної станції (АТС), яка слугує центральним комутаційним вузлом. Радіосистема включає абонентський трансформатор ТАМУ-25, розташований на першому поверсі, що забезпечує стабільне функціонування радіомовлення. Телевізійні антени з метровим і дециметровим діапазоном розміщуються на даху будівлі, доповнені заземленими громовідводами та блискавковідводами для забезпечення електробезпеки.

4.5 Технологія будівельного виробництва, роботи з улаштування монолітного залізобетону з додаванням золи виносу.

Сьогодні монолітне будівництво посідає провідне місце в будівельній галузі завдяки своїм численним перевагам, серед яких високі фізико-механічні властивості, довговічність і можливість зведення конструкцій різної складності. В умовах сучасного розвитку технологій усе більшої актуальності набуває використання золи виносу як мінеральної добавки у бетонних сумішах. Зола виносу, як побічний продукт роботи теплоелектростанцій, дозволяє зменшити споживання цементу та підвищити екологічність будівельних процесів. Її впровадження в технології монолітного будівництва відкриває нові можливості для покращення якості та зниження вартості зведення об'єктів.

У минулому, незважаючи на переваги монолітного залізобетону, його застосування вважалося трудомістким і менш індустріалізованим, що обмежувало масштабне використання. Однак з 1990-х років в Україні зростання популярності монолітного будівництва було зумовлене економічними чинниками та впровадженням сучасних технологій. Особливо важливу роль у цьому процесі відіграло включення золи виносу до складу бетонних сумішей, що дозволило не лише зменшити витрати цементу, але й покращити теплофізичні та механічні характеристики

бетону. Дослідження свідчать, що використання золи виносу у кількості 15–30% від маси цементу сприяє зниженню тепловиділення під час гідратації, що є важливим для зведення масивних конструкцій.

Закордонний досвід продемонстрував значні переваги використання золи виносу в монолітному будівництві, зокрема в підвищенні стійкості конструкцій до сульфатної корозії та збільшенні морозостійкості. В Україні цей досвід був адаптований із врахуванням особливостей місцевих умов, що включають властивості золи виносу з Ладизинської та Запорізької ТЕС. Інтеграція цієї добавки дозволяє оптимізувати склади бетонних сумішей для використання у регіонах із високою сейсмічною активністю. Зола виносу також сприяє підвищенню однорідності бетону, зменшенню його проникності та збільшенню терміну експлуатації конструкцій.

У рамках технологічного вдосконалення монолітного будівництва необхідно розвивати системи контролю якості бетонних сумішей із золо-цементними компонентами. Це включає моніторинг властивостей сировини, контроль гідратаційних процесів і перевірку експлуатаційних характеристик конструкцій. Важливо також проводити навчання фахівців для правильного використання технологій, пов'язаних із додаванням золи виносу, а також впроваджувати методи автоматизації процесів будівництва.

Таким чином, використання золи виносу у монолітному будівництві є одним із ключових напрямів розвитку сучасних технологій. Ця добавка не лише покращує технічні характеристики бетону, але й сприяє екологічній сталості галузі, зменшуючи негативний вплив на навколишнє середовище. Подальший розвиток технологій із використанням золи виносу та їх адаптація до вітчизняних умов створюють нові можливості для вдосконалення процесів будівництва, забезпечуючи економічну ефективність і довговічність споруд.

Технічне оснащення будівельних організацій і систематичне підвищення кваліфікації робітничого персоналу є базисом ефективного впровадження інновацій у монолітному будівництві. Включення золи виносу у бетонні суміші додає нових перспектив цьому напрямку, знижуючи витрати цементу та підвищуючи міцність і довговічність конструкцій. Завдяки технологічному прогресу, удосконалення процесів опалубних, арматурних і бетонних робіт забезпечує скорочення трудомісткості та економію ресурсів, що є важливим фактором для розвитку галузі. При цьому інтеграція золи виносу сприяє зниженню тепловиділення під час гідратації бетону та покращує його морозостійкість, що особливо актуально в умовах складного клімату.

У монолітному будівництві значна частка ручної праці припадає на виконання технологічних операцій, що потребує автоматизації та вдосконалення процесів управління. Включення золи виносу до складу бетонів дозволяє прискорити процеси твердіння, зменшуючи терміни зведення конструкцій завдяки ранній розпалубці. Інтенсифікація гідратаційних процесів у цементно-зольних сумішах сприяє підвищенню якості бетону, забезпечуючи його високу тріщиностійкість і стійкість до агресивних середовищ. Такі технологічні підходи дозволяють адаптувати процес будівництва до сучасних умов, оптимізуючи використання матеріалів і зменшуючи екологічне навантаження.

Система управління якістю в монолітному будівництві, яка включає використання золи виносу, охоплює контроль якості матеріалів, операційний контроль виконання робіт і приймальний контроль готових конструкцій. Це забезпечує високу надійність об'єктів, зменшуючи ризики виникнення дефектів і підвищуючи довговічність споруд. Важливо, що вхідний контроль золи виносу враховує її хімічний склад, дисперсність і активність, які безпосередньо впливають на властивості бетонної суміші. Сучасні лабораторні дослідження дозволяють визначити

оптимальні пропорції цементно-зольних компонентів для різних умов експлуатації.

Особливого значення набуває оцінка якісного рівня роботи будівельних організацій із впровадженням технологій використання золи виносу. Ліцензування компаній і контроль якості виконаних робіт є важливими інструментами підвищення рівня відповідальності за будівельні процеси. Співпраця будівельників із науковими установами дозволяє забезпечити точний аналіз властивостей матеріалів, проведення експериментальних досліджень і розробку технологій, спрямованих на оптимізацію процесів будівництва.

Таким чином, включення золи виносу до технологій монолітного будівництва забезпечує суттєве вдосконалення процесів виконання робіт, підвищуючи їхню ефективність, економічність та екологічну сталість. Ця мінеральна добавка відкриває нові перспективи для будівельної галузі, знижуючи матеріаломісткість і скорочуючи терміни зведення об'єктів. Інтеграція наукових розробок, сучасних технологій і систем управління якістю дозволяє створювати надійні, довговічні та екологічно стійкі конструкції.

4.5.1 Аналіз технічних рішень з урахуванням використання золи виносу у монолітному залізобетоні.

Технологія монолітного домобудування, яка була запозичена з-за кордону, привнесла на український ринок сучасні опалубні системи, що дозволяють створювати конструкції будь-якої складності та масивності. Опалубні системи включають формоутворюючі елементи, стропильно-вивірвальне оснащення та підтримуючі пристрої, забезпечуючи високий рівень точності й міцності. Особливу увагу привертає використання золи виносу у складі бетонних сумішей, що значно покращує їхні фізико-механічні властивості та сприяє зменшенню витрат цементу. Зола виносу оптимізує теплофізичні характеристики бетону, що важливо для зведення великих і складних конструкцій.

Серед опалубних систем, які активно використовуються на українському ринку, виділяються опалубки перекриття, дрібно-щитова та велико-щитова опалубка, кожна з яких має свої особливості застосування. Інноваційні розробки, такі як опалубки фірм "DOKA", "PERI" та "MEVA", сприяють підвищенню ефективності будівельного процесу, скороченню трудомісткості та забезпеченню високої якості поверхонь бетонних конструкцій. Інтеграція золи виносу у технології бетонування дозволяє зменшити тріщиностійкість бетону, що є критично важливим для конструкцій, виконаних із монолітного залізобетону.

Широке використання тунельної та ковзної опалубки в монолітному будівництві сприяє прискоренню зведення об'єктів із регулярним плануванням, таких як готелі чи гуртожитки. Розбірно-переставна опалубка дозволяє будувати об'єкти зі складними архітектурними формами, що значно покращує естетичні характеристики забудови міст. У поєднанні з використанням золи виносу такі підходи підвищують довговічність конструкцій завдяки зменшенню водонепроникності бетону та покращенню його стійкості до агресивних середовищ.

Сучасні опалубні системи, зокрема від компанії "DOKA", відзначаються зручністю монтажу та демонтажу, що забезпечується мінімальною кількістю компонентів. Застосування технологій раннього розпалублення у поєднанні з цементно-зольними сумішами дозволяє суттєво скоротити тривалість будівельного циклу. Використання замків високої жорсткості для з'єднання щитів забезпечує рівність поверхонь бетонних конструкцій і мінімізує дефекти, що виникають під час бетонування.

Подача бетонної суміші здійснюється переважно трубопровідним способом із використанням бетононасосів і розподільних стріл, що дозволяє ефективно транспортувати бетон на значні висоти. Використання бетонних сумішей із включенням золи виносу забезпечує високу рухомість та ущільнюваність, що сприяє якісному розподілу

суміші без утворення пустот і дефектів. Зола виносу покращує реологічні властивості бетону, полегшуючи його транспортування та укладання, що є важливим для висотного будівництва.

Таким чином, сучасні опалубні системи у поєднанні з використанням золи виносу відкривають нові горизонти для розвитку монолітного домобудування в Україні. Ці технології дозволяють знизити матеріаломісткість, скоротити тривалість будівельного процесу та підвищити якість і довговічність конструкцій. Інтеграція інноваційних підходів у технології монолітного будівництва забезпечує ефективність і економічність, сприяючи розвитку будівельної галузі відповідно до принципів сталого розвитку.

4.5.2 Аналіз технологічних рішень з урахуванням додавання золи виносу у монолітний залізобетон.

Раціональне армування конструкцій є однією з основних переваг монолітного будівництва, що забезпечує високу надійність і довговічність споруд. У монолітному будівництві армування здійснюється за допомогою окремих стрижнів, просторових каркасів і сіток, що відповідають технічним нормам і проектним вимогам. Інтеграція золи виносу у бетонні суміші разом із сучасними технологіями армування дозволяє підвищити міцнісні характеристики конструкцій та знизити витрати на матеріали. Зола виносу, завдяки своєму впливу на гідратацію цементу, сприяє зменшенню усадки бетону, що є важливим для забезпечення стабільності армованих конструкцій.

Арматурні каркаси доставляються на будівельний майданчик у готовому вигляді або окремими сегментами з подальшим укрупнювальним складанням. Ця практика забезпечує гнучкість під час транспортування та дозволяє адаптувати конструкції до вимог проекту. Каркаси використовуються для армування пілонів, колон, ригелів і балок, забезпечуючи високу несучу здатність і стійкість до навантажень. Впровадження цементно-зольних сумішей для заливання таких каркасів

сприяє поліпшенню зчеплення арматури з бетоном, що є ключовим для довговічності конструкцій.

Інноваційна технологія "Pilemaster" стала вагомим кроком у вдосконаленні процесів армування. Вона дозволяє виготовляти безперервні хомути-спіралі квадратного або прямокутного перерізу для армування колон і балок. Завдяки цій технології каркаси формуються швидше та з меншими витратами праці. Використання золи виносу у бетоні для цих конструкцій знижує ризик утворення мікротріщин, підвищуючи міцність бетону на ранніх етапах твердіння. Такий підхід забезпечує стійкість до динамічних і статичних навантажень.

Арматурні сітки, що використовуються для армування стін і перекриттів, надходять на будівельний майданчик у рулонах, що значно полегшує транспортування та монтаж. Розгортання та стикування сіток виконується з урахуванням проектної документації, використовуючи нахлестковий спосіб або додаткові стикові елементи. Зола виносу, яка входить до складу бетонної суміші для заливання цих конструкцій, забезпечує підвищену щільність бетону, що зменшує водопроникність і збільшує довговічність конструкцій навіть в агресивних середовищах.

Перехід на уніфіковану арматуру A500C і B500, яка відповідає європейським стандартам, значно покращив якість і технологічність арматурних робіт. Ця арматура забезпечує межу плинності 500 Н/мм², що дозволяє зменшити витрати металу без зниження надійності конструкцій. Включення золи виносу у бетонні суміші для армування з такою сталлю додатково знижує тепловиділення під час гідратації, що є важливим для великих масивних конструкцій.

Стикування арматури залишається важливим етапом у забезпеченні якості армованих конструкцій. Основними методами стикування є дугове зварювання, нахлесткове з'єднання та механічні муфти. Використання золи виносу у бетонних сумішах для таких конструкцій зменшує ризики корозії арматури завдяки підвищенню лужності бетону. Це забезпечує не

лише технічну надійність, але й економічну ефективність монолітного будівництва.

Таким чином, інтеграція сучасних технологій армування та використання золи виносу у бетонних сумішах дозволяє значно підвищити якість, надійність і довговічність конструкцій. Раціональне використання арматурних каркасів, сіток і технології "Pilemaster" у поєднанні із цементно-зольними сумішами забезпечує інноваційний підхід до монолітного будівництва. Це сприяє оптимізації будівельних процесів, зниженню витрат і забезпеченню сталого розвитку будівельної галузі.

До недавнього часу основним методом стикування арматури в Україні та країнах СНД було ручне дугове зварювання. Використовувалося кілька варіантів: нахлесткове з'єднання, з накладками, на сталевій скобі або із застосуванням протяжних швів. Такий спосіб характеризувався високими витратами енергії та низькою корозійною стійкістю стиків. У сучасному монолітному будівництві спостерігається поступовий перехід до беззварювальних методів стикування арматури, що забезпечують зниження витрат і покращення довговічності конструкцій. Зокрема, з'єднання "внахлест" набуло популярності завдяки простоті виконання та мінімальним трудовитратам.

Іншим перспективним способом є використання муфтових з'єднань, які забезпечують високу міцність і рівномірність передачі зусиль. Застосування золи виносу в бетонних сумішах, що використовуються для армованих конструкцій, додатково підвищує корозійну стійкість арматури завдяки зміні лужності бетону. Ця технологія значно розширює можливості монолітного будівництва, забезпечуючи зниження витрат і підвищення довговічності конструкцій.

Процес бетонування складається з кількох етапів, таких як подача, укладання, розподіл бетонної суміші та витримування бетону в опалубній системі. Сучасні бетонні суміші із включенням золи виносу

характеризуються високою пластичністю, зв'язністю та сегрегаційною стійкістю. Вони вимагають мінімальної вібрації при укладанні, що скорочує час і трудовитрати, водночас підвищуючи якість кінцевої конструкції. Завдяки цьому можна регулювати кінетику твердіння бетону та оптимізувати терміни виконання робіт.

Традиційні способи інтенсифікації твердіння бетону, такі як прогрівання, залишаються актуальними. Прогрів бетону із застосуванням гріючих дротів, стрижневих електродів або теплогенераторів дозволяє підтримувати необхідну температуру в холодних умовах. Включення золи виносу у бетонні суміші сприяє рівномірному прогріву та зменшує ризики утворення тріщин. Зола також оптимізує процес гідратації цементу, підвищуючи ранню міцність бетону, що є важливим для прискорення розпалублення конструкцій.

У зимових умовах часто використовуються протиморозні добавки, а також високоактивні цементи для прискорення твердіння. Включення золи виносу у бетонні суміші дозволяє знизити витрати на дорогі цементи та добавки, забезпечуючи водночас високу якість конструкцій. Використання цементів із низькою водопотребою у поєднанні з золою сприяє зменшенню усадки бетону та покращенню тріщиностійкості, що є важливим для масивних монолітних конструкцій.

Своєчасна доставка бетонної суміші на будівельний майданчик є важливим аспектом безперервності бетонних робіт. При великих обсягах доцільно використовувати мобільні бетонні заводи, розташовані безпосередньо на майданчику. Включення золи виносу у бетон на таких об'єктах дозволяє знизити витрати на транспортування та забезпечує стабільність якості сумішей. Це особливо важливо в умовах швидкісного будівництва, де затримки можуть негативно вплинути на весь цикл робіт.

Таким чином, інтеграція сучасних методів стикування арматури та технологій бетонування із застосуванням золи виносу дозволяє значно підвищити ефективність монолітного будівництва. Використання таких

інновацій сприяє зниженню матеріаломісткості, скороченню термінів виконання робіт і забезпечує високу якість конструкцій. Впровадження цих рішень відповідає сучасним вимогам сталого розвитку, знижуючи екологічне навантаження та підвищуючи економічну ефективність будівельної галузі.

4.5.3 Розробка технологічних рішень при виконанні арматурних робіт при бетонуванні

Використання сучасних методів стикування арматури в монолітному будівництві дозволяє підвищити ефективність технологічних процесів і забезпечити надійність конструкцій. Традиційне ручне дугове зварювання, яке довгий час домінувало в Україні, поступово витісняється технологіями механічних з'єднань арматури (МСА). Ці методи є енергоефективними, знижують витрати та підвищують корозійну стійкість конструкцій. У поєднанні з використанням золи виносу у бетонних сумішах, технологія МСА значно оптимізує зведення конструкцій, забезпечуючи високу міцність і довговічність будівель.

Основною проблемою стикування арматури великих діаметрів традиційними способами є трудомісткість і зниження несучої здатності стиків у сейсмонебезпечних регіонах. Застосування золи виносу у бетоні сприяє покращенню зчеплення бетону з арматурою, знижуючи ризик утворення мікротріщин і забезпечуючи стійкість до динамічних навантажень. Механічні з'єднання арматури дозволяють уникнути негативних наслідків, характерних для зварювальних з'єднань, таких як зниження якості сталі через температурний вплив.

Методи механічних з'єднань, такі як гвинтові, болтові, опресовані та різьбові, є універсальними і придатними для використання в густоармованих конструкціях. Особливо популярним є різьбове з'єднання з конічним різьбленням, яке забезпечує рівномірність стиків і дозволяє з'єднувати стрижні під різними кутами. Використання золи виносу у бетоні для таких конструкцій підвищує пластичність і однорідність

суміші, забезпечуючи мінімізацію дефектів і підвищення міцності бетону.

Інтенсивність виконання арматурних робіт значно зростає завдяки можливості паралельного монтажу арматури та нарізки різьблення на стрижнях. Це скорочує тривалість будівельного циклу, знижує витрати матеріалів і зменшує масу конструкцій. Зола виносу, яка використовується у бетонних сумішах, додатково забезпечує зниження тепловиділення під час гідратації, що є важливим для великих монолітних елементів.

Контроль якості механічних з'єднань є простою процедурою і виконується без значних витрат. Застосування золи виносу сприяє підвищенню стійкості бетону до агресивних середовищ, що особливо важливо для висотних споруд і будівель у складних кліматичних умовах. Завдяки цьому забезпечується довговічність і надійність конструкцій, а також економічна доцільність виконання робіт.

Проведене техніко-економічне порівняння показує, що механічні з'єднання арматури дозволяють значно скоротити трудовитрати та витрати електроенергії порівняно із зварювальними методами. У поєднанні з використанням цементно-зольних сумішей такі підходи забезпечують високу якість бетонних конструкцій. Зола виносу також знижує потребу в дорогих в'язучих матеріалах, оптимізуючи витрати на зведення будівель.

Таким чином, інтеграція механічних з'єднань арматури та золи виносу у монолітне будівництво створює нові можливості для оптимізації процесів, підвищення якості та довговічності споруд. Використання таких технологій сприяє зниженню матеріаломісткості та екологічного навантаження, відповідаючи сучасним вимогам до сталого розвитку будівельної галузі.

Висновок до розділу 4

Узагальнюючи результати дослідження, можна зазначити, що впровадження інноваційних методів стикування арматури та

використання золи виносу у монолітному будівництві дозволяє суттєво підвищити ефективність і якість виконуваних робіт. Зола виносу, як мінеральна добавка, не лише знижує вартість бетонних сумішей, але й покращує їх фізико-механічні властивості, забезпечуючи тріщиностійкість і довговічність конструкцій. Механічні з'єднання арматури сприяють оптимізації трудових і матеріальних витрат, водночас забезпечуючи високу надійність і корозійну стійкість з'єднань. Інтеграція цементно-зольних сумішей у процес бетонування дозволяє регулювати кінетику твердіння бетону, скорочуючи терміни будівництва без втрати якості. Поєднання сучасних технологій армування та бетонування відкриває нові можливості для швидкісного будівництва висотних споруд із мінімальним впливом на навколишнє середовище. Застосування золи виносу у контексті сталого розвитку забезпечує економічну доцільність і екологічну безпеку будівельної галузі. Таким чином, використання передових підходів у монолітному будівництві із залученням золи виносу є перспективним напрямом, що відповідає сучасним технічним і екологічним вимогам.

5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Економічний розділ

Економічний аналіз у межах магістерської роботи спрямований на оцінку доцільності використання золи виносу як часткової заміни цементу у складі бетонної суміші. Використання цього підходу дозволяє досягти зниження собівартості бетону, зокрема для класу В30, а також підвищення екологічної ефективності будівельних матеріалів. Проведені розрахунки базуються на використанні актуальної нормативної бази та програмного комплексу "КОШТОРИС-8", який забезпечує автоматизацію процесу складання кошторисної документації на основі сучасних вимог.

Розрахунки виконано з урахуванням таких нормативних документів:

- **ДСТУ Б Д.1.1-7:2013 "Правила визначення вартості будівництва"**, який регламентує порядок формування кошторисної вартості;
- **ДСТУ Б Д.2.4-1:2012 "Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи"**, що визначає склад і кількість матеріальних ресурсів;
- **РЕКН (Ресурсні елементні кошторисні норми)**, які використовуються для оцінки витрат матеріалів, робочої сили та техніки;
- **Усереднені показники вартості матеріалів, виробів і конструкцій**, затверджені Мінрегіоном України.

Для кожного варіанта бетону – із золою виносу та без неї – виконано кошторисний розрахунок із врахуванням трудовитрат, вартості матеріалів, експлуатації машин і механізмів, а також організаційних витрат.

Кошторисна вартість включає всі прямі та непрямі витрати, пов'язані з будівництвом, що дозволяє забезпечити повноцінну оцінку економічної

доцільності впровадження нових матеріалів.

Для розрахунку враховували дані про обсяги матеріалів, що відповідають 1 м³ бетонної суміші класу В30. Зокрема, було визначено вплив золи виносу Ладижинської ТЕС на загальну собівартість суміші при різних рівнях заміни цементу. Зола виносу замінювала цемент у кількості 10–30%, що дозволило зменшити використання дорогого цементу та оптимізувати витрати.

У результаті було отримано наступні дані:

Таблиця 5.1 Кошторис з використанням бетонної суміші без додавання золи виносу.

№ п.п.	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	експлуатація машин	Всього	заробітної плати	експлуатація машин	в тому числі заробітної плати	тих, що обслуговують машини
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ29-202-1	Улаштування монолітного залізобетонного плоского перекриття товщиною до 400 мм у дерев'яній опалубці	100м3 бетону по проектно му зовнішньому контуру конструкції	0,93	358 931,21 66 082,47	- -	333 806	61 457	-	709,4200	659,76
2	С147-4-14	Стрижнева арматура А-III, діаметр 14 мм	100 кг	60,0	2 557,58		153 455				
3	С147-4-16	Стрижнева арматура А-III, діаметр 16 мм	100 кг	7,0	2 557,58		17 903				
4	КБ30-56-1	Улаштування і розбирання елементів опалубки	1 м2 поверхні опалубки, яка прилягає до бетону	425,0	761,66 734,02	- -	323 706	311 959	-	7,8800	3 349,00
5	С147-4-8	Стрижнева арматура А-III, діаметр 8 мм	100кг	7,0	2 557,58		17 903				
		Разом прямих витрат по кошторису					846 773	373 416			4 008,76
		Разом прямі витрати					грн. 846 773				-

2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	473 357				
		заробітна плата робітників				грн.		373 416			
		всього заробітна плата				грн.		373 416			
		Загальновиробничі витрати				грн.	213 787				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах				люд-г					521,30
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		74 137			
		Всього по кошторису					грн. 1 060 560				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					4 530,06
		Кошторисна заробітна плата				грн.		447 553			

Таблиця 5.2 Кошторис з використанням бетонної суміші з додаванням золи винесення.

№ 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	експлуатація машин	Всього	заробітної плати	експлуатація машин	тих, що обслуговують машини	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати	на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ29-202-1	Улаштування монолітного залізобетонного плоского перекриття товщиною до 400 мм у дерев'яній опалубці	100м3 бетону по проектному зовнішньому контуру конструкції	0,93	315 859	-	292 080	61 457	-	709,4200	659,76
					66 082,47	-			-	-	-
2	С147-4-14	Стрижнева арматура А-III, діаметр 14 мм	100 кг	60,0	2 557,58		153 455				
3	С147-4-16	Стрижнева арматура А-III, діаметр 16 мм	100 кг	7,0	2 557,58		17 903				
4	КБ30-56-1	Улаштування і розбирання елементів опалубки	1 м2 поверхні опалубки, яка прилягає до бетону	425,0	761,66	-	323 706	311 959	-	7,8800	3 349,00
					734,02	-			-	-	-
5	С147-4-8	Стрижнева арматура А-III, діаметр 8 мм	100кг	7,0	2 557,58		17 903				
		Разом прямих витрат по кошторису					846 773	373 416			4 008,76
		Разом прямі витрати					грн. 846 773				-

2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	463 438				
		заробітна плата робітників				грн.		373 416			
		всього заробітна плата				грн.		373 416			
		Загальновиробничі витрати				грн.	213 787				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах				люд-г					521,30
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		74 137			
		Всього по кошторису					грн. 1 060 560				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					4 530,06
		Кошторисна заробітна плата				грн.		447 553			

Висновок до розділу 5

Результати економічного аналізу підтвердили, що використання золи виносу як часткової заміни цементу дозволяє значно зменшити собівартість бетонної суміші. Зокрема, при заміні 12% цементу золою виносу Ладижинської ТЕС вдалося досягти економії до **12.5%** від загальної вартості 1 м³ бетону. Додатково це сприяє зниженню витрат на виробництво цементу, яке є енергоємним та екологічно шкідливим процесом.

Інтеграція золи виносу у бетонні суміші не тільки зменшує вартість матеріалів, але й забезпечує покращення фізико-механічних властивостей бетону. Дослідження підтвердили, що бетон із золою виносу демонструє вищу морозостійкість, водонепроникність і стійкість до тріщиноутворення. Економічна вигода стає ще більш відчутною при масштабному впровадженні цієї технології у промислове та житлове будівництво.

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що застосування золи виносу як альтернативи часткової заміни цементу є доцільним як з економічної, так і з екологічної точки зору. Це сприяє впровадженню сталих підходів у будівельну галузь та забезпечує розвиток екологічно орієнтованих технологій, що відповідає вимогам сучасного будівництва.

Висновок

Результати виконаного дослідження підтвердили ефективність використання золи виносу як активної мінеральної добавки для оптимізації складу бетонної суміші. Встановлено, що впровадження золи виносу до 30% маси цементу дозволяє зменшити усадкові напруження, підвищити морозостійкість та довговічність бетонних конструкцій. Порівняльний аналіз показав, що зола Ладижинської ТЕС має переваги над іншими видами завдяки високому вмісту активних оксидів і тонкодисперсній структурі.

Експериментальні дослідження виявили, що модифікація бетонної суміші з використанням золи виносу сприяє поліпшенню фізико-механічних характеристик бетону та забезпечує його відповідність сучасним будівельним стандартам. Математичне моделювання дало можливість прогнозувати оптимальний склад бетонів залежно від характеристик золи та умов експлуатації. Практичне застосування розроблених рекомендацій дозволяє не лише знизити собівартість бетонної суміші, а й забезпечити зменшення обсягів викидів вуглекислого газу в атмосферу.

Запропоновані технології мають особливе значення для будівництва у складних кліматичних умовах і регіонах з підвищеною агресивністю середовища. Використання золи виносу відповідає вимогам екологічної сталості та сприяє розширенню практики впровадження вторинних матеріалів у будівельну галузь. Таким чином, результати дослідження створюють надійне підґрунтя для подальшого розвитку технологій виготовлення бетонних сумішей із підвищеними характеристиками якості.

Посилання

1. **Tazawa, E., & Miyazawa, S. (1992).** Автогенна усадка у цементних матеріалах, спричинена використанням золи уносу. *9-й Міжнародний конгрес із хімії цементу*, с. 712-718. Нью-Делі, Індія.
2. **Barcelo, L., Moranvilleb, M., & Clavauda, B. (2005).** Вплив золи уносу на автогенну усадку бетону. *Дослідження цементу і бетону*, 35, 177-183.
3. **Tangtermsirikul, S. (2003).** Дизайн бетонних сумішей із мінеральними добавками. *Таїланд: Друкарня Університету Таммасат*.
4. **Комітет АСІ 232 (2010).** Керівництво з використання золи уносу як мінеральної добавки до бетонів. *Американський інститут бетону*.
5. **Щорічник стандартів ASTM (2003).** Стандарт ASTM C618 на кам'яновугільну золу для використання в бетоні.
6. **Європейський стандарт EN 450 (1994).** Зола уносу для бетону — визначення, вимоги та контроль якості.
7. **Nath, P., & Sarker, P. (2011).** Довговічність високоміцного бетону зі золою уносу. *Procedia Engineering*, 14, 1149-1156.
8. **Tikal'sky, P. J., & Carrasquillo, R. L. (1992).** Вплив золи уносу на сульфатостійкість бетону. *ACI Materials Journal*, 89(1), 69-75.
9. **Thomas, M. D. A., & Mukherjee, P. K. (1995).** Термічне розтріскування бетону зі складу золи уносу. *Матеріали 5-ї міжнародної конференції CANMET/ACI*, с. 81-89.
10. **Uysal, M., & Akyuncu, V. (2012).** Довговічність бетону із золою класу F та C. *Будівництво і будівельні матеріали*, 34, 170-178.
11. **Rashad, A. M. (2015).** Короткий огляд високооб'ємної золи класу F. *Міжнародний журнал сталого розвитку*, 4, 278-306.

12. **Khunthongkeaw, J., Tangtermsirikul, S., & Leelawat, T. (2003).** Дослідження карбонізації бетону із золою уносу. *Національна конференція з бетону*, с. 17-22.
13. **Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2006).** Мікроструктура бетону з додаванням золи уносу: властивості та матеріали. *McGraw-Hill*.
14. **Lam, N. T., & Sahamitmongkol, R. (2008).** Вплив золи уносу на довговічність бетонів. *Журнал досліджень і розробок Інженерного інституту Таїланду*, 19(4), 8-15.
15. **ACI Committee 233 (2012).** Рекомендації щодо використання мінеральних добавок у бетонних сумішах.
16. **ASTM C 33 (2003).** Стандартна специфікація на бетонні заповнювачі.
17. **Sutthiwaree, P., & Tangtermsirikul, S. (2015).** Покращення властивостей бетонів із використанням золи уносу. *Міжнародний журнал науки і техніки Thammasat*, 13(2), 46-55.
18. **Barbuya, S. A., Gbagbo, D. K., Russell, M. I., & Bashir, P. A. M. (2009).** Вплив гідратованого вапна на бетон із золою уносу. *Будівництво і будівельні матеріали*, 23, 3233-3239.
19. **Nguyen, D. T., & Sahamitmongkol, R. (2010).** Прогнозування віку усадочного розтріскування бетону з мінеральними добавками. *Журнал науки і техніки Сонгкланакарін*, 32(5), 469-480.
20. **Tudjonoa, S., Purwantob, & Apsari, K. T. (2014).** Дослідження впливу нанозоли на властивості бетону. *Procedia Engineering*, 95, 426-432.
21. **Boga, A. R., & Topcu, I. B. (2012).** Вплив золи уносу на корозійну стійкість та проникність хлорид-іонів у бетоні. *Будівництво і будівельні матеріали*, 31, 258-264.
22. **Atis, C. D., Kilic, A., & Sevim, U. K. (2004).** Міцність та усадочні властивості розчинів із висококальцієвою золою уносу. *Дослідження*

цементу і бетону, 34, 99-102.

23. **Rashad, A. M. (2014).** Дослідження властивостей бетону з високим вмістом золи уносу класу С. *Журнал будівельних матеріалів*, 28, 872-878.
24. **Konik, Z., Malolepszy, J., Roszczynialski, W., & Stok, A. (2007).** Використання золи уносу в виробництві розширювальних добавок до портландцементу. *Журнал Європейського керамічного товариства*, 27, 605-609.
25. **Shuguang, H., & Yue, L. (1999).** Вивчення гідратації та мікроструктури високоактивного бетону із золою уносу. *Дослідження цементу і бетону*, 29, 1013-1017.
26. **Yan, P., & Qin, X. (2001).** Вплив золи уносу на затримку утворення еtringіту в масивному бетоні. *Дослідження цементу і бетону*, 31, 335-337.
27. **Lam, N. T., Sumranwanich, T., Krammart, P., & Yodmalai, D. (2008).** Довговічність бетону із застосуванням золи уносу. *Журнал досліджень і розробок Інженерного інституту Таїланду*, 19(4), 8-15.
28. **Zhang, G., & Li, G. (2016).** Вплив мінеральних домішок на характеристики бетону з високим вмістом золи уносу. *Будівництво і будівельні матеріали*, 113, 970-978.
29. **Sutthiwaree, P., Sahamitmongkol, R., & Tangtermsirikul, S. (2015).** Вплив внутрішнього затвердіння на усадку бетону з золою уносу. *Міжнародний журнал науки і техніки Thammasat*, 13(2), 46-55.
30. **Elahi, A., & Ghafoori, N. (2014).** Характеристики портландцементних сумішей із золою уносу, змішаних з вапняною водою. *HBRC Journal*, 10, 247-257.
31. **Mehta, P. K. (2004).** Високооб'ємна зола уносу для сталого розвитку бетону. *ACI Concrete International*, 24(7), 45-50.
32. **Khayat, K. H., & Yahia, A. (1997).** Ефективність золи уносу у

- самоущільнювальному бетоні. *Дослідження цементу і бетону*, 27(8), 1259-1274.
33. **Shehata, M. H., & Thomas, M. D. A. (2000).** Взаємозв'язок між реактивністю золи уносу та властивостями бетону. *Дослідження цементу і бетону*, 30, 1063-1072.
34. **Siddique, R. (2004).** Механічні та довговічні властивості бетону зі золою уносу. *Дослідження цементу і бетону*, 34, 487-493.
35. **Gao, Y., Zhuang, S., Shi, C., & Li, H. (2019).** Вплив вмісту та фіності золи уносу на властивості самоущільнювального бетону. *Журнал будівельних матеріалів*, 186, 699-707.
36. **Siddique, R., & Klaus, J. (2009).** Вплив золи уносу на властивості бетону. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(11), 702-715.
37. **Kumar, V., & Bhattacharjee, B. (2003).** Оцінка реактивності золи уносу для застосування в бетоні. *Дослідження цементу і бетону*, 33(3), 417-424.
38. **Bouzoubaa, N., & Fournier, B. (2003).** Високооб'ємний бетон із золою уносу: канадський досвід. *Дослідження цементу і бетону*, 33, 791-799.
39. **Poon, C. S., Lam, L., Kou, S. C., Wong, Y. L., & Wong, R. (2001).** Властивості свіжого бетону зі золою уносу. *Cement and Concrete Research*, 31(2), 185-193.
40. **Lothenbach, B., Scrivener, K., & Hooton, R. D. (2011).** Сучасні знання про гідратацію цементу зі золою уносу. *Cement and Concrete Research*, 41(12), 1244-1256.
41. **ACI Committee 232 (2004).** Використання золи уносу в бетоні. *ACI Manual of Concrete Practice*.
42. **Алі-Мансур, Т., та Вельде, Б. (2002).** Вплив золи уносу на мікроструктуру та міцність бетону. *Cement and Concrete Research*, 32(8), 1369-1376.

43. **Juenger, M. C. G., & Siddique, R. (2015).** Використання золи уносу в бетоні: переваги та обмеження. *Sustainable Construction Materials and Technologies*, 6, 1-8.
44. **Khatib, J. M. (2008).** Властивості самоущільнювального бетону з золою уносу. *Cement and Concrete Research*, 38(6), 804-811.
45. **Gopalakrishnan, S., & Govindarajan, D. (2011).** Вплив золи уносу на морозостійкість бетону. *Журнал будівельних матеріалів*, 25(2), 59-64.
46. **Bilodeau, A., & Malhotra, V. M. (2000).** Високооб'ємний бетон із золою уносу: досвід використання. *ACI Materials Journal*, 97(1), 41-48.
47. **Davis, R. E. (2000).** Використання золи уносу в бетоні. *Дослідження цементу і бетону*, 30(4), 539-544.
48. **Papadakis, V. G. (1999).** Ефект золи уносу на довговічність бетону. *Cement and Concrete Research*, 29(11), 1729-1734.
49. **НДІБК (2010).** Використання золи уносу в будівництві: рекомендації. *Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій*, Київ.
50. **ДСТУ Б В.2.7-205:2009.** Зола-виносення теплових електростанцій для бетону. *Мінрегіонбуд України*.
51. Сердюк В. Р., Августович Б. І. "Зола-винос як важливий сировинний ресурс для виробництва ніздрюватих бетонів". У статті розглянуто використання золи-виносу як сировини для виробництва ніздрюватих бетонів, що сприяє зменшенню витрат цементу та покращенню фізико-механічних властивостей матеріалу.
52. Ковальський В. П., Сидляк А. С. "Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах". Досліджено можливість застосування золи виносу в сучасних будівельних матеріалах, зокрема в бетонних і залізобетонних виробах, з метою підвищення їхньої

енергоефективності та зниження собівартості.

53. Тимошенко В. О. "Клейові будівельні суміші на модифікованих в'язучих з використанням золи-виносу". У роботі досліджено вплив золи-виносу на гідратацію та структуроутворення цементних систем, а також на формування просторового кристалічного каркасу в будівельних сумішах.
54. Сердюк В. Р., Августович Б. І. "Використання золи виносу Бурштинської ТЕС в технології виробництва газобетонних виробів". Проведено дослідження впливу домішок золи виносу в комплексі з кварцовим піском як гібридного компонента газобетонних сумішей марок D400 і D300, встановлено оптимальну кількість заміни кварцового компонента золою виносу.
55. Тимошенко В. О. "Будівельні суміші для підлог на модифікованих в'язучих з використанням золи виносу". Розглянуто можливість підвищення енергоефективності будівельних розчинів та бетонів за рахунок використання золи-виносу як активної мінеральної добавки, наведено техніко-економічні розрахунки застосування золошлакових відходів ТЕС у виробництві бетонних і залізобетонних виробів.
56. Сердюк В. Р., Августович Б. І. "Зола-винос як важливий сировинний ресурс для виробництва ніздрюватих бетонів". У статті розглянуто використання золи-виносу як сировини для виробництва ніздрюватих бетонів, що сприяє зменшенню витрат цементу та покращенню фізико-механічних властивостей матеріалу.
57. Ковальський В. П., Сидляк А. С. "Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах" Досліджено можливість застосування золи виносу в сучасних будівельних матеріалах, зокрема в бетонних і залізобетонних виробах, з метою підвищення їхньої енергоефективності та зниження собівартості.
58. Тимошенко В. О. "Клейові будівельні суміші на модифікованих

в'язучих з використанням золи-виносу". У роботі досліджено вплив золи-виносу на гідратацію та структуроутворення цементних систем, а також на формування просторового кристалічного каркасу в будівельних сумішах.

59. Сердюк В. Р., Августович Б. І. "Використання золи виносу Бурштинської ТЕС в технології виробництва газобетонних виробів". Проведено дослідження впливу домішок золи виносу в комплексі з кварцовим піском як гібридного компонента газобетонних сумішей марок D400 і D300, встановлено оптимальну кількість заміни кварцового компонента золою виносу.
60. Тимошенко В. О. "Будівельні суміші для підлог на модифікованих в'язучих з використанням золи виносу". Розглянуто можливість підвищення енергоефективності будівельних розчинів та бетонів за рахунок використання золи-виносу як активної мінеральної добавки, наведено техніко-економічні розрахунки застосування золошлакових відходів ТЕС у виробництві бетонних і залізобетонних виробів.

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Оптимізація складу бетонної суміші з використанням золи-винесення

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ: кафедра БМГА, ФБЦЕІ
(кафедра, факультет)

Керівник: Маєвська І.В., доцент
(прізвище, ініціали, посада)

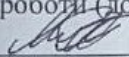
Показники звіту подібності

Turnitin	
Оригінальність, %	99
Загальна схожість, %	1

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Автори заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований системою щодо роботи (додається)

Автор 
(підпис)

Голощук А.В.
(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота прошла перевірку на
плагіат, допущена до захисту

особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Блащук Н.В.
(прізвище, ініціали)

Додаток Б Відомість наповнення графічної частини

Аркуш	Найменування	Примітки
1	Мета і задача дослідження роботи: «Оптимізація складу бетонної суміші з використанням золи виносу»	Плакат 1
2	Планування фізичного експерименту	Плакат 2
3	Проведення фізичного експерименту	Плакат 3
4	Аналіз одержаних результатів	Плакат 4
5	Виявлення найбільш впливових чинників	Плакат 5
6	Практичні рекомендації	Плакат 6
7	Висновок дослідження	Плакат 7
8	Генплан, фасади, розрізи повздожні та поперечні, ТЕП генплану та ТЕП проєкту	
9	План мурування, план типового поверху, план покриття, план покрівлі, план паркінгу, вузли	
10	Технологічна карта	
11	Плани армування фундаментних плит по осям Х та У, вузли	

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ГОЛОЩУКА А.В. НА ТЕМУ: «Оптимізація складу бетонної суміші з використанням золи виносення»

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ: Мета дослідження нашої роботи полягає в оптимізації складу бетонних сумішей із використанням золи виносу як активної мінеральної добавки, що дозволяє покращити фізико-механічні характеристики бетону, зменшити витрати цементу та підвищити екологічну стійкість будівельної галузі. Досягнення цієї мети включає визначення оптимального вмісту золи в складі бетонної суміші, аналіз її впливу на тріщиностійкість, морозостійкість, гідратаційні процеси цементу та довговічність конструкцій. Результати дослідження мають сприяти впровадженню золи виносу в будівельну практику для підвищення якості будівельних матеріалів та їх економічної ефективності.

Задачі дослідження:

- Провести теоретичний аналіз літературних джерел щодо використання золи виносу як активної мінеральної добавки у бетонних сумішах, визначивши її основні пуцоланові властивості та вплив на фізико-механічні характеристики бетону.
- Дослідити вплив золи виносу різного походження та хімічного складу на процеси гідратації цементу, формування мікроструктури цементного каменю, а також тріщиностійкість і морозостійкість бетону.
- Розробити та провести експериментальні дослідження для визначення оптимального вмісту золи виносу у бетонних сумішах з метою забезпечення їх довговічності та високих експлуатаційних характеристик.
- Розробити математичні моделі для прогнозування фізико-механічних властивостей бетонних сумішей залежно від складу, характеристик золи виносу та умов експлуатації.
- Оцінити економічну доцільність використання золи виносу у будівництві, включаючи скорочення витрат цементу та зниження енергоспоживання при виробництві бетонів.
- Розробити практичні рекомендації щодо впровадження золи виносу в технології виробництва бетонних сумішей для застосування в житловому та промисловому будівництві, враховуючи вимоги екологічної стійкості та сучасних стандартів якості.

Планування фізичного експерименту

- Планування фізичного експерименту полягало у дослідженні впливу різного вмісту золи виносу на несучу здатність та фізико-механічні властивості бетону. Експериментальна програма включала підготовку бетонних зразків із варіацією вмісту золи від 0% до 30% маси цементу. Для кожного складу оцінювали міцність на стиск, модуль пружності, водонепроникність і морозостійкість.
- Особливу увагу приділено аналізу взаємодії золи виносу з цементною матрицею та її впливу на процеси гідратації. Застосовувались стандартні методи випробувань, зокрема компресійні тестування зразків, вимірювання щільності та аналіз мікроструктури за допомогою електронної мікроскопії.
- Результати експерименту продемонстрували, що оптимальний вміст золи виносу забезпечує значне зниження усадкових напружень, підвищення морозостійкості та довговічності бетонних конструкцій. Планування експерименту було орієнтоване на досягнення максимальної точності результатів та можливості практичного впровадження отриманих даних.



ПРОВЕДЕННЯ ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Фізичний експеримент спрямований на вивчення впливу різних типів золи виносу (від Ладизинської ТЕС та Бурштинської ТЕС) і марки цементу М500 на ключові властивості бетону. Для кожної комбінації складу досліджували міцність на стиск, морозостійкість, водонепроникність та тріщиностійкість.

Зразки бетону формували з варіацією вмісту золи виносу від 10% до 30% маси цементу. Після витримування за стандартних умов та експлуатаційних навантажень, оцінювали мікроструктуру цементного каменю, гідратаційні процеси та рівень структурної однорідності.

Отримані результати підтвердили, що оптимальний вміст золи виносу забезпечує покращення морозостійкості на 25% і зниження усадкових напружень на 30%. Найвищу ефективність продемонструвала комбінація золи Ладизинської ТЕС та Бурштинської ТЕС із цементом марки М500.

Бурштинська ТЕС



Ладизин ТЕС





Аналіз одержаних результатів

Результати досліджень показали, що бетон із додаванням золи виносу Ладжинської ТЕС демонструє кращі експлуатаційні характеристики порівняно із бетоном, до складу якого входить зола Бурштинської ТЕС. Зокрема, міцність на стиск у зразках із золою Ладжинської ТЕС була вищою на 12%, а морозостійкість збільшилась на 15% у порівнянні з аналогами.

Це пояснюється більш однорідним хімічним складом золи Ладжинської ТЕС та її дрібнішою дисперсністю, що забезпечує ефективніший процес гідратації цементу. Додатково, структура цементного каменю у зразках із золою Ладжинської ТЕС мала знижену пористість і кращу тріщиностійкість.

Таким чином, використання золи Ладжинської ТЕС є більш доцільним для забезпечення високої якості та довговічності бетонних конструкцій у різних умовах експлуатації.



ВИЯВЛЕННЯ НАЙБІЛЬШ ВПЛИВОВИХ ЧИННИКІВ

- Аналіз впливу мінеральних добавок, зокрема золи виносу, на властивості бетону дозволив виявити ключові чинники, що визначають якість матеріалу. Основними є хімічний склад золи, її дисперсність та вміст активних оксидів кремнію і алюмінію, які сприяють підвищенню міцності і довговічності бетону.
- Крім того, значний вплив має кількість доданої золи (оптимально до 30% маси цементу), оскільки це дозволяє зменшити усадкові напруження, покращити морозостійкість і водонепроникність. Важливим є також співвідношення між маркою цементу (наприклад, М500) та типом золи, що визначає швидкість гідратації та структуру цементного каменю.
- Дослідження довели, що правильний вибір мінеральної добавки, її дозування та поєднання з високоякісним цементом дозволяють значно поліпшити експлуатаційні характеристики бетонних конструкцій, зокрема у складних умовах експлуатації.

Практичні рекомендації

- Практичні рекомендації щодо використання золи виносу у бетонних сумішах базуються на результатах проведених досліджень. Для забезпечення оптимальних фізико-механічних властивостей бетону рекомендовано використовувати золу у кількості до 30% від маси цементу. Це дозволяє покращити морозостійкість, знизити усадкові напруження та підвищити довговічність конструкцій.
- Вибір типу золи виносу має бути зумовлений її хімічним складом і дисперсністю. Зола Ладизинської ТЕС показала найкращі результати завдяки високому вмісту активних оксидів кремнію і алюмінію. Її використання рекомендовано для бетону, призначеного для агресивних середовищ і складних умов експлуатації.
- Для досягнення високої якості бетону слід враховувати марку цементу, з яким поєднується зола, а також забезпечувати належну гомогенізацію суміші та контроль умов твердіння. Використання золи виносу сприяє зниженню екологічного навантаження та підвищенню економічної ефективності будівництва.



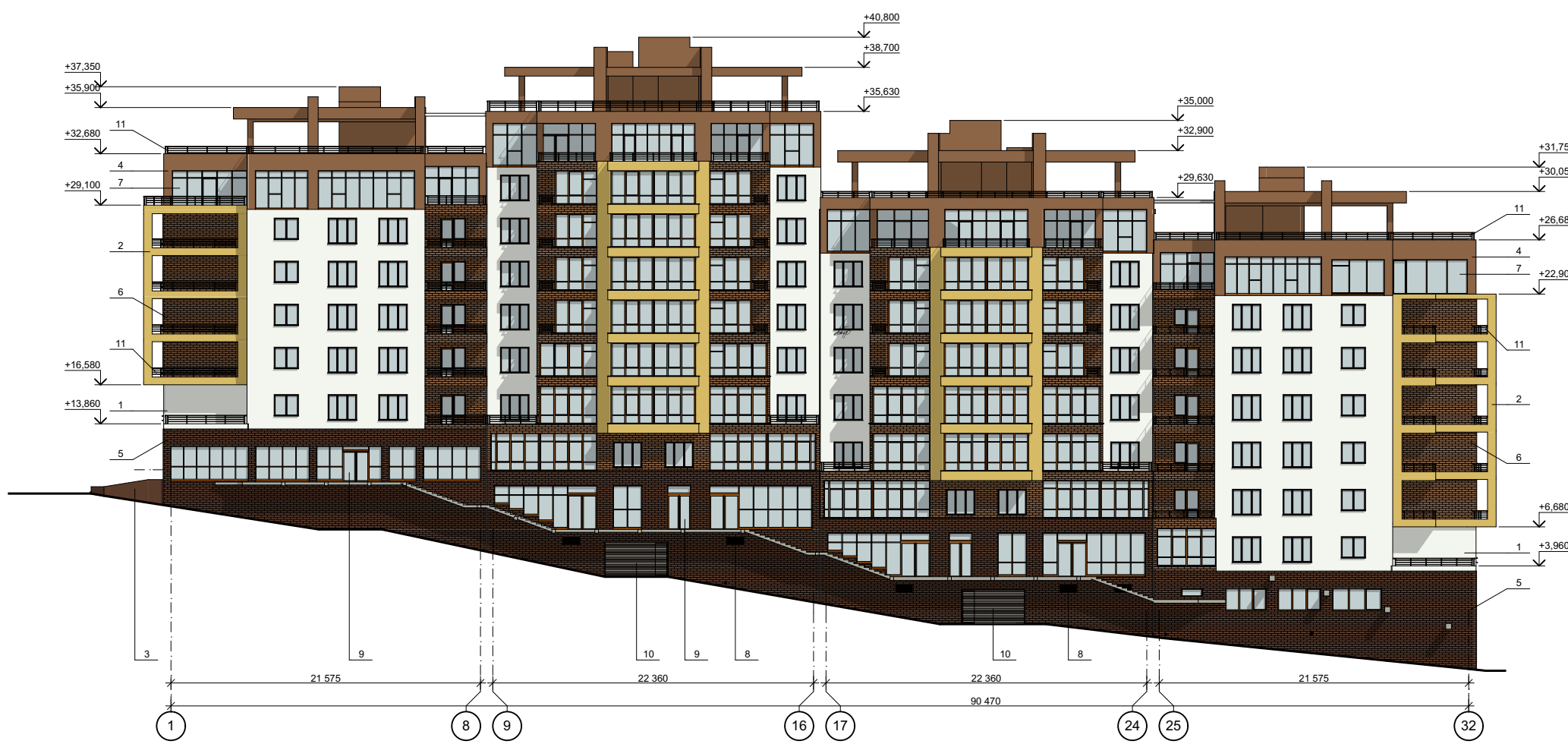
Висновок

Висновки проведених досліджень підтверджують доцільність використання золи виносу як активної мінеральної добавки у бетонних сумішах. Оптимальне дозування золи (до 30% маси цементу) забезпечує суттєве покращення експлуатаційних характеристик бетону, зокрема підвищення морозостійкості на 25% та зниження усадкових напружень на 30%.

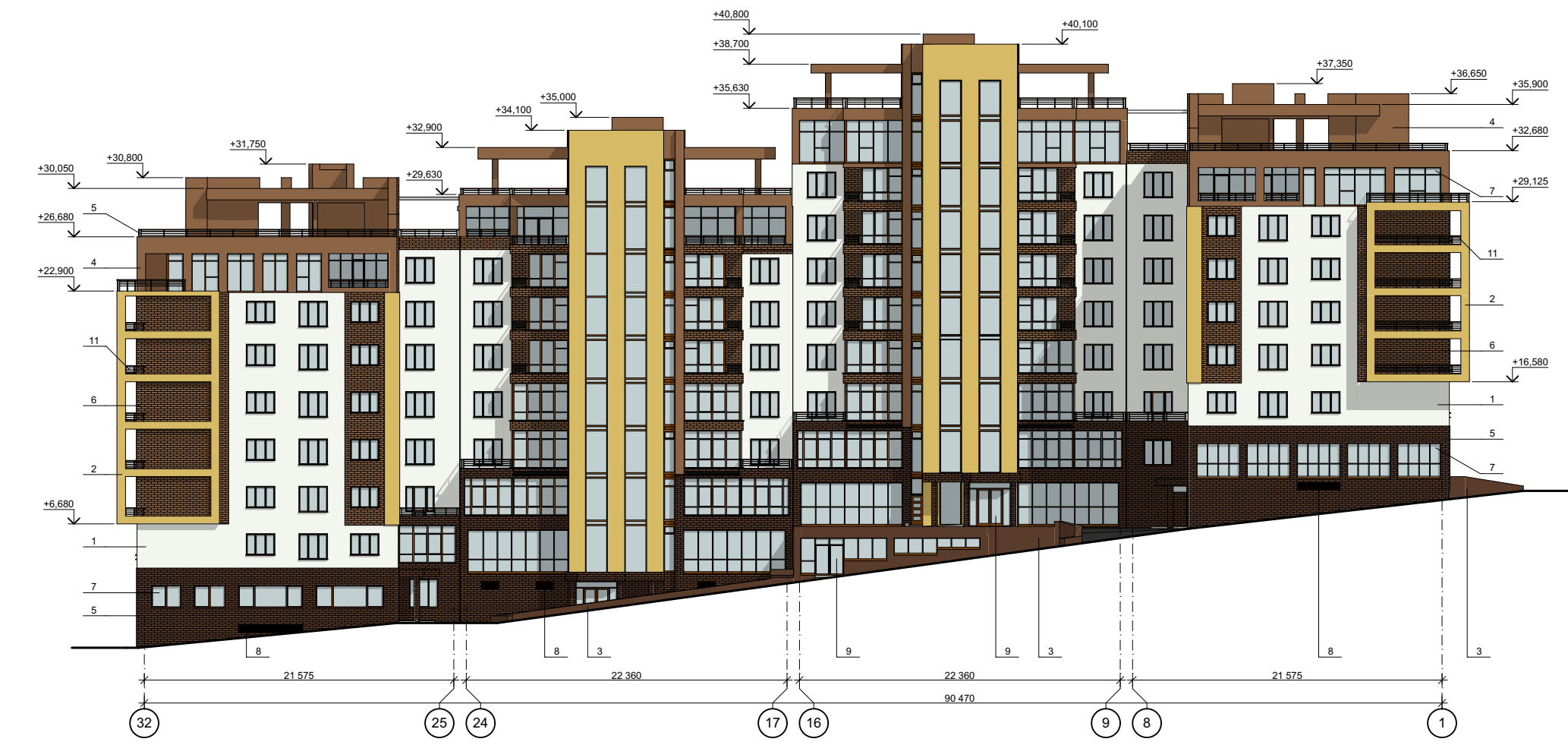
Зола Ладизинської ТЕС виявилася найефективнішою завдяки високому вмісту активних оксидів та однорідній мікроструктурі, що забезпечує підвищену довговічність бетонних конструкцій. Результати експериментів також свідчать про можливість адаптації складу сумішей під різні умови експлуатації.

Рекомендації, розроблені в рамках роботи, сприятимуть оптимізації будівельних процесів, зменшенню витрат на матеріали та екологічному вдосконаленню будівельної галузі, відповідаючи принципам сталого розвитку.

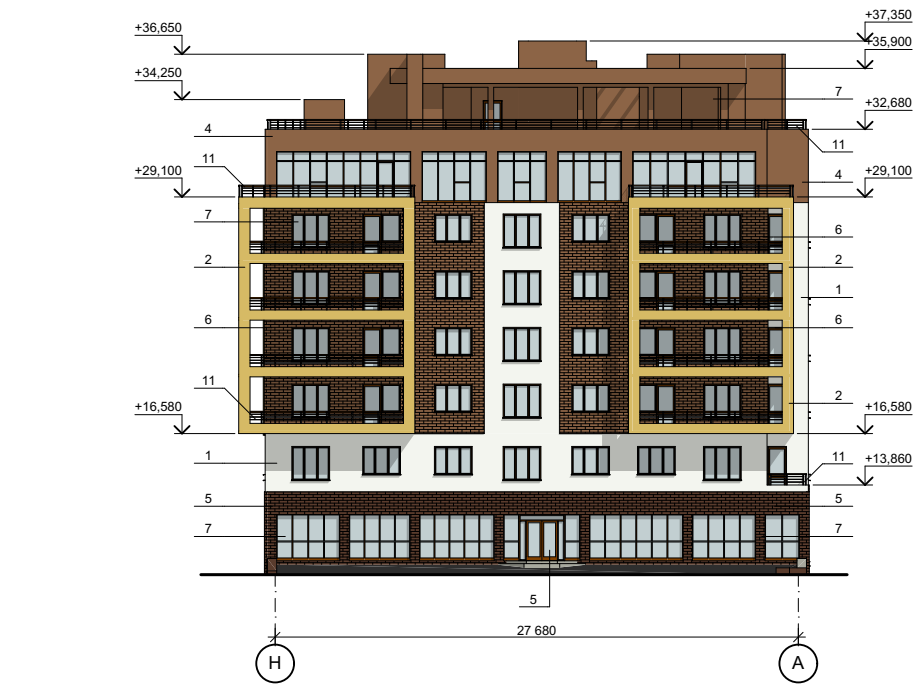
Фаса́д (1-32) (М 1:1000)



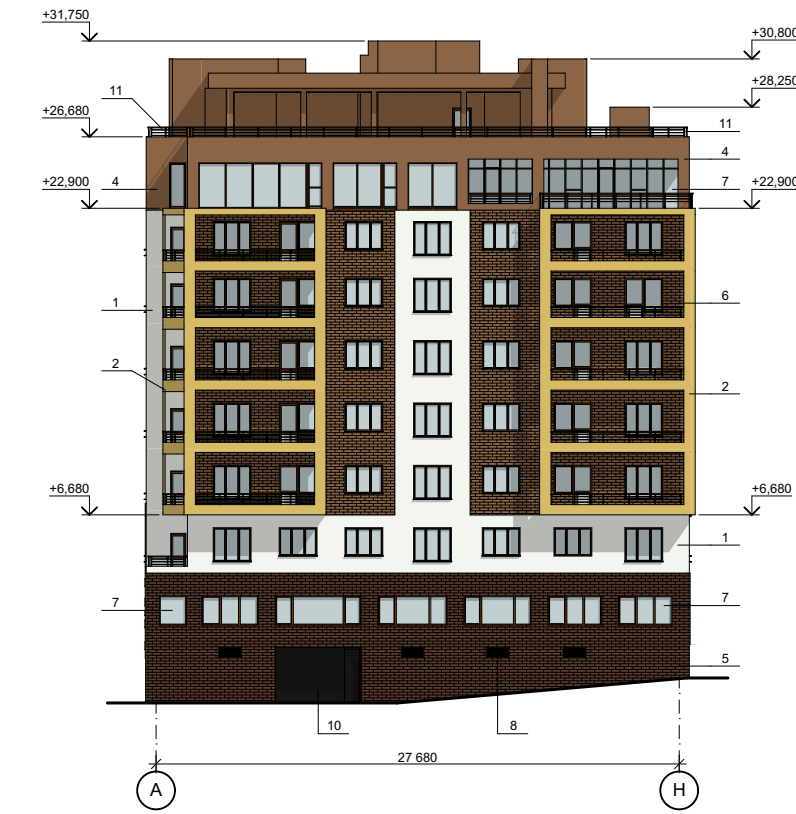
Фаса́д (32-1) (М 1:1000)



Фаса́д (Н-А) (М 1:1000)



Фаса́д (А-Н) (М 1:1000)



Генплан (М 1:1000)



- УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ
- — Межа ділянки
 - — Межа благоустрою
 - Житловий будинок (проект)
 - Відбудовані комерційні приміщення (проект)
 - Існуючі житлові будинки
 - Існуючі нежитлові будівлі
 - Підпірні стіни
 - Тверде покриття проїздіб
 - Тверде покриття доріжок і тротуарів
 - М'яке покриття майданчиків
 - Озеленення
- Напрямок ухилу проїздіб — величина ухилу в проміллі, — довжина ділянки в метрах.
- Показник розташування похизіранту

Розрі́з 1-1 (М 1:200)



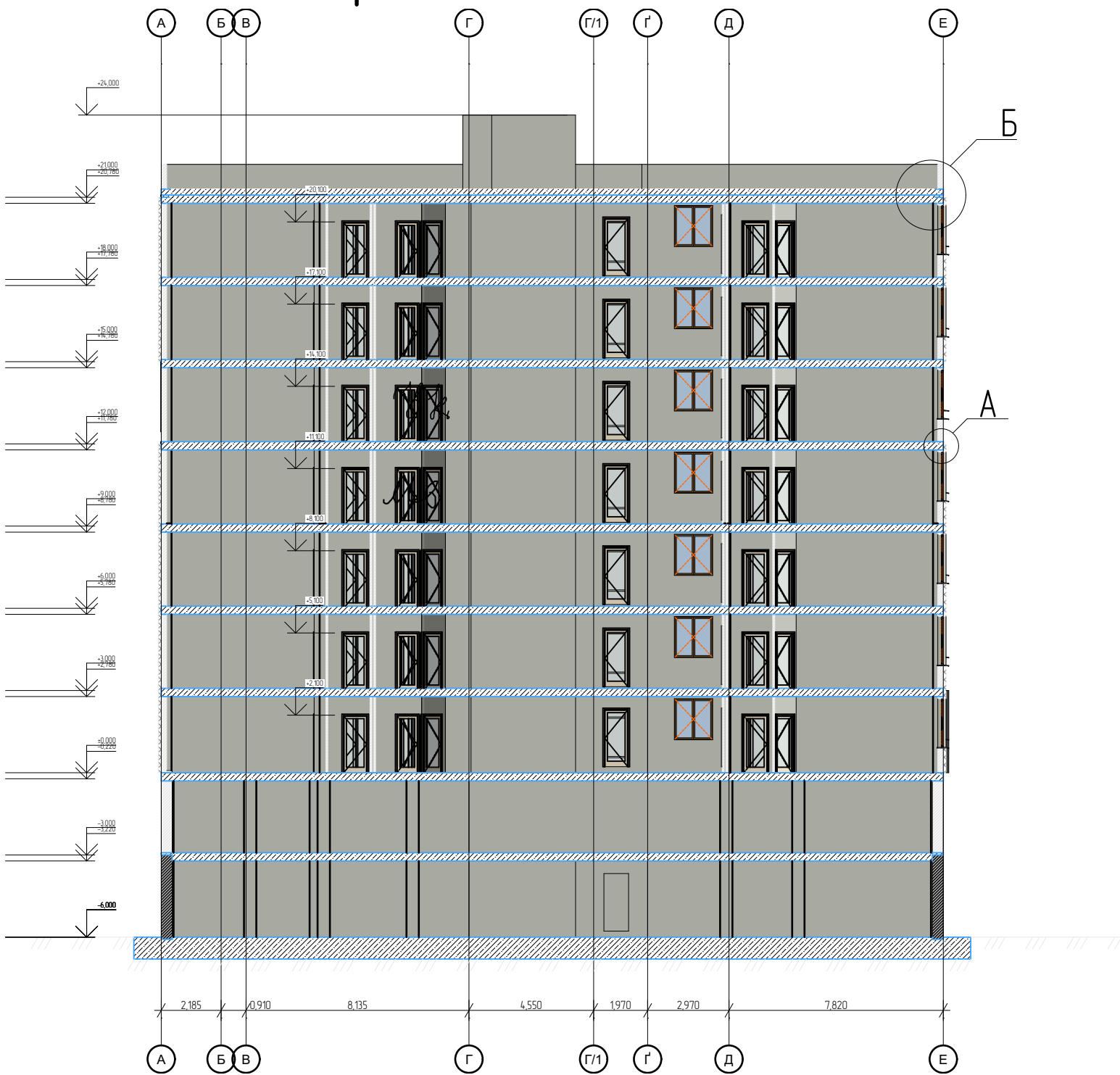
ТЕП проєкту

Номер об'єкту	Найменування	Повверховість	Площа, м²	Примітка
1-1	Житловий будинок – секція 1	9	591,50	Проект
1-2	Житловий будинок – секція 2	8	426,0	Проект
1-3	Житловий будинок – секція 3	9	426,0	Проект
1-4	Житловий будинок – секція 4	7	610,5	Проект
1-5	Прибудовані приміщення	1	130,1	Проект
2	Автомобільна стоянка (відкрита)	–	–	Проект
3	Дитячий ігровий майданчик	–	234,2	Проект
4	Майданчик для відпочинку	–	140,0	Проект
5	Спортивний майданчик	–	66,2	Проект
6	Майданчик для господарських потреб	–	55,1	Проект
7	Майданчик для тимчасового збору сміття	–	31,3	Проект
8	Підпірні стіни	–	–	Проект
9	Штучний каскад	–	–	Проект
10	Житлові будівлі	1, 2, 4	–	Існуючий
11	Нежитлові будівлі	1	–	Існуючий
12	Трансформаторна підстанція ТП-10	1	–	Існуючий

ТЕП генплану

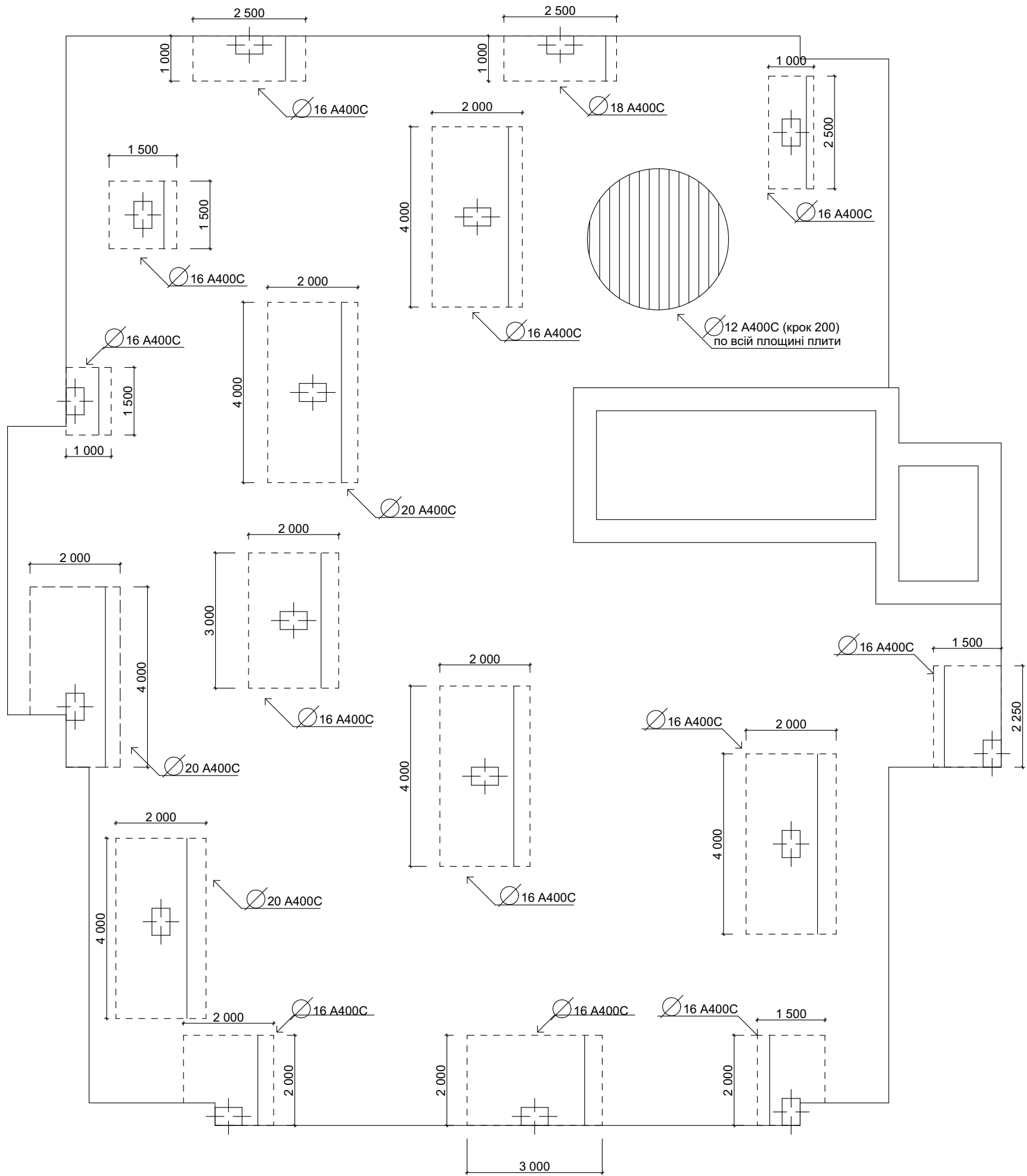
№	Найменування	Одиниця виміру	Кількість
1	Загальна площа ділянки	м²	5783,4
2	Площа забудови	м²	1985,6
3	Площа покриття	м²	2902,0
4	Площа озеленення	м²	1095,8
5	Площа благоустрою	м²	5931,4
з них: – загальна ділянка		м²	5783,4
– пішохідна частина вулиці		м²	148,0
6	Коефіцієнт забудови		0,343
7	Коефіцієнт покриття		0,468
8	Коефіцієнт озеленення		0,189

Розрі́з 2-2 (М 1:200)

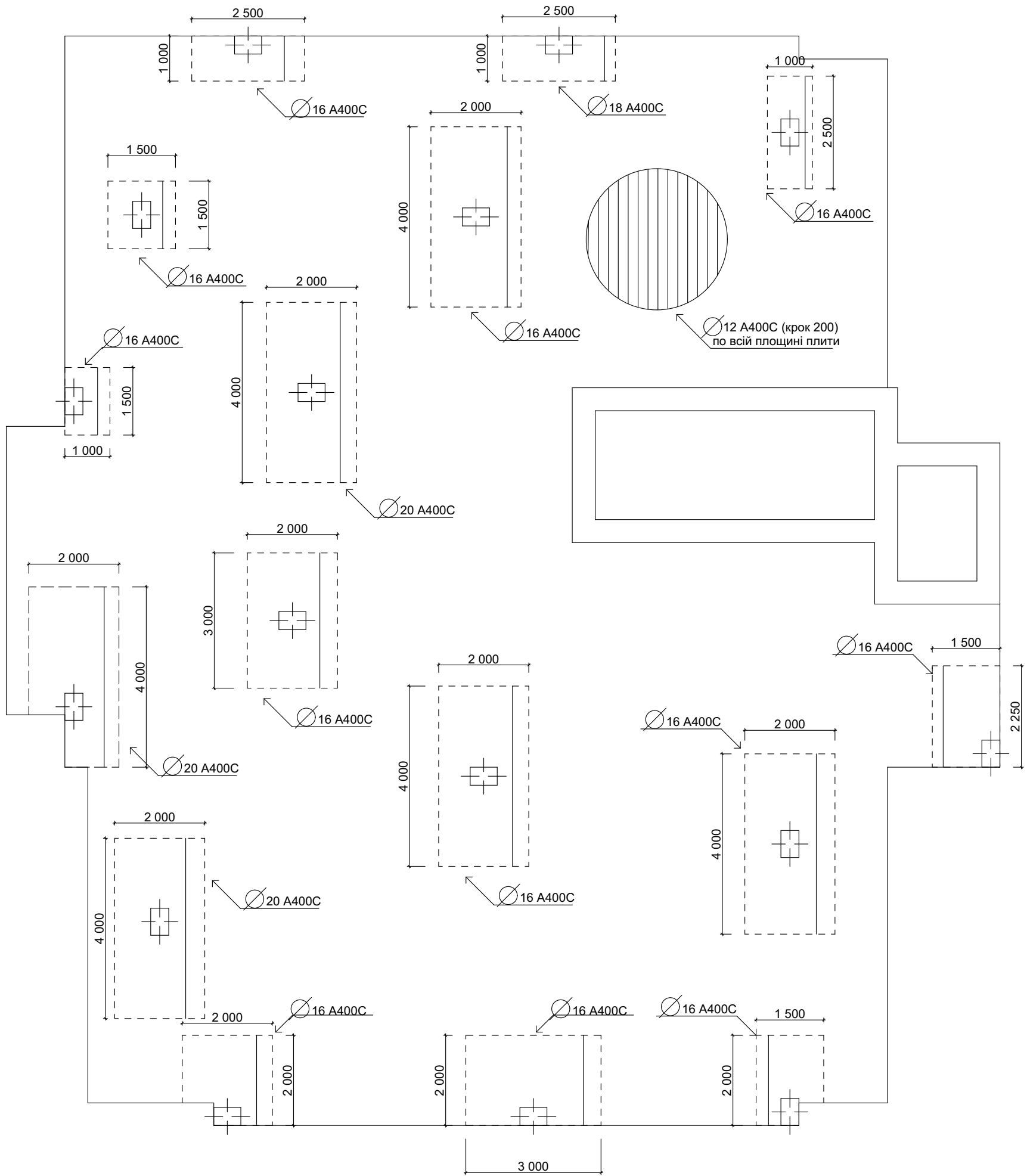


08-11. МКР.005					
Україна, місто Вінниця, вулиця Монастирська, 34					
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата
Розробив	Головук А. В.				06.23
Перевірила	Масівська І. В.				
Керівник	Масівська І. В.				
Н. Конпр.	Масівська І. В.				
Оп. о н е н т	Кол І. В.				
Замовив	Шевч В. В.				
Оптимізація складу бетонної суміші за використанням золи виносення				Стодія	Аркуш
				п	1
				5	
Генплан (1:1000), фасади (1:1000), розрізи побудовані та поперечні (1:200), ТЕП генплану та ТЕП проєкту				ВНТУ, гр. Б-2 3М	

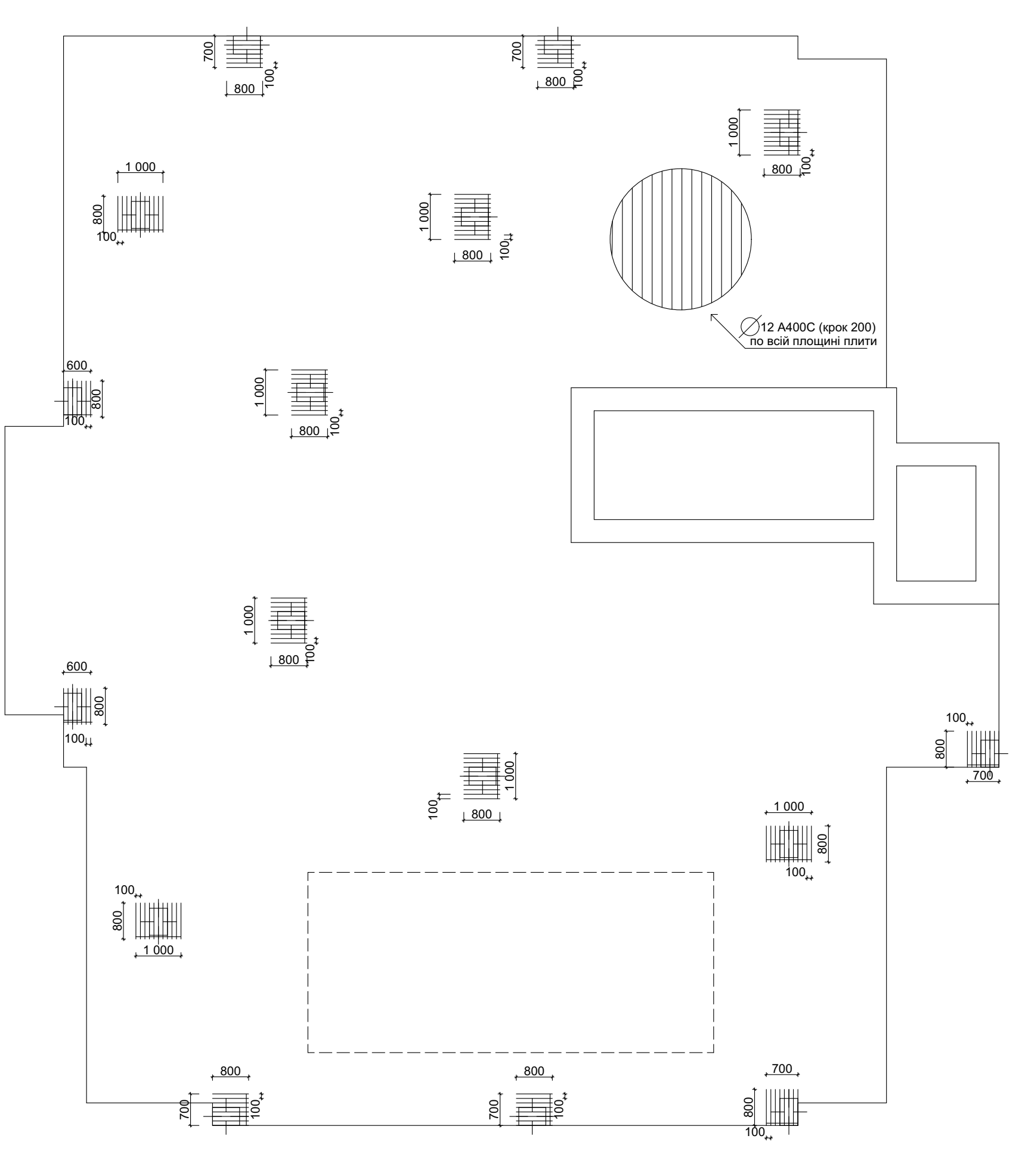
План нижнього армування плити перекриття по осі Х



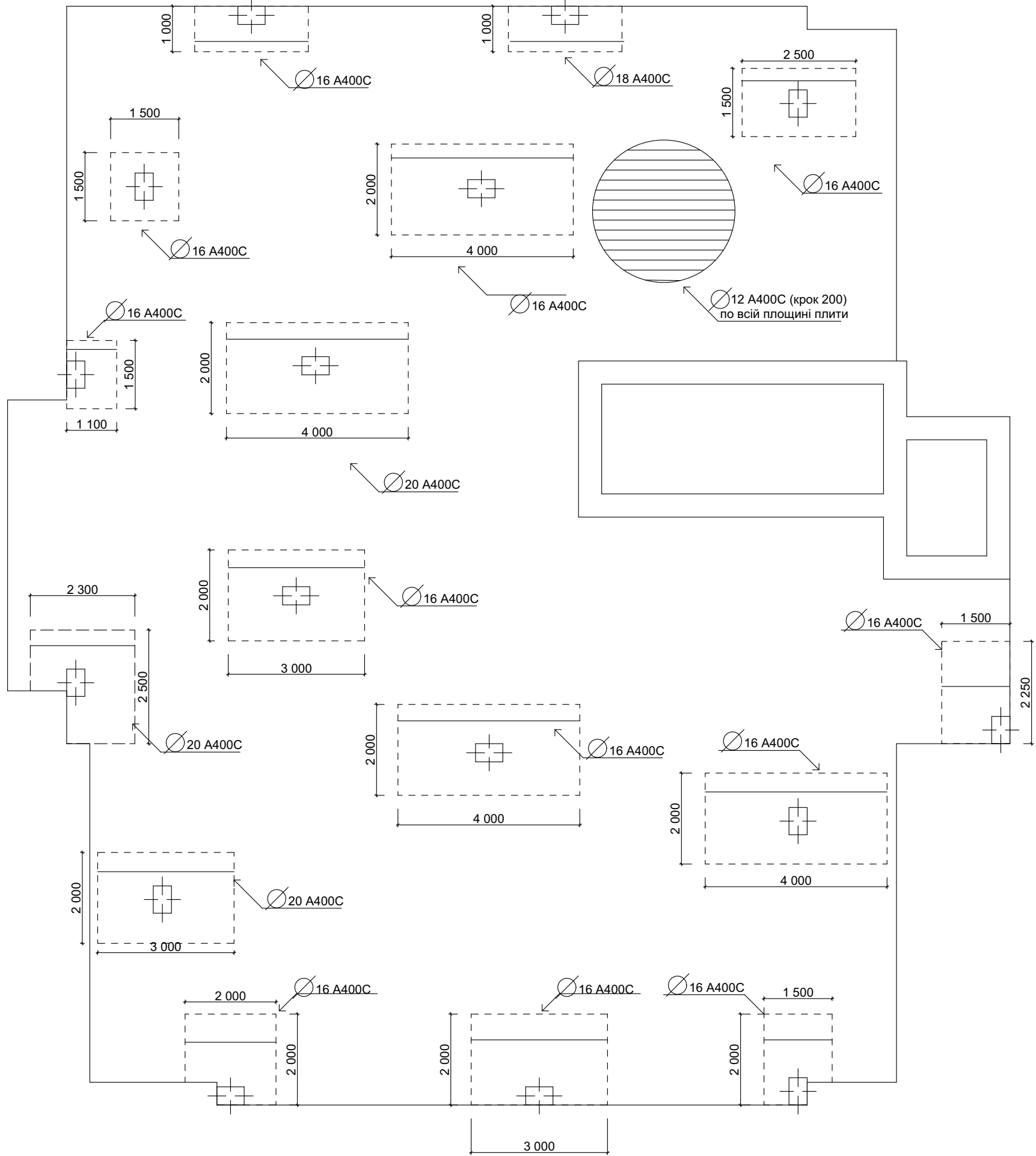
План верхнього армування плити перекриття по осі Х



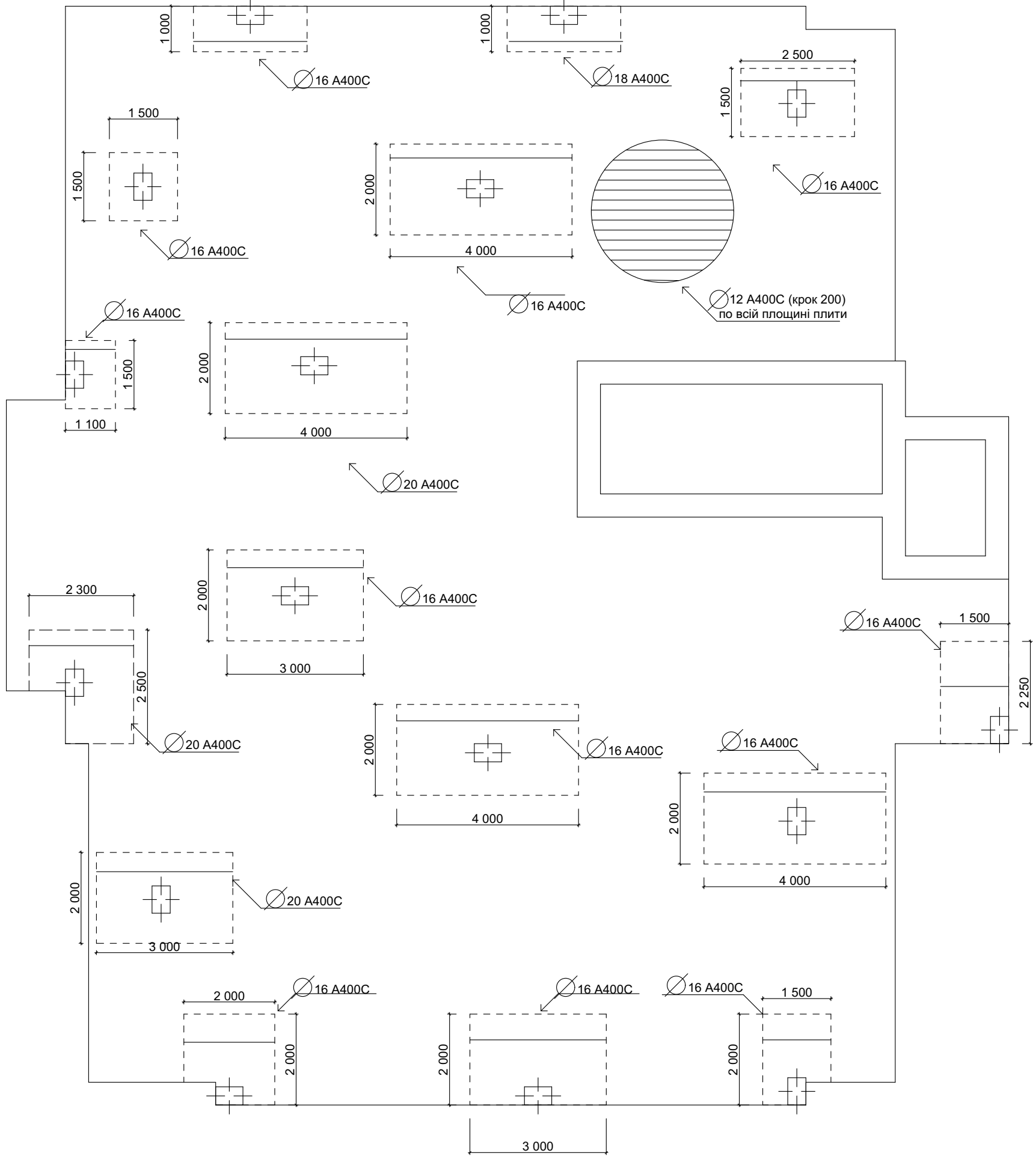
План улаштування каркасу закладних деталей



УЧЕБНАЯ ВЕРСИЯ ARCHICAD

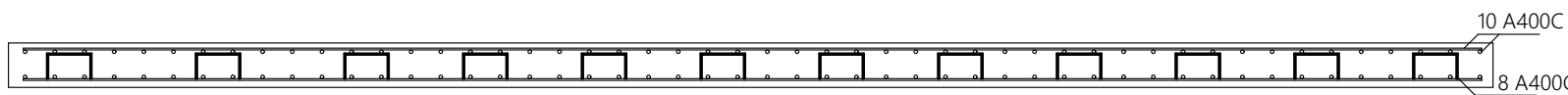


План нижнього армування плити перекриття по осі У



План верхнього армування плити перекриття по осі У

Вузол плити перекриття

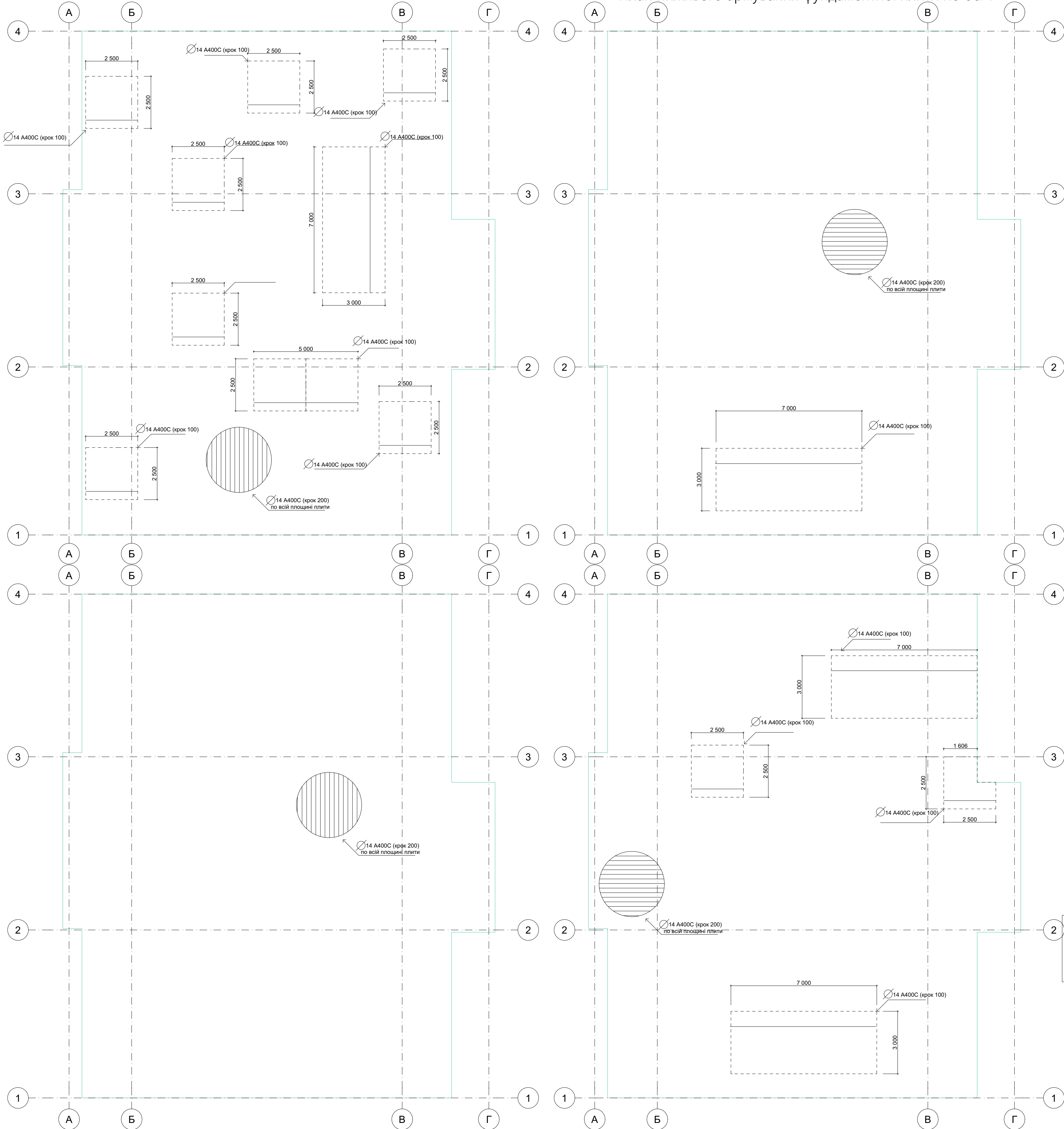


						08-11. МКР005			
						Україна, місто Вінниця, вулиця Монастирська, 34			
Зм.	Кільк.	Арк.	№Док.	Підп.	Дата	Оптимізація складу бетонної суміші з використанням золи вивесення	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив	Голошук А.В.				12.24		П	3	7
Перевірила	Мавська І.В.				12.24				
Керівник	Мавська І.В.				12.24				
Н. Контр.	Мавська І.В.				12.24				
Рецензент	Коць І.В.				12.24	Плани армування плит перекриття по осям Х та У, плани улаштування каркасів закладних деталей, вузол плити перекриття.	ВНТУ, р. Б-2 3М		
Затвердив	Шевць В.В.				12.24				

Плани необхідного основного та додаткового армування фундаментної плити (М 1:150)

План нижнього армування фундаментної плити по осі X

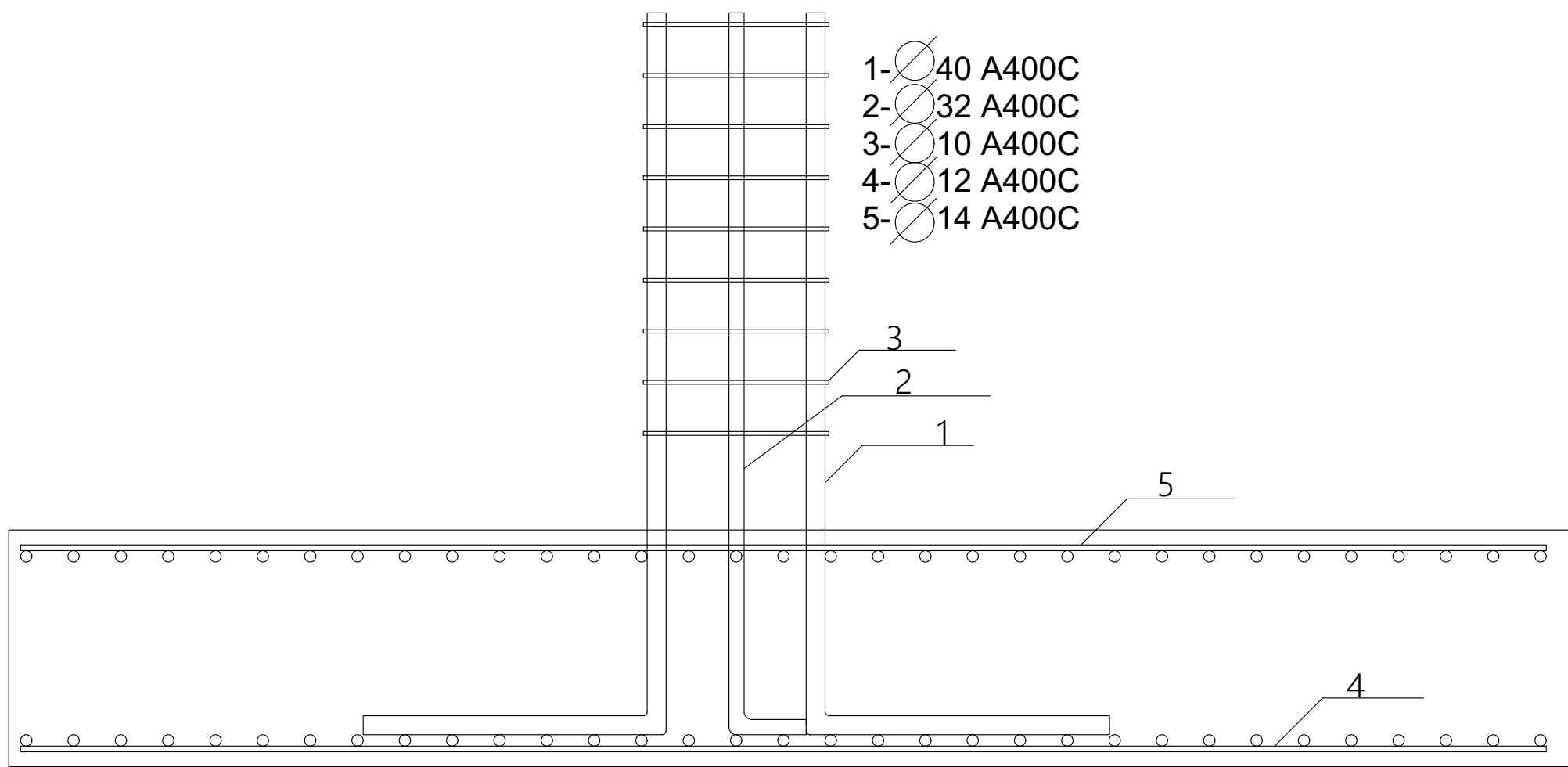
План нижнього армування фундаментної плити по осі Y



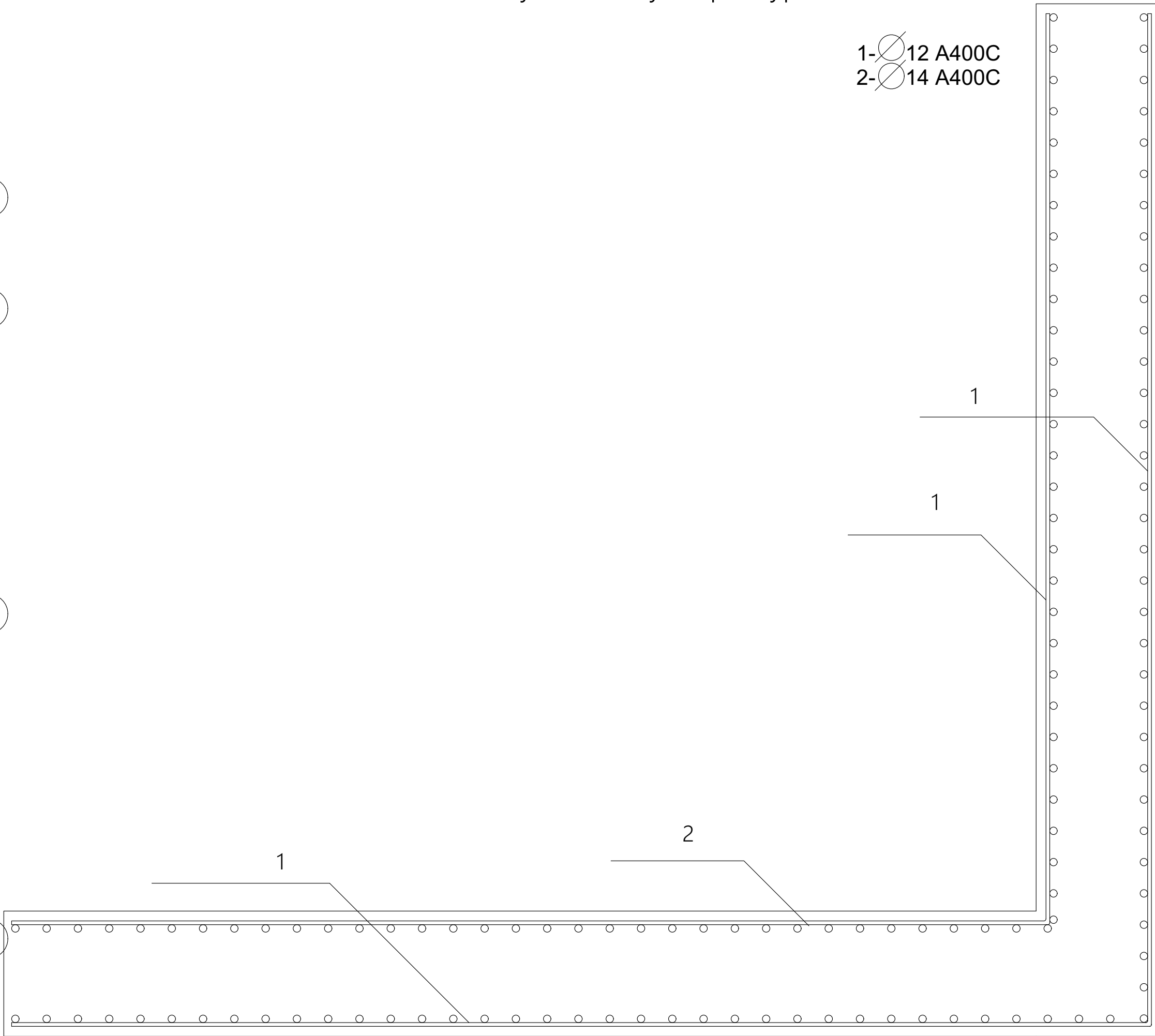
План верхнього армування фундаментної плити по осі X

План верхнього армування фундаментної плити по осі Y

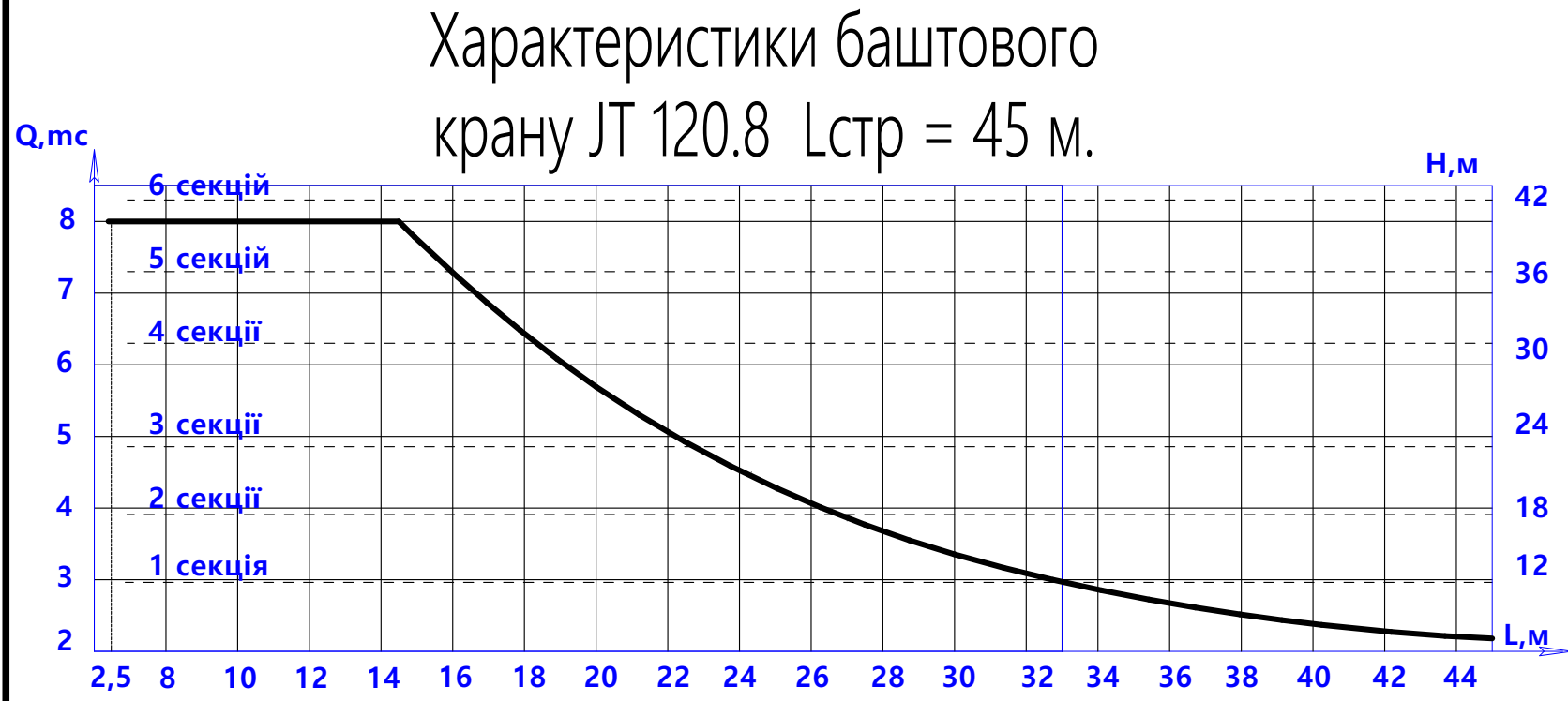
Вузол випуска арматури для колони з фундаментної плити



Вузол - випуск арматури стіни



						08-11.МКР.005 -К Р		
						Україна, місто Вінниця, вулиця Монастирська, 34		
Зм.	Кубж	Арх	НрДок	Підп.	Дата	Оптимізація складу бетонної суміші з використанням золи вивіснення	Стадія	Аркуш
Розробив	Голошук А.В.				12.24		П	3
Перевірив	Мавська І.В.				12.24			5
Керівник	Мавська І.В.				12.24			
Н. Контр.	Мавська І.В.				12.24	Плани армування фундаментних плит по осях X та Y, вузли	ВНТУ, гр. Б-23М	
Затвердив	Шевць В.В.				12.24			



СХЕМИ СТРОПОВКИ ОСНОВНИХ ВАНТАЖИВ

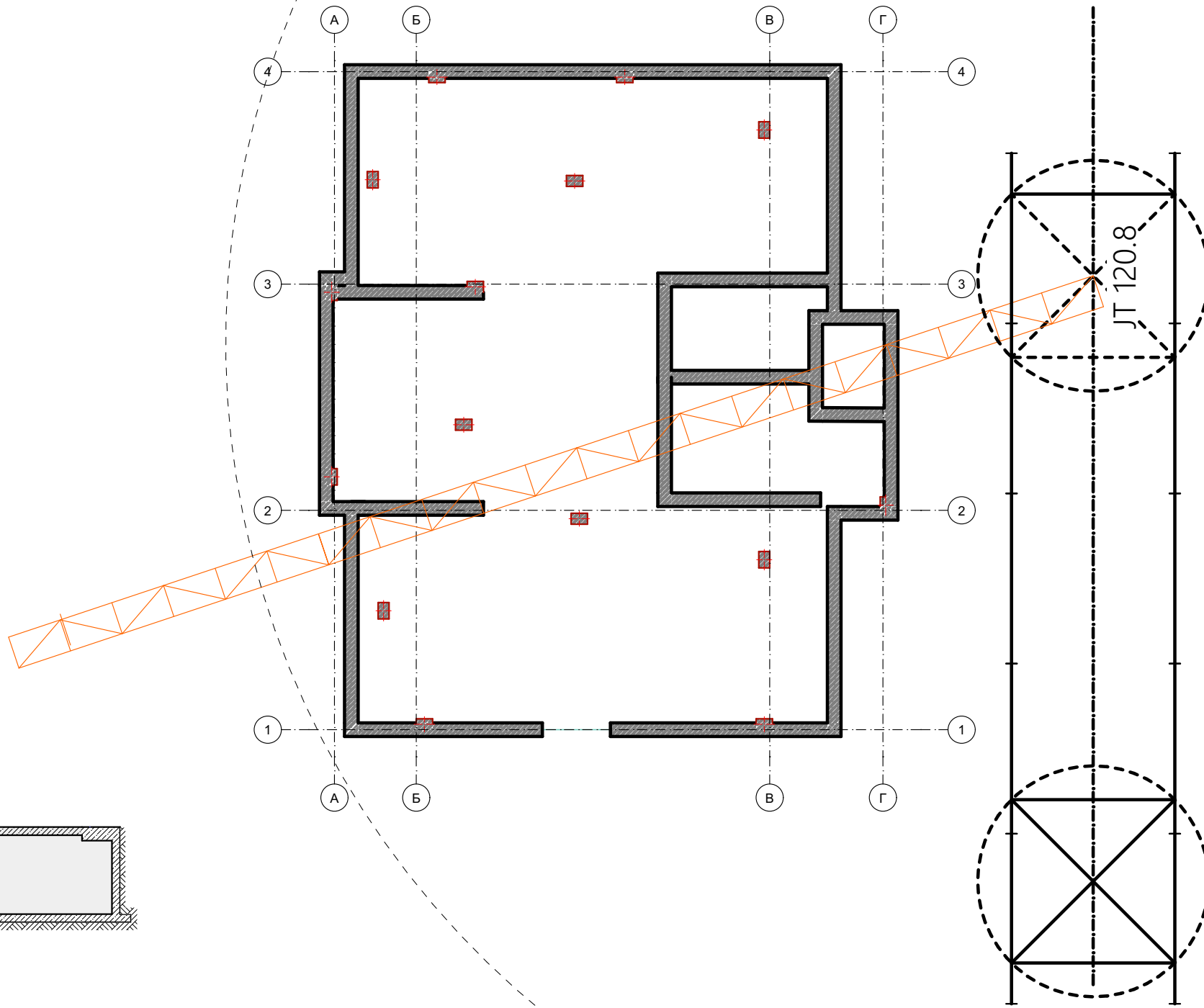
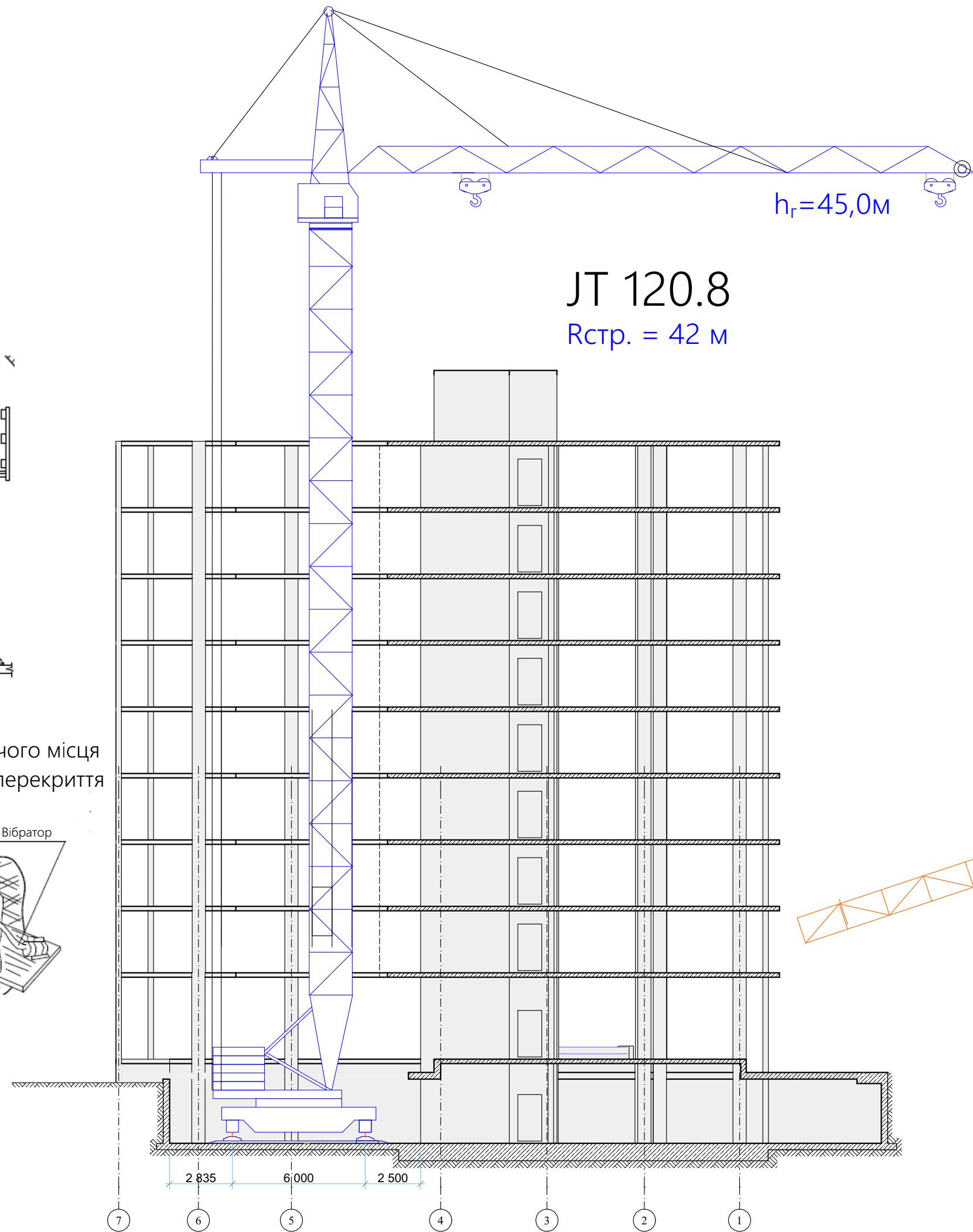
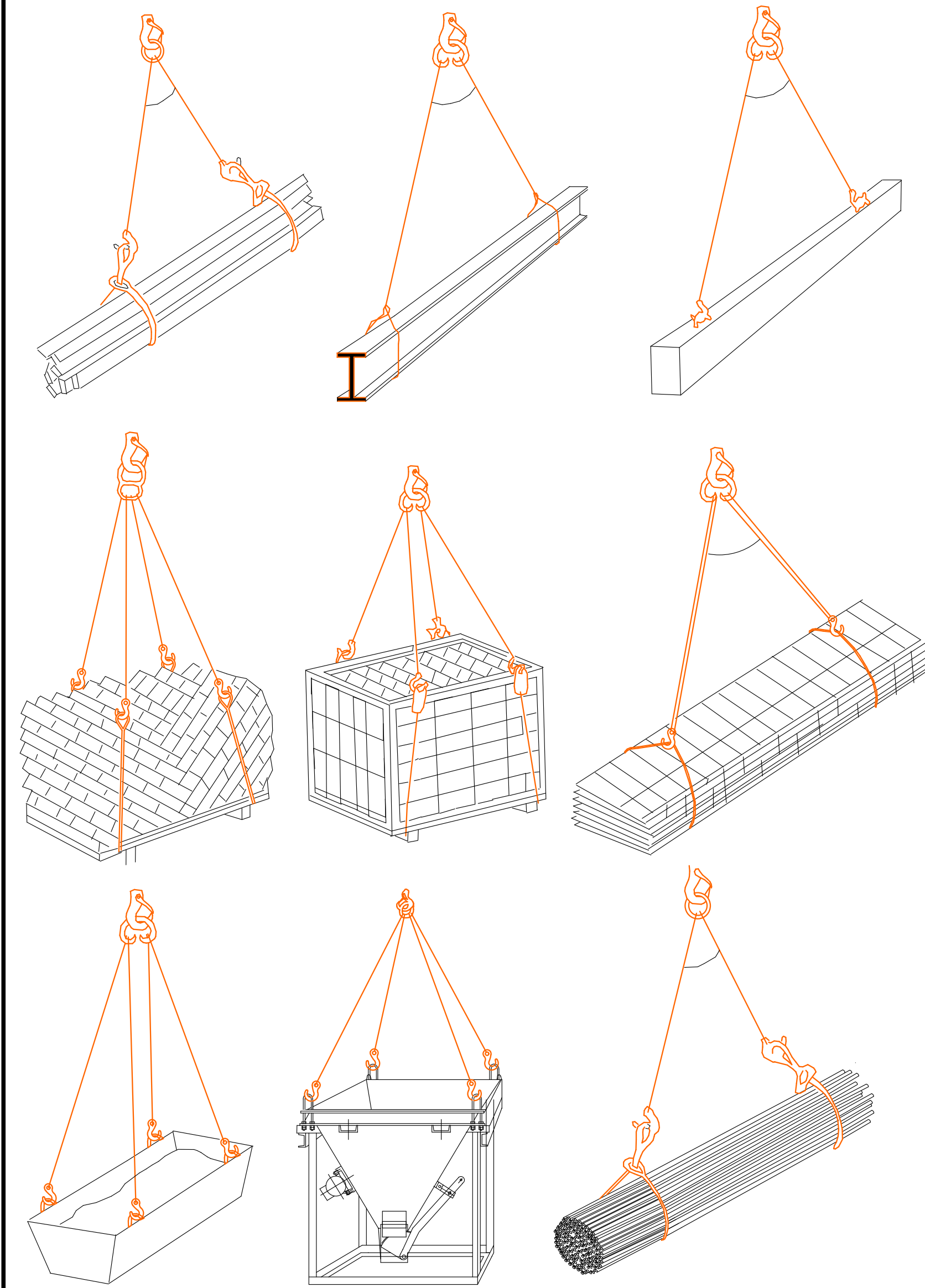
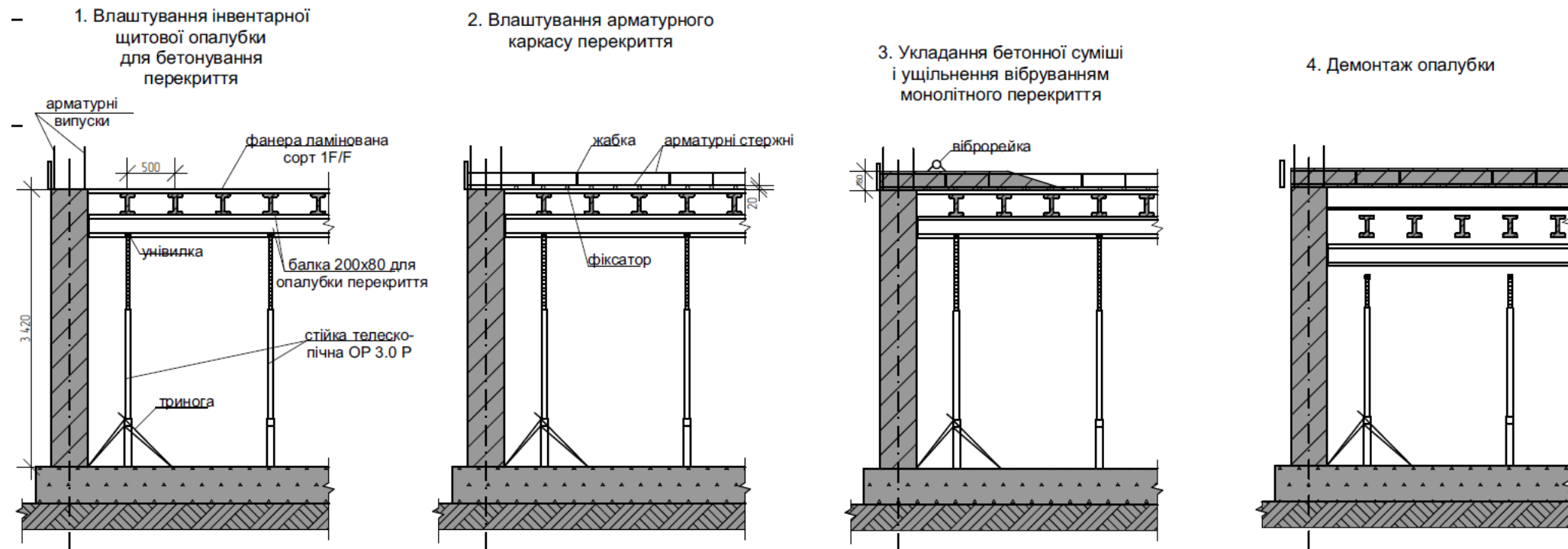


Схема виготовлення плити перекриття



- Техніка безпеки
1. Недопускати до роботи осіб, які не мають спецодягу, спецвзуття і засобів індивідуального захисту.
 2. Обовязкове носіння захисних касок для усіх працюючих на будівельному майданчику.
 3. Забороняється знаходження осіб в небезпечній зоні.
 4. Не допускається виконання робіт на висоті, а також робота баштового крана при швидкості вітру більше 15 м/с.
 5. Дотримуватися запас по висоті для безпечного монтажу 0,5...1 м.

Вказівки до виконання робіт

Перед початком виконання робіт по зведенню надземної частини будівлі повинні бути виконані всі роботи нульового циклу та підготовчі роботи. Роботи виконуються в дві зміни. Монтажні роботи виконують після розкладки матеріалів в зоні дії крана, перевірки стану такелажних пристосувань, якості опалубки, очищення щитів від бетону, перевірки міцності монтажних петель вантажопідійомних пристроїв вірності монтажного горизонту. Запас матеріалів при кладці стін на робочому місці прийнято з 2 год. необхідності. Опалубку колон збирають з металевих щитів. Перед влаштуванням опалубки краном встановлюємо в проектне положення арматурні каркаси, які зварюють з випусками арматури нижче встановлених колон та снін. Арматуру очищають від бруду, що відшаровується. Опалубку і підтримувальні риштувальня уважно оглядають, перевіряють надійність влаштування стояків риштувань. Перевіряють також розміри, вертикальність та горизонтальність елементів опалубки. Опалубку очищають від бруду та сміття і змазують спеціальними мастилами. Перед укладанням

Вказівки до контролю якості

Під час зведення бетонних і залізобетонних конструкцій необхідно здійснювати контроль на всіх стадіях. Недотримання правил виконання робіт може викликати ряд дефектів, а саме: напливи, здування, оголення арматури, утворення порожнин, тріщин тощо. За якість готової бетонної суміші відповідає завод, що її виготовляє. Бетонна суміш, потрапляючи на об'єкт, перевіряється на недопустимість розшарування складових частин і зміни рухомості, а також на дотримання допустимого часу перевезення. Перед бетонуванням перевіряється правильність встановлення опалубки та кріплень, закладних деталей. При контролюванні арматурних робіт перевіряється відповідність змонтованої арматури до робочих креслень і відхилень згідно з чинними будівельними нормами. Допустимі відхилення від проектної товщини захисного покриття: якщо товщина захисного шару до 15 мм - відхилення 3 мм; при товщині захисного шару більше за 15 мм - 5 мм. Якість вложеного бетону оцінюють за результатами випробувань на міцність, а в спеціальних

						08-11.МКР.005				
						Україна, місто Вінниця, вулиця Монастирська, 34				
Зм.	Кільк.	Арх.	НаДок.	Підп.	Дата			Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробив	Голошук А.В.				12.24	Оптимізація складу бетонної суміші за використанням зотити вивантаження.		П	5	7
Перевірила	Мавська І.В.				12.24					
Керівник	Мавська І.В.				12.24					
Н. Контр.	Мавська І.В.				12.24					
Рецензент	Коц І.В.				12.24					
Затвердив	Шевць В.В.				12.24	Технологічна карта		ВНТУ, гр. Б-2 3м		

ВІДГУК

на магістерську кваліфікаційну роботу

студента (ки)
(прізвище, ім'я, по батькові)

Голощука Андрія Вікторовича

на тему: Оптимізація складу бетонної суміші з використанням золи-виносу

Магістерська кваліфікаційна робота має високий рівень актуальності та присвячена дослідженню вдосконалення складу бетонної суміші шляхом використання золи виносу як активної мінеральної добавки. У межах дослідження проаналізовано вплив різних параметрів золи виносу на ключові фізико-механічні характеристики бетону, включаючи морозостійкість, тріщиностійкість і водонепроникність, із подальшим порівнянням із традиційними бетонними сумішами.

Тематика роботи повністю відповідає напряму наукових досліджень кафедри БМГА. Робота виконана у відповідності до поставлених завдань і охоплює значний обсяг експериментальних та аналітичних досліджень. У ній проаналізовано вагомі літературні джерела та проведено серію експериментів, які дозволили визначити оптимальний вміст золи виносу в складі бетонних сумішей для підвищення їх експлуатаційних характеристик.

Текстова частина роботи представлена структуровано, містить аргументовані висновки до кожного розділу та аналіз отриманих результатів. Експериментальна частина проведена із застосуванням сучасного обладнання, а отримані результати відображають глибину досліджень. Графічні матеріали роботи доповнюють основний текст і забезпечують наочність проведених досліджень, включаючи креслення, схеми та експериментальні дані.

Результати дослідження були представлені на науково-технічній конференції та опубліковані у вигляді тез доповідей. Студент Голощук А.В. виконав роботу відповідно до затвердженого календарного плану, продемонстрував високий рівень самостійності та відповідальності, а також уміння працювати з сучасними програмними та технологічними засобами. До незначних недоліків можна віднести:

1. Обмеженість експериментальної бази. У роботі досліджено лише певний тип золи виносу (наприклад, Ладижинської ТЕС), що звужує можливість узагальнення отриманих результатів.

2. Недостатня увага економічній складовій. У роботі відсутній детальний аналіз економічної доцільності використання золи виносу у складі бетонних сумішей, зокрема розрахунку окупності використання альтернативних матеріалів у будівництві.

Ці недоліки не суттєво впливають на наукову новизну. Попри це, робота відповідає усім вимогам, поставленим завданням і стандартам. Робота заслуговує оцінки «В» (добре) – присвоєння ступеня магістра за спеціальністю «Промислове та цивільне будівництво». **Опонент**

проф. каф. ІСБ, к.т.н.
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Коц І. В.
(ініціали, прізвище)

ВІДГУК

керівника магістерської кваліфікаційної роботи

здобувача (ки) Голошука Андрія Вікторовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: Оптимізація складу бетонної суміші з використанням
золи-виношення

Однією з перспективних сфер досліджень є використання промислових відходів, зокрема золи виношення, у виробництві будівельних матеріалів. Зола виношення, що є побічним продуктом теплових електростанцій, накопичується у великих обсягах, створюючи екологічні проблеми. Її ефективне застосування у складі бетонних сумішей дозволяє не лише зменшити негативний вплив на довкілля, а й покращити властивості бетонів.

Дослідження, спрямовані на оптимізацію вмісту золи виношення в бетонних сумішах, є актуальними, оскільки вони дозволяють знайти баланс між поліпшенням експлуатаційних характеристик матеріалів, таких як міцність, довговічність та морозостійкість, і зниженням собівартості виробництва.

Робота відповідає виданому завданню і вимогам до магістерських кваліфікаційних робіт.

Робота є навчальною, але відповідає сучасним потребам проектної та будівельної практики.

Магістерська робота містить розділи, присвячені аналізу стану питання та фізичним випробуванням зразків бетону з різним вмістом золи виношення. Перевірявся вплив гранулометричного складу; активності пуцоланових компонентів; хімічного складу та домішок.

Здобувач показав ерудицію та знання фахової літератури.

Магістерська робота містить технічний розділ, де розроблена конструкторська документація на будівлю багатоквартирного житлового будинку каркасної конструкції з проробкою типового конструктивного рішення монолітних конструкцій з використанням традиційних бетонів та рішення з використанням бетонів з добавками золи-виношення, заснованого на результатах досліджень. В розділі економіки визначено, що використання результатів досліджень дозволяє оптимізувати проектне рішення з одержанням економічного ефекту.

Під час роботи здобувач показав достатній рівень фахових знань, здатність до прийняття самостійних наукових та інженерних рішень, володіння інформаційними технологіями.

За матеріалами досліджень була зроблена доповідь на LV Всеукраїнській науково-технічній конференції факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії у Вінницькому національному технічному університеті (ВНТУ). Вінниця, 2024 р, і за результатами доповіді опубліковані тези.

Здобувач виконав великий обсяг роботи, показав відповідний рівень підготовки.

По роботі слід відзначити такі недоліки:

1. Результати досліджень необхідно було представити у вигляді графіків, що сприяло б кращому розумінню впливу різних параметрів.

2. В роботі не представлене планування експериментів.

Підготовка здобувача Голошука А. в. відповідає вимогам освітньої програми.

Магістерська кваліфікаційна робота заслуговує на оцінку «В» (добре), а здобувач на присвоєння йому ступеня магістра та кваліфікації Магістр з будівництва та цивільної інженерії за освітньо-професійною програмою «Промислове та цивільне будівництво».

**Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи**

Доц. каф. БМГА, к.т.н.

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

І. В. Маєвська

(ініціали, прізвище)