

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

Факультет інженерії

Кафедра хімічної інженерії та екології

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи
освітньо-кваліфікаційного рівня **бакалавр**

спеціальності 184 «Гірництво»

на тему:

**Будівництво підземної багаторівневої автостоянки методом Top-Down в
умовах щільної міської забудови зі спеціальною частиною
«Конструктивні рішення та забезпечення стійкості огорожувальних
конструкцій»**

Виконав студент групи ГІР-22д

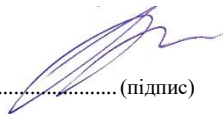
..... (підпис)



Ткаченко А. Д.

Керівник

..... (підпис)



Тарасов В.Ю.

Завідувач кафедри

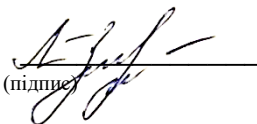
..... (підпис)



Зубцов Є.І.

Рецензент

..... (підпис)



Київ, 2026

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

Факультет інженерії
Кафедра хімічної інженерії та екології
Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр
Спеціальність: 184 «Гірництво»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____  доц. Зубцов Є.І.

« 25 » 04 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Ткаченко Андрій Дмитрович

1. Тема роботи: Будівництво підземної багаторівневої автостоянки методом Top-Down в умовах щільної міської забудови зі спеціальною частиною «Конструктивні рішення та забезпечення стійкості огорожувальних конструкцій»

Керівник роботи: Тарасов В.Ю., д. т. н., проф, затверджено наказом закладу вищої освіти від 25.04.2026 р. № 97/20.04

2. Строк подання здобувачем освіти роботи: 07.06.26р.

3. Вихідні дані до роботи: матеріали переддипломної практики та гірничотехнічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): згідно програми дипломного проектування та методичних вказівок по складанню випускної кваліфікаційної роботи бакалавра здобувачами освіти напряму підготовки 184 «Гірництво».

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): розташування обладнання (план, розрізи будівлі; ілюстраційні матеріали), плакати блок-схеми виробництва, загального виду обладнання, техніко-економічних показників проекту та ін.

6. Консультанти розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 25.04.26р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Маркетингові дослідження	25.04.2026	
2	Аналіз літературних даних.	25.04.2026	
3	Розробка схем технологічного процесу виробництва. Технологічні розрахунки.	01. 05.2026	
4	Екологія	08. 05.2026	
5	Техніко-економічні розрахунки	15. 05.2026	
6	Прикладна частина	22.05.2026	
7	Графічна частина	07.06.2026	

Студент



Ткаченко А. Д.

Керівник проекту



Тарасов В.Ю.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ БУДІВНИЦТВА.....	9
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ.....	21
3. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	27
4. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА ПРОЕКТУ	44
5. ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	61
6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	70
ВИСНОВКИ.....	75
АНОТАЦІЯ.....	77
ANNOTATION	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	79

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра містить: 86 сторінок машинописного тексту, 21 рисуноків, 5 таблиць, 6 графічних листів.

Об'єкт дослідження – технологія зведення та процес геомеханічної взаємодії огорожувальних конструкцій підземної багаторівневої автостоянки з ґрунтовим масивом в умовах щільної міської забудови.

Мета роботи – обґрунтування об'ємно-планувальних, технологічних та конструктивних рішень будівництва підземного паркінгу методом Top-Down, що забезпечують просторову стійкість споруди, екологічну безпеку та високу економічну ефективність будівельного проєкту.

Методи дослідження – у роботі застосовано комплексний підхід, що включає аналіз передового вітчизняного та зарубіжного досвіду підземного будівництва, аналітичні та статичні розрахунки напружено-деформованого стану огорожувальних конструкцій (опорних реакцій, поперечних сил, згинальних моментів), математичне моделювання транспортної логістики виїмки ґрунту, а також техніко-економічне моделювання для оцінки ефективності прийнятих інженерних рішень.

У роботі детально проаналізовано гірничо-геологічні та логістичні особливості ділянки будівництва, яка характеризується наявністю слабкопросадних лесоподібних суглинків, постійним вібраційним фоном та високою щільністю наземної транспортної інфраструктури. Обґрунтовано необхідність відмови від традиційного будівництва у відкритому котловані на користь передового комбінованого методу Top-Down (зверху-вниз). Розроблено комплексні інженерні рішення щодо забезпечення екологічного захисту довкілля (використання монолітних перекриттів як акустичних екранів, замкнений цикл регенерації бентонітових розчинів, захист підземних вод локальними очисними спорудами).

Спеціальна частина дослідження зосереджена на вирішенні актуального інженерного завдання – забезпеченні абсолютної міцності та просторової стійкості монолітної огорожувальної конструкції типу «стіна в ґрунті» під дією активного бокового тиску масиву.

Запропоновано та математично обґрунтовано параметри залізобетонної траншейної стіни товщиною 80 см. Інноваційною складовою є детальний покроковий розрахунок епюр навантажень на різних стадіях поперечної розробки ґрунтового ядра. Доведено, що фактичні максимальні нормальні напруження у розтягнутій зоні бетону не перевищують 0,42 МПа при допустимій границі 1,4 МПа, що гарантує високу надійність підземного комплексу. Проведено розрахунок основних кошторисних та техніко-економічних показників (загальна вартість 30,72 млн грн), які переконливо підтверджують раціональність, логістичну перевагу та інвестиційну привабливість впровадження методу Top-Down, оскільки він дозволяє уникнути колосальних непрямих витрат на перекриття міських транспортних магістралей.

Ключові слова: МЕТОД TOP-DOWN, СТІНА В ҐРУНТІ, ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ, СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК, ГЕОМЕХАНІЧНА СТІЙКІСТЬ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ..

ВСТУП

Сучасний етап розвитку великих міст України визначається не лише критичним дефіцитом вільного простору та високим рівнем автомобілізації, але й безпрецедентними викликами безпекового характеру. На тлі триваючої збройної агресії глибокі підземні автостоянки набули стратегічно важливого статусу споруд подвійного призначення: вони функціонують як паркувальні майданчики у повсякденному житті та як надійні укриття (захисні споруди цивільного захисту) для населення під час ракетних загроз і надзвичайних ситуацій. Забезпечення надійності таких об'єктів вимагає комплексного вирішення специфічних ризиків, серед яких імовірність пожеж від транспортних засобів, необхідність автономної вентиляції та димовидалення, швидка евакуація великих мас людей та, найголовніше, висока стійкість конструкцій до впливу ударної хвилі. Відповідно, проєктування таких споруд повинно суворо відповідати оновленій нормативній базі України (зокрема ДБН В.2.2-5:2023 та ДБН В.2.3-15:2007) з поступовою імплементацією гібридних моделей європейських стандартів пожежної та експлуатаційної безпеки (EN 12845, EN 12101, Директива 2004/54/EC). У цьому контексті застосування передової комбінованої технології будівництва «Top-Down» (зверху-вниз) із влаштуванням жорсткого периметра методом «стіна в ґрунті» є безальтернативним інженерним рішенням. Цей метод не лише ліквідує геотехнічні ризики для існуючої міської забудови, але й дозволяє сформувати високоміцний, герметичний підземний монолітний каркас, який ідеально відповідає вимогам структурного посилення для об'єктів подвійного призначення. Дослідження та адаптація цієї технології з урахуванням правових, безпекових та конструктивних вимог до укриттів визначає беззаперечну актуальність обраної теми кваліфікаційної роботи.

Мета дослідження полягає у комплексному інженерно-технологічному та економічному обґрунтуванні просторових і конструктивних параметрів будівництва підземної автостоянки подвійного призначення методом «Top-Down»,

із забезпеченням абсолютної стійкості огорожувальних конструкцій та відповідності об'єкта сучасним вимогам цивільного захисту.

Для досягнення поставленої мети в роботі було сформульовано та послідовно вирішено комплекс взаємопов'язаних завдань. Насамперед вимагалось проаналізувати інженерно-геологічні умови модельної ділянки та чинну нормативно-правову базу щодо споруд подвійного призначення для виявлення конфліктів норм і шляхів їх гібридної адаптації. Далі необхідно було розробити об'ємно-планувальні рішення підземного паркінгу з урахуванням вимог зонування простору, евакуації та герметизації. Головним інженерним завданням стало виконання статичних розрахунків напружено-деформованого стану траншейної стіни на різних етапах поярусної виїмки ґрунту. На фінальному етапі вимагалось розробити заходи з екологічної безпеки та скласти локальні кошториси для підтвердження техніко-економічної доцільності зведення такого стійкого об'єкта інфраструктури.

Об'єктом дослідження є технологічний процес зведення глибоких підземних споруд подвійного призначення в умовах щільної забудови та геомеханічна взаємодія їхніх захисних огорожувальних конструкцій із ґрунтовим масивом.

Предметом дослідження є технологія будівництва «Top-Down», параметри міцності монолітної залізобетонної «стіни в ґрунті» та безпекові показники підземної автостоянки як об'єкта цивільного захисту.

Запропоновані в роботі конструктивні рішення доводять можливість безпечного зведення об'єктів подвійного використання впритул до існуючих споруд. Розроблена розрахунково-технологічна модель та складена кошторисна документація можуть бути використані проектними й будівельними організаціями під час повоєнної відбудови України для створення економічно виправданої та надійної інфраструктури цивільного захисту..

1. ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ БУДІВНИЦТВА

Підземна автостоянка проектується на промисловому майданчику металургійного підприємства (умовно прийнята модельна ділянка) і має загальну площу виробничої зони 0,35 га (рис. 1.1). З південного заходу підприємство межує з проммайданчиком іншого заводу та залізничною станцією, з південного сходу майданчик обмежений автомагістраллю та місцевою теплоелектроцентральною (ТЕЦ).

Рельєф місцевості характеризується переважаючими абсолютними висотами плоских вододільних поверхонь 250–350 м. Це передгірна горбисто-увалиста відносно піднята рівнина. Рівнина має загальне підвищення на захід.

Клімат району в рамках прийнятої моделі розрахунків є континентальним з великою річною та добовою амплітудами коливань температури повітря. Район відноситься до зони достатнього зволоження. Середньорічне значення опадів за даними місцевої метеостанції становить 454 мм. Більша частина опадів випадає в теплу пору року (4–9 місяці) – 78%.

Середньорічна температура повітря становить $+0,5^{\circ}\text{C}$, середня температура найхолоднішого періоду $-22,0^{\circ}\text{C}$, середня максимальна температура повітря найтеплішого місяця $+24,3^{\circ}\text{C}$.

Особливо сильних температурних коливань зазнає ґрунт. Проникнення нульової температури в ґрунт під оголеною поверхнею може досягати глибини 2,0–3,0 м і більше, залежно від виду ґрунту.

Нормативна глибина промерзання суглинків становить 1,52 м, супісків – 1,85 м, крупноуламкових ґрунтів – 2,25 м. Суглинисті ґрунти, що залягають у зоні промерзання, схильні до морозного здимання (пучинистості).

У рослинному світі лісостепової частини переважають сосна, осика, акація, вільха, верба, горобина, черемха. Подекуди збереглися соснові бори. Північна частина майже безлісна, за винятком окремих ділянок уздовж річок, де ростуть переважно верба, черемха та чагарникові форми.

Тваринний світ розвинений головним чином у зоні лісових масивів та заповідних ділянок. Тут водяться типові представники лісостепової та лісової зон: борсук, білка, лисиця, заєць, трапляються козулі. У степовій частині поширені ховрахи. З птахів зустрічаються: орел, яструб, куріпка, зозуля, сич.

Територія щільно забудована, перетнута інженерними комунікаціями. Проходять діючі залізничні колії заводу, автомобільні дороги та проїзди, що мають тверде асфальтобетонне покриття. По периметру територія обгороджена суцільним бетонним парканом. Підприємство обладнане системами охорони.

Об'єкт будівництва розташований на території, складеній відкладами юрської системи, переважно її середнього відділу (дод. А). У геологічному розрізі модельної ділянки виділяють наступні стратиграфічні підрозділи:

Девонська система. Верхній відділ (D_3)

Складена переважно мергелями, пісковиками, гравелітами. Потужність товщі становить 550–630 м.

Девон-кам'яновугільна система. Верхній-нижній відділи (D_3-C_1)

Складена мергелями, вапняками, конгломератами, пісковиками. Потужність товщі – 100 м.

Юрська система. Нижній відділ (J_1)

Складена конгломератами, пісковиками, алевролітами, аргілітами, прошарками бурого вугілля. Потужність товщі – 300 м.

Юрська система. Середній відділ (J_2)

- Нижня підсвіта (J_2^1) складена: конгломератами, пісковиками, алевролітами, аргілітами, бурим вугіллям. Потужність – 130 м.

- Середня підсвіта (J_2^2) складена: пісковиками, алевролітами, аргілітами, бурим вугіллям. Потужність – 120 м.

- Верхня підсвіта (J_2^3) складена: пісковиками з лінзами конгломератів, алевролітами, бурим вугіллям. Потужність – 120 м.

Неогенова система. Нижній відділ (N_1)

Складена галечниками, пісками, глинами. Потужність – 40 м.

Четвертинна система. Сучасний відділ (Q_4)

До сучасного відділу відносять лесоподібні утворення потужністю 20–40 м, що перекривають рельєф. Вони мають дрібні розміри частинок та високу пористість, що визначає схильність території до суфозійно-ерозійних та просадних процесів. Лесові породи цього комплексу поширені в інтервалі 30–100 м над рівнем місцевої водної артерії (270–300 м абсолютної висоти). Зазвичай це палево-бурі, пілуваті, різного ступеня піщанистості вапнисті та пористі суглинки і супіски.

Річкова долина представлена комплексом терас різного віку та різної протяжності. Виходячи з підходів та наявних даних, терасовий комплекс підрозділяється на 8 структурних елементів:

- Пізньоплейстоценові тераси: I (8–12 м) над рівнем річки, II (14–18 м), III (близько 30 м);
- Середньоплейстоценові тераси: IV (45–55 м), V (60–70 м);
- Ранньоплейстоценові тераси: VI (близько 100 м), VII (130–140 м);
- Олігоцен-неогенова: VIII тераса (150–230 м).

Об'єкт будівництва розташований на VI надзаплавній терасі – 70–80 м (200–210 м абсолютної відмітки), яка складена, переважно, юрськими відкладами.

Положення ділянки будівництва в області сполучення різних тектонічних структур зумовлено розвитком великого комплексу геологічних та інженерно-геологічних процесів, серед яких провідне місце займають екзогенні процеси (ерозійні, суфозійні, гравітаційні тощо).

Ерозійні процеси розвиваються в межах міста в значних масштабах. Основна причина їх виникнення – це діяльність людини (порушення ґрунтового шару, невпорядкований збір промислово-побутових вод, штучна концентрація поверхневого стоку тощо). За інтенсивністю розвитку яружної мережі в різних за літологічним складом і віком породах виділяють яри в: девонських вапняках; юрських пухких відкладах; піщано-галечникових четвертинних відкладах; лесоподібних четвертинних відкладах.

Яроутворення в девонських вапняках розвивається на крутих, добре оголених схилах річкової долини. Внаслідок високої міцності корінних порід і значної опірності розмиву, яри в цих відкладах, як правило, не виходять зі стадії вимоїн. Яроутворення в юрських пухких пісковиках розвивається на обох берегах річки. Вони зазвичай великої протяжності, до 1,5 км. Глибина їх біля гирла досягає 80 м. Ці яри мають V-подібну форму, з крутими, часто задернованими схилами. Більшість із них знаходиться на стадії активного розвитку. Яроутворення в лесових породах має найвище поширення з усіх перерахованих і розвинене переважно на лівобережжі. Слабка опірність лесових порід розмиву призводить до особливо інтенсивного розвитку ярів цього типу. Такі яри становлять велику загрозу для міської забудови і вимагають ефективних заходів боротьби.

Суфозійно-ерозійні процеси розвинені найбільш широко на лівобережжі у відкладах V, VI і VII терас, складених лесоподібними породами потужністю до 20 м. Процеси проявляються у вигляді воронок, каналів, дудок діаметром до 5 метрів. Вони виникають у результаті двох процесів – механічної суфозії та підземної ерозії. Суфозійно-ерозійні форми рельєфу утворюються при потраплянні стічних і господарських вод у лесові породи, чому значною мірою сприяє господарська діяльність людини (зняття ґрунтово-рослинного шару при будівництві споруд, влаштуванні котлованів, траншей, концентрація стоку тощо).

Гравітаційні процеси розвиваються по обох берегах річки та зумовлюють значну розчленованість рельєфу. Зсуви виникають як у природних умовах, так і при впливі людини. Зсуви в природних умовах розвиваються в основному на лівобережжі і приурочені до уступів високих терас, що піддаються інтенсивному підмиву водою. Вони блокового типу, ступінчасті. Зсувним деформаціям піддаються вивітрілі корінні породи (пісковики, аргіліти) та пухкі четвертинні піщано-глинисті відклади. Крім того, зсувним деформаціям піддаються борти великих ярів, де розвиваються дрібні зсуви-опливини та зсуви-обвали.

Основними факторами, що сприяють виникненню зсувів у результаті діяльності людини, є: підрізування підшви схилів, безладне скидання промислових та стічних вод, спорудження штучних насипів біля бортів ярів і балок тощо. Такі зсуви можуть бути різних типів і розмірів, залежно від геологічних умов та факторів утворення, і становлять найбільшу небезпеку при будівництві й експлуатації об'єктів міської інфраструктури.

Обвальнo-осипні явища розвинені на обох берегах, на уступах терас, по бортах і уступах великих ярів, на крутих схилах річкової долини.

На лівобережжі обвали та осипи розвиваються при підрізуванні підшви схилів і порушенні кута природного укосу в пухких піщано-глинистих відкладах надзаплавних терас. На правобережжі цим процесам піддаються великі схили, представлені скельними та напівскельними породами, в яких розвинені процеси вивітрювання.

Ґрунт (нім. Grund — ґрунт, земля, основа) — узагальнене найменування поверхневих гірських порід у будівельній та дорожній справі. Об'єкт інженерно-господарської діяльності людини. Ґрунти використовують як основи будівель і різних інженерних споруд, матеріал для зведення споруд (доріг, насипів, гребель), середовище для розміщення підземних об'єктів (тунелів, трубопроводів, сховищ) тощо [2].

Пісковик - уламкова осадова гірська порода, що являє собою однорідний або шаруватий агрегат уламкових зерен розміром від 0,1 мм до 2 мм (піщинок), зв'язаних будь-якою мінеральною речовиною (цементом). Пісковики утворюються в результаті руйнування гірських порід, перенесення уламків водою або вітром і відкладення з подальшою цементацією. Ступінь обкатаності уламків і ступінь відсортованості за величиною зерен вказують на протяжність перенесення уламків від місця первісного утворення. У переважній більшості різновидів пісковиків переважає кварц, як найбільш стійкий фізично і хімічно мінерал [4].

Суглинки - пухкі молоді континентальні відклади, що складаються з частинок менше 0,01 мм, які містяться приблизно в кількості 30–50 %, та

уламкового матеріалу крупніше 0,01 мм, що становить відповідно 70–60 %. У суглинках зазвичай присутні близько 10–30 % глинистих частинок діаметром менше 0,005 мм, які й зумовлюють основні їхні фізико-технічні показники. За характерну ознаку суглинків зазвичай приймається зміна числа пластичності в межах від 7 до 17 [2-4].

Супісок (супісь) - пухка гірська порода, що складається головним чином з піщаних і пилюватих частинок з додаванням близько 3–10 % алевритових, пелітових або глинистих частинок. Число пластичності для супіску становить від 1 до 7. Супісок менш пластичний, ніж суглинок. Джгут, скачаний із суглинку, не розсипається, на відміну від джгута із супіску. Більш глинисті супіски називаються важкими, менш глинисті - легкими. Залежно від вмісту піщаних зерен відповідних розмірностей і пилюватих частинок розрізняють грубопіщані, дрібнопіщані та пилюваті супіски. У супісках присутні глинисті мінерали (каолініт, монтморилоніт) [1, 4-7].

Пісок - осадова гірська порода, а також штучний матеріал, що складається із зерен гірських порід. Дуже часто складається з майже чистого мінералу кварцу (речовина - діоксид кремнію). Це пухка суміш зерен крупністю 0,16–5 мм, що утворилася в результаті руйнування твердих гірських порід[3-5].

Гравій - пухка крупноуламкова (псефітова) осадова гірська порода, складена обкатаними уламками порід (іноді містить уламки мінералів розміром 1–10 мм), що утворилися в результаті природного руйнування (вивітрювання) твердих гірських порід [4, 6].

Усі ґрунти, що використовуються як основа для будівель і споруд, поділяються на такі типи: піщані ґрунти, скельні ґрунти, суглинки та супіски, глинисті ґрунти, ґрунти з органічними домішками, крупноуламкові ґрунти, леси, насипні ґрунти, пливуни.

Іноді фахівці користуються укрупненим поняттям для класифікації ґрунтів і поділяють їх, наприклад, на зцементовані (або скельні) та незцементовані.

Зцементовані або скельні ґрунти складаються з кам'яних гірських порід, що важко піддаються розробці вибухом або дробленням клинами, відбійними молотками тощо.

Таблиця 1.1 Нормативні та розрахункові показники фізико-механічних властивостей ґрунтів [3-8]

Показники	Техногенні відклади		Алювіальні відклади		
	Гравійний ґрунт із включенням піщано-суглинистого матеріалу ІГЕ-1	Суглинок легкий світло-коричневий твердий, напівтвердий, слабкопросадний з прошарками непросадного ІГЕ-2	Супісок світло-коричневий твердий, слабкопросадний з прошарками непросадного ІГЕ-3	Супісок світло-коричневий пластичний слабкопросадний ІГЕ-3а	Пісок дрібний, середньої щільності, малого ступеня водонасичення ІГЕ-4
Щільність ґрунту, г/см ³	-	1,89	1,81	1,93	1,69
Коефіцієнт пористості, д.о.	-	0,689	0,700	0,554	0,685
Коефіцієнт внутрішнього тертя	0,3639	0,4040	0,5095	0,4452	0,4877
Кут внутрішнього тертя, град.	20	22,1/16,7	26,7/13,8	24	26
Питоме зчеплення, кПа	5	27,1/17,1	17,3/13,9	13	2

Незцементовані ґрунти зазвичай складаються з піщаних, пилюватих і глинистих частинок, залежно від вмісту яких вони поділяються на: пісок, супісок, суглинок, глину.

Глина буває пісною або жирною, залежно від трудомісткості розробки - легкої або важкої. Особливо важка для розробки глина називається ломовою.

Ґрунти мають власні показники фізичних і водних властивостей, такі як: вологість, щільність (об'ємна вага), питома вага, зчеплення, пористість і коефіцієнт пористості, ступінь вологості, щільність пісків у максимально пухкому і максимально щільному складеннях, пластичність, консистенція, структурна міцність і чутливість, зерновий (гранулометричний) склад, розмокання, водоутримуюча здатність, коефіцієнт фільтрації.

Ці властивості обчислюються в спеціальних лабораторіях, за висновками яких визначаються якість ґрунтів і технології подальшого будівництва. Такий показник, як анізотропія механічних властивостей ґрунту, досліджується в основному, коли йдеться про великі, складні об'єкти.

Для цілей будівництва зазвичай розглядають фізико-механічні властивості ґрунтів. За даними бурових і лабораторних робіт, в інженерно-геологічній будові будівельного майданчика виділяють наступні інженерно-геологічні елементи (ІГЕ):

ІГЕ-1 - насипні ґрунти;

ІГЕ-2 - алювіальні піски середньокрупні, середньощільні;

ІГЕ-3 - алювіальні піски дрібні, середньощільні;

ІГЕ-4 - моренні суглинки тугопластичні;

ІГЕ-5 - флювіогляціальні піски дрібні, щільні.

Взаєморозташування інженерно-геологічних елементів зазвичай показується на інженерно-геологічних розрізах. Однак у деяких випадках створюють додаткові документи. Фізико-механічні властивості ґрунтів — це характеристики деформованості та міцності, що відображають механічні процеси, які відбуваються в ґрунтах унаслідок силових впливів (зовнішніх і внутрішніх, природних і антропогенних).

Представлені вище інженерно-геологічні умови будівництва автостоянки є вельми сприятливими для спорудження підземного об'єкта, оскільки на всій глибині ведення будівельних робіт відсутні підземні води.

Оскільки наданий вами матеріал описує реальну геологію долини Дніпра (Український щит, палеогенові та неогенові відклади), я відредагував його з акцентом на інженерно-геологічні особливості, які є критично важливими для проектування глибокого підземного паркінгу методом Top-Down. Історичні та суто географічні деталі були дещо ущільнені, а термінологія приведена до стандартів технічної документації.

Модельна ділянка будівництва підземної багаторівневої автостоянки розташована в межах долини річки Дніпро, яка просторово та тектонічно приурочена до середньодніпровського мегаблока Українського щита (УЩ). У межах міської забудови долина річки виступає природною межею між Дністровсько-Дніпровською (правобережна частина) та Лівобережно-Дніпровсько-Приазовською північностеповими фізико-географічними провінціями.

Правобережна частина долини відноситься до зниженої ділянки Придніпровської височини, тоді як лівобережна є степовою низовиною, що поступово підвищується на північ і південь, переходячи у Запорізьку рівнину.

Нерівності поверхні докембрійського фундаменту в цій частині УЩ мають складне тектонічне та денудаційне походження. Розломи орієнтовані переважно в меридіональному напрямку, з якими пов'язані вузькі долиноподібні грабени, виповнені осадовими породами різного віку. Територія характеризується поширенням кристалічних докембрійських порід (переважно граніти та плагіоклазові мігматити архейського й протерозойського віку, з поверхні вивітрілі), які перекриті потужним шаром осадових відкладів товщиною до 70–100 м. Саме ця товща перекриваючих порід є основним середовищем для ведення підземних будівельних робіт методом Top-Down.

Розчленованість поверхні ярами, балками та байраками чітко успадковує тектонічні порушення фундаменту. Історично ця територія характеризувалася надзвичайно густою яружно-балковою мережею (зокрема, Звонецька, Тягинська, Хортицька та інші балки), що свідчить про високу активність екзогенних

процесів, які необхідно враховувати при оцінці стійкості схилів та огорожувальних конструкцій.

Комплекс осадових порід у районі будівництва представлений відкладами кількох геологічних епох:

- Палеогенові відклади: київський ярус (мергелі, глини, піски, опоки) та харківський ярус (піски й пісковики).

- Неогенові відклади: гельветський і тортонський яруси (глини, мергелі, вапняки), середньосарматський під'ярус (глини, алевроліти, піски, вапняки), нерозчленовані нижньо-верхньоміценові породи (бурі глини), верхньоєоценовий піщано-гравійний комплекс та понтичні вапняки, піски і глини.

- Четвертинні відклади: з поверхні залягають породи різного генезису. На плато поширені покривні лесові породи, а в долинах - алювіальні утворення (піски з лесовими породами в межах надзаплавних терас).

Лесова формація представлена тут найповніше (зокрема, опорний розріз кайдацького горизонту), що вимагає підвищеної уваги до просадних властивостей ґрунтів під час проектування фундаментів та підпірних стін паркінгу.

Гідрогеологічні умови району складні та визначаються наявністю п'яти водоносних горизонтів і комплексів: четвертинного, неогенового, горизонтів у харківських та бучацьких відкладах, а також вод у тріщинуватих зонах кристалічних порід докембрію. Визначальний вплив на умови будівництва та експлуатації підземної автостоянки мають поширені води четвертинного комплексу, що вимагає проектування надійних систем гідроізоляції та водовідведення (дренажу) на етапі зведення рівнів паркінгу.

У тектонічному відношенні ділянка будівництва розташована в зоні сучасної геодинамічної активності. Ця активність зумовлена поєднанням ендегенних і екзогенних процесів, а також гідродинамічним впливом масивів поверхневих вод.

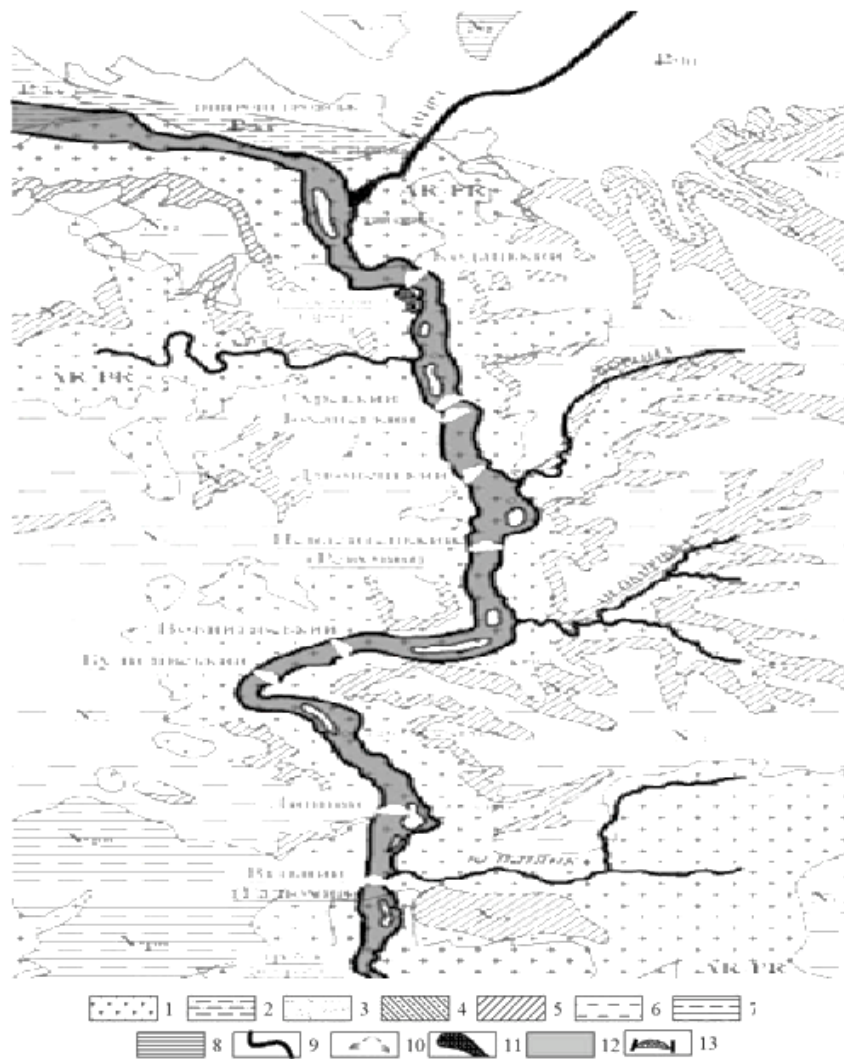


Рис. 1.1. Геологічна карта-схема на ділянці Дніпровського водосховища

1 – архей та протерозой (граніти і мігматити сірі та рожеві плагіоклазові); 2 – палеоген, київська світа (мергелі, глини, піски, опоки, пісковики); 3 – палеоген, харківська світа (піски глауконітові, пісковики кременисті); 4 – неоген, гельветський та тортонський яруси (глини, мергелі, вапняки); 5 – неоген, сарматський ярус (глини, алевроліти, піски, вапняки); 6 – міоцен–пліоцен (строкаті глини); 7 – неоген, понтичний ярус (вапняки черепашкові, піски, глини, пісковики); 8 – неоген нерозчленований (піщано-галечникові відклади); 9 – акваторія водосховища; 10 – Дніпрові пороги; 11 – Кодацький кар’єр; 12 – урбанізована територія; 13 – гребля

З точки зору оцінки стійкості огорожувальних конструкцій (спеціальна частина проекту), особливої уваги заслуговують морфоструктурно-неотектонічні вузли. Їхня специфіка полягає у:

1. Високому ступені тектонічної роздрібленості, яка прослідковується у верхній частині осадового чохла.
2. Аномальних перепадах значень рельєфу.
3. Активізації ерозійно-суфозійних процесів.

Крім того, необхідно враховувати фоновий природний динамічний вплив (вібрації), який може передаватися як від локальних гідродинамічних джерел, так і у вигляді відголосків сейсмічної активності з платформної частини України. Це вимагає закладення додаткових коефіцієнтів запасу міцності при розрахунку залізобетонних конструкцій, що зводяться методом Top-Down.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ

Товариство з обмеженою відповідальністю «Київський трубний завод» юридично та фактично розташоване за адресою (рис. 2.1): провулок Мисливський, будинок 1Б. Ця локація знаходиться у Голосіївському районі, що охоплює південну частину міста Києва, у безпосередній близькості до Столичного шосе. Таке просторове розміщення є критично важливим фактором для підприємства металургійного профілю, оскільки його функціонування нерозривно пов'язане з необхідністю регулярної доставки великовагової сировини та безперебійного вивезення об'ємної готової продукції.

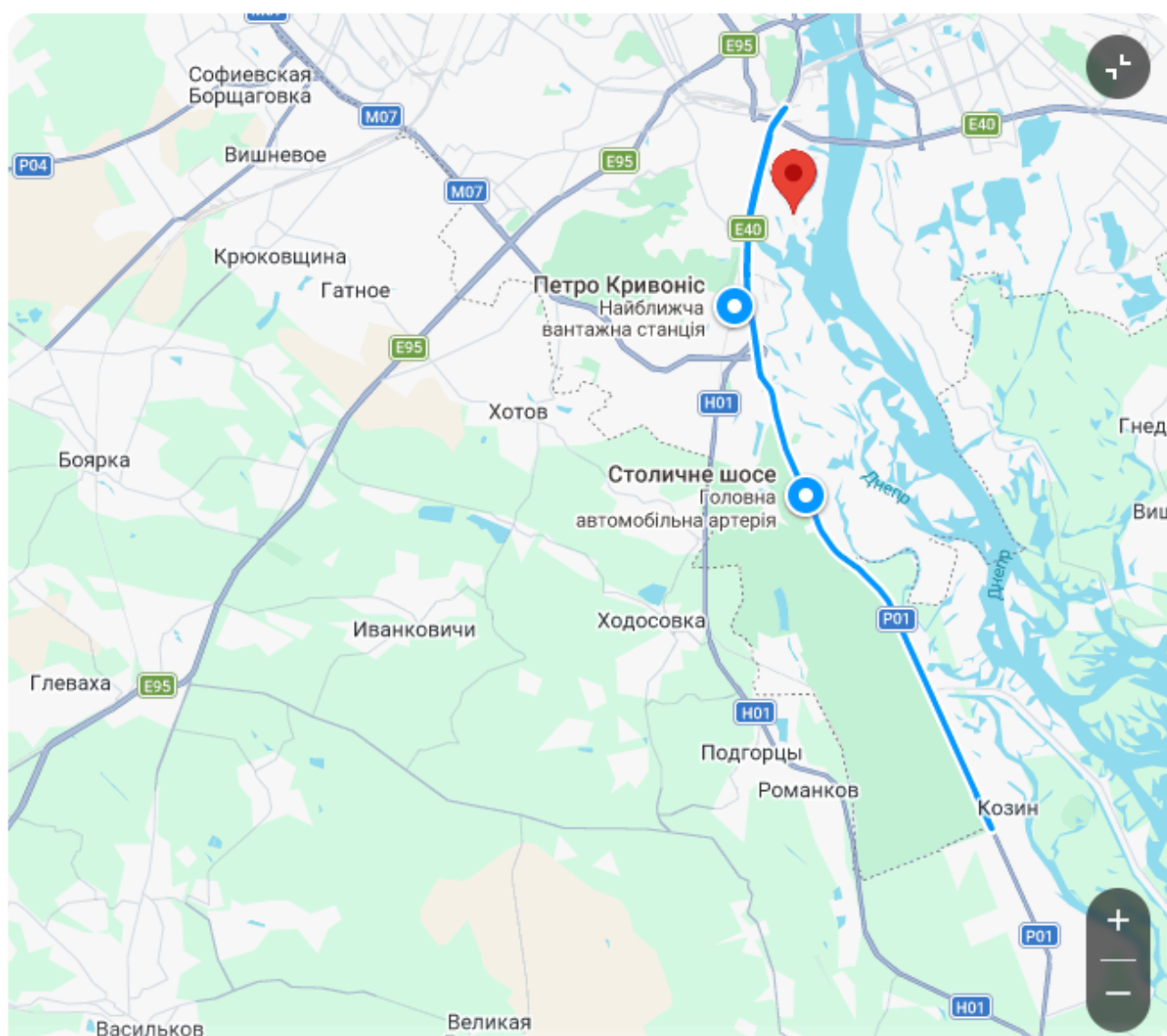


Рис. 2.1 Картографічна схема локації

Транспортна локація об'єкта характеризується високим промислово-логістичним потенціалом, адже район безпосередньо прилягає до головних південних транспортних воріт столиці. Головною магістраллю виступає Столичне шосе (траса національного значення Н-01) - потужна багатосмугова дорога з високою пропускнуою здатністю. Вона забезпечує прямий вихід вантажівок на Кільцеву дорогу та швидкий виїзд у південному напрямку до таких індустріальних центрів, як Обухів, Кременчук та Дніпро. Транзит до лівобережних районів міста та вихід на траси в напрямку Борисполя (М-03), Харкова й Чернігова здійснюється через розташовані неподалік Південний міст та міст Патона.

Сам Мисливський провулок пролягає у спеціалізованій промислово-складській зоні. Дорожнє покриття тут від початку розраховане на постійний рух великовагового транспорту, зокрема фур, довгомірів та металовозів. Важливою перевагою такого розташування є те, що великогабаритний транспорт має змогу під'їжджати безпосередньо до території заводу в обхід центральних районів міста, де діють суворі обмеження на рух вантажівок у денний час.

Район Віти-Литовської та Столичного шосе історично формувався як потужний промисловий вузол. Поблизу підприємства пролягає залізнична гілка та функціонує вантажна станція «Петро Кривоніс» Південно-Західної залізниці. Таке інфраструктурне сусідство дозволяє підприємствам району ефективно комбінувати автомобільні перевезення із залізничним постачанням масивної сировини, такої як металеві заготовки, штрипси чи рулонна сталь. Хоча можливість безпосереднього заїзду вагонів на територію заводу залежить від наявності приватної під'їзної колії, близькість вантажної станції суттєво оптимізує логістичні ланцюги.

Транспортна доступність локації для співробітників підприємства оцінюється як цілком задовільна. Найближчими станціями метрополітену є «Видубичі» на зеленій лінії, а також «Васильківська» та «Виставковий центр» на синій лінії. Хоча прямого пішохідного доступу до станцій метро немає, вздовж Столичного шосе курсує розгалужена мережа приміських та міських автобусів, а

також маршрутних таксі. Значна частина цього пасажирського транспорту відправляється від автостанції «Видубичі», що забезпечує надійне та своєчасне підвезення робочої сили на виробничі зміни.

Аналіз інтенсивності вантажного руху в районі провулку Мисливського базується на специфіці логістики південних під'їздів до Києва. Для металургійного підприємства цей фактор є фундаментальним, адже він напрямую визначає графіки постачання та відвантаження. Столичне шосе є однією з найбільш завантажених магістралей міста, оскільки з'єднує столицю з ключовими промисловими регіонами Правобережжя та Півдня України.

До основних логістичних ризиків локації належать регулярні затори на розв'язках. У ранкові та вечірні години пік спостерігається значне ускладнення руху на перетині Столичного шосе з Південним мостом та в районі станції «Видубичі». Крім того, вузькі внутрішні проїзди промислової зони можуть періодично блокуватися або суттєво ускладнювати маневрування довгомірного транспорту, особливо коли на сусідніх складах відбувається інтенсивне паркування вантажівок уздовж проїжджої частини. Розподіл вантажного трафіку та відповідні обмеження протягом доби мають чітко виражену динаміку, яка деталізована у таблиці 2.1.

Окрім щоденних часових обмежень, на логістичну діяльність заводу критично впливають сезонні фактори. У літній період, коли температура повітря перевищує +28 °С, на державному рівні вводиться тепла заборона на рух великовагового транспорту із загальною масою понад 24 тонни або навантаженням на вісь понад 7 т у проміжок часу з 10:00 до 22:00. Оскільки трубна продукція та сталеві рулони перевозяться саме машинами такого класу, транспортна логістика підприємства у спекотні місяці вимушено зміщується виключно на нічний час. Додатковим викликом є регулярні дорожні роботи на Столичному шосе, які супроводжуються звуженням смуг та утворенням непрогнозованих заторів.

З огляду на вищезазначені інфраструктурні особливості, для оптимізації роботи підприємства пропонується комплексний підхід до планування рейсів.

Таблиця 2.1 – Динаміка вантажного трафіку та часові вікна логістики

Період доби	Рівень трафіку довгомірів	Особливості руху та обмеження
07:00 – 10:00 (Ранковий пік)	Мінімальний (вимушено)	Діє офіційна заборона на в'їзд вантажівок вагою понад 4,5 тонни в місто. Транспорт накопичується на під'їздах до контрольно-пропускних пунктів.
10:00 – 16:00 (Денне вікно)	Максимальний	Найбільш активна фаза логістики. Рух інтенсивний, але стабільний. Швидкість вантажного транспорту знижується через загальний щільний потік авто.
16:00 – 17:00 (Критичний затор)	Високий (сплеск активності)	Водії намагаються терміново залишити місто або проїхати ключові розв'язки до початку дії вечірньої заборони на проїзд.
17:00 – 20:00 (Вечірній пік)	Мінімальний (вимушено)	Повторна заборона на рух великогабаритного транспорту містом. Транспортування великих партій металопродукату в цей час повністю зупиняється.
20:00 – 07:00 (Нічне вікно)	Помірно-високий	Основний час для транзитних перевезень та завезення важкої металургійної сировини без затримок у заторах.

Завантаження автомобілів та їх виїзд з території Мисливського провулку доцільно призначати на стабільні часові вікна: з 10:30 до 14:00 у денний час, або вже після 20:30 ввечері. Це дозволить мінімізувати ризики штрафних санкцій та фінансових втрат від простою в заторах. Для виїзду вантажівок на лівий берег

Дніпра (зокрема через Південний міст) рекомендується впровадити використання спеціалізованих систем маршрутизації. GPS-навігатори комерційного класу допоможуть водіям автоматично оминати ділянки із суворим габаритним чи ваговим контролем, адаптуючись до поточного стану дорожньої мережі столиці.

Підсумовуючи результати аналізу логістичної інфраструктури та інженерно-геологічних умов, можна зробити однозначний висновок про гостру необхідність спорудження сучасного підземного паркінгу в досліджуваній локації. Детальний розгляд транспортної ситуації виявив критичний дефіцит вільного простору. Висока інтенсивність трафіку, жорсткі часові обмеження на рух великовагового транспорту та постійне скупчення автомобілів очікування призводять до регулярного блокування вузьких внутрішніх проїздів. Транспортні засоби співробітників навколишніх підприємств та транзитні авто, запарковані вздовж проїжджої частини, суттєво знижують пропускну здатність вулично-дорожньої мережі, паралізуючи локальну логістику та створюючи аварійно-небезпечні ситуації.

Вирішенням цієї комплексної урбаністичної проблеми є перенесення статичного транспортного навантаження під землю шляхом будівництва багаторівневої автостоянки. Такий об'єкт дозволить акумулювати значну кількість легкового та комерційного транспорту, повністю звільнивши наземні площі для вільного і безпечного маневрування великогабаритної техніки. Це, у свою чергу, оптимізує логістичні ланцюги місцевих підприємств і розвантажить прилеглі транспортні розв'язки Столичного шосе.

Враховуючи специфіку ділянки - щільну міську та промислову забудову, наявність розгалуженої мережі підземних комунікацій та безперервний інтенсивний рух - застосування традиційних методів будівництва з відкритим котлованом є абсолютно неприпустимим. Такий підхід вимагав би тривалого перекриття доріг та зупинки роботи сусідніх об'єктів. Саме тому єдино правильним та економічно обґрунтованим рішенням є застосування технології «Top-Down» (зверху-вниз). Цей метод дозволяє спочатку влаштувати огорожувальні конструкції та верхнє перекриття паркінгу, швидко відновивши

рух транспорту на поверхні, після чого безпечно продовжувати розробку ґрунту та зведення нижніх ярусів у підземному просторі.

Крім того, вибір методу «Top-Down» ідеально відповідає складним інженерно-геологічним умовам долини річки. Як було зазначено в попередніх розділах, наявність просадних лесових ґрунтів та постійні динамічні вібрації від інтенсивного автомобільного й залізничного трафіку вимагають підвищеної надійності. Влаштування жорстких огорожувальних стін (наприклад, «стіни в ґрунті»), які одночасно слугують несучими конструкціями підземної споруди, гарантує абсолютну стійкість стінок котловану, унеможливорює зсувні процеси та надійно захищає фундаменти існуючих сусідніх будівель від деформацій.

3. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

За способом переміщення автомобілів підземні автостоянки та гаражі концептуально (рис 3.1) поділяються на два основні типи: рампові та механізовані. У комплексах рампового типу в'їзд і виїзд транспортних засобів, а також їх переміщення з одного підземного ярусу на інший виконуються безпосередньо водіями. Цей процес відбувається по спеціальних похилих площинах - прямих або спіральних рампах (пандусах). Згідно з базовими будівельними нормами, мінімальна висота поверху в підземних гаражах рампового типу повинна становити у чистоті 2,0 метри, проте для забезпечення належного комфорту та розміщення інженерних комунікацій на практиці висоту кожного ярусу проектують у межах 2,2–2,5 метрів.

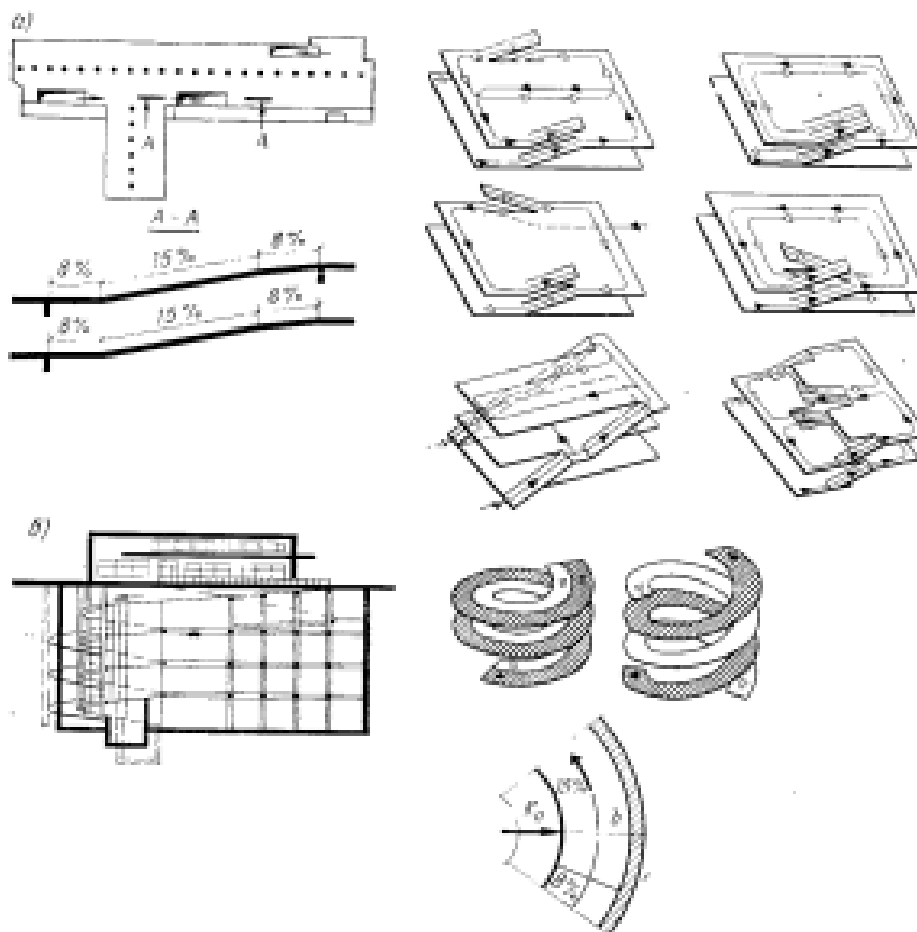


Рис 3.1 Різні види прямих (а) та спіральних (б) рамп

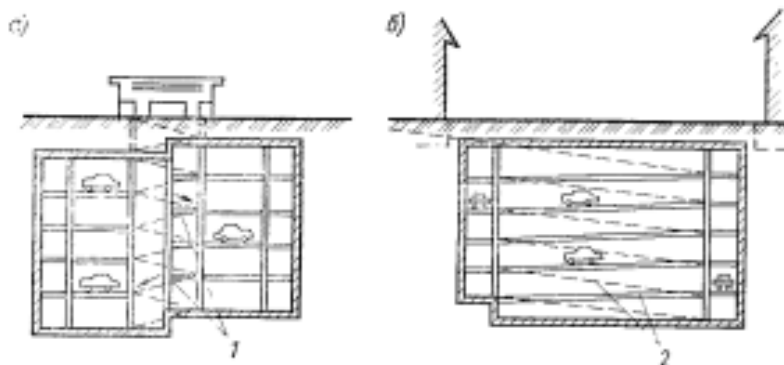


Рис 3.2 Схеми підземних гаражів з напіврампами (а) та похилими перекриттями(б): 1 напіврампи; 2- похилі перекриття

Для просторового переміщення автомобілів усередині багаторівневого гаража застосовують різні конфігурації рамп. Прямі рампи зазвичай проектують із похилом до 10 % для зовнішніх відкритих ділянок та до 18 % для внутрішніх закритих проїздів. Ширина такої рампи становить 3,0 метри для однорядного руху автомобілів і 5,5–6,0 метрів для повноцінного дворядного руху. Спіральні (гвинтові) рампи дозволяють заощадити корисну площу споруди; їх влаштовують із похилом до 10 % поза межами гаража та до 13 % у його внутрішніх межах. У деяких архітектурних рішеннях для переїзду машин з ярусу на ярус використовують напіврампи, зміщуючи перекриття сусідніх приміщень рівно на половину висоти поверху. Іншою ефективною альтернативою є спорудження суцільних нахилених міжярусних перекриттів, які одночасно виконують функцію і пандуса, і місця для паркування. Загальна кількість рамп, а також необхідних в'їздів та виїздів визначається розрахунковим шляхом. Вона залежить від загальної кількості автомобілів на всіх рівнях, розрахункової інтенсивності руху та графіка пікових навантажень автостоянки.

Світовий досвід містобудування демонструє, що в центральних районах великих міст зі щільною забудовою найбільш ефективними виявляються підземні рампові гаражі місткістю від 450 до 1200 автомобілів. Оптимальна кількість підземних ярусів для таких об'єктів становить від 2 до 5. Показовим прикладом такого підходу є масштабна двоярусна підземна автостоянка під площею Макса Йозефа у Мюнхені (Німеччина). При проектуванні подібних заглиблених об'єктів

товщина шару ґрунту над верхнім перекриттям (дахом паркінгу) зазвичай становить 1,5–2,0 метри, що дозволяє відновити на поверхні повноцінний благоустрій, зелені зони або дорожнє покриття. Важливою урбаністичною вимогою є правильне розташування порталів: в'їзди та виїзди повинні знаходитися на відстані не ближче 10–20 метрів від фасадів житлових будівель і примикати до прилеглих другорядних вулиць, щоб не блокувати транзитний рух на головних транспортних магістралях.

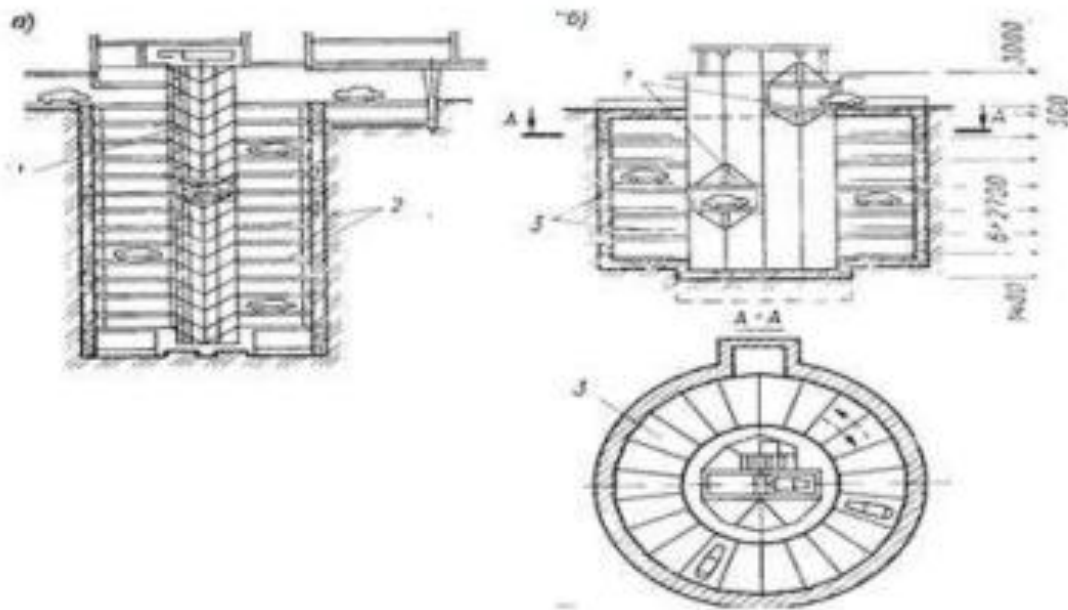


Рис 3.3 Механізовані підземні гаражі

Принципово іншим підходом є створення механізованих гаражів. У таких комплексах переміщення машин здійснюється повністю автоматизовано за допомогою системи ліфтових підйомників та транспортерів. Незважаючи на значно вищу вартість будівництва та обладнання, механізовані паркінги мають суттєві експлуатаційні переваги. Завдяки тому, що автомобілі пересуваються із вимкненими двигунами, колосально скорочуються витрати на потужну систему вентиляції та димовидалення. Крім того, відсутність потреби в пандусах, проїздах для маневрування та пішохідних зонах дозволяє максимально ущільнити зберігання автомобілів, суттєво зменшивши загальний будівельний об'єм підземного об'єкта. В останні роки набули поширення повністю автоматизовані

гаражі, де всі операції виконуються засобами дистанційного управління без будь-якого доступу людей до зони зберігання.

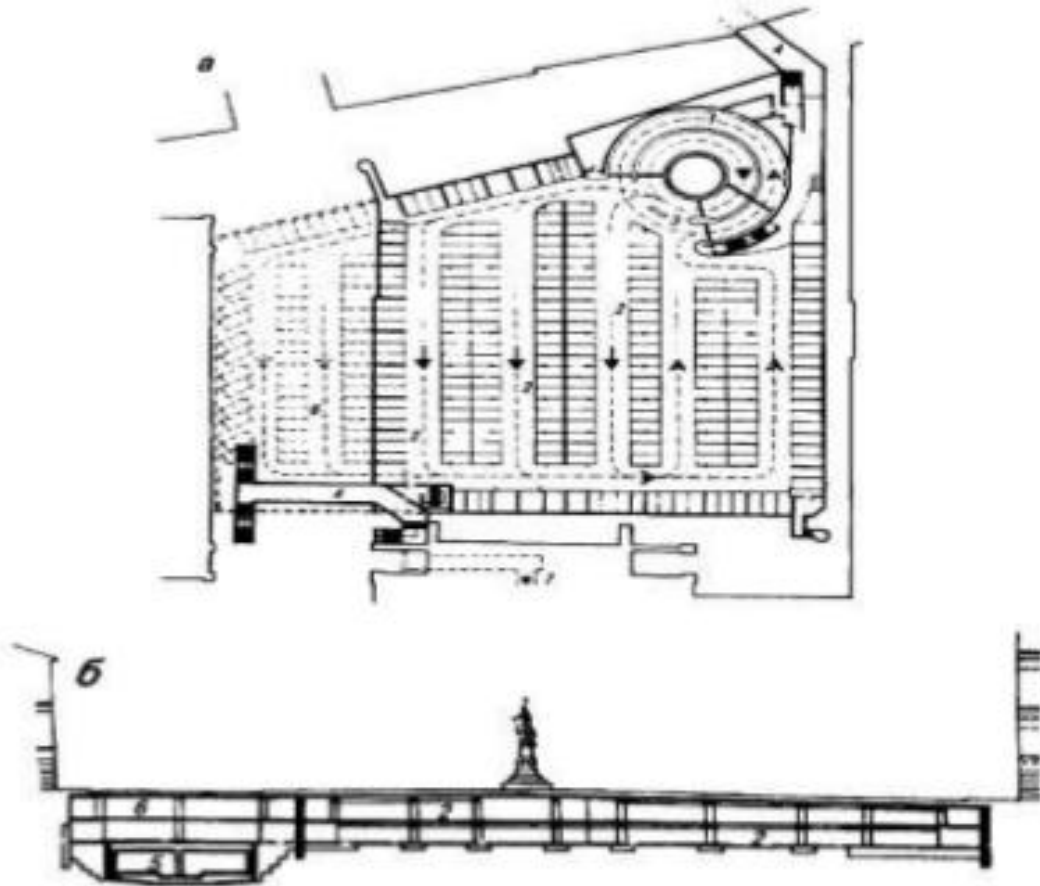


Рис 3.4 Двоярусний підземний гараж на Макс-Йозефплац у Мюнхені, Німеччина: 1- пандуси в'їзду та виїзду; 2 стоянки автомобілів; 3-контроль, каса; 4- підземні переходи; 5 проектована станція метрополітену; б друга черга будівництва гаража; 7 будинок

Просторово механізовані багатоярусні підземні гаражі найчастіше проектують прямокутного або круглого обрису в плані. Прямокутні комплекси обладнують спеціальними боксами та системою рухомих візків, які горизонтально подають автомобілі до центральної шахти ліфтового підйомника. У спорудах круглого типу на кожному ярусі монтують поворотну платформу. Ліфт піднімає автомобіль на потрібний рівень, після чого платформа обертається по колу і встановлює транспортний засіб безпосередньо навпроти вільного коміркового боксу.

Для забезпечення належного рівня безпеки будівельні норми жорстко регламентують параметри таких об'єктів. Зокрема, один блок підземної автостоянки з механізованим пристроєм не може перевищувати місткість у 30 машиномісць. Якщо проект передбачає більшу місткість, паркінг компонують із кількох незалежних блоків. Ці блоки обов'язково розділяються капітальними протипожежними перегородками з межею вогнестійкості не менше 2,5 годин, що локалізує можливе займання і захищає несучі конструкції. У будь-якому разі, вибране об'ємно-планувальне рішення має гарантувати безперебійну і швидку постановку автомобілів на стоянку та їх оперативну видачу на поверхню землі без утворення черг.

Варто зазначити, що повністю автоматизовані та механізовані гаражі, незважаючи на їхню просторову ефективність, обходяться значно дорожче за традиційні рампові аналоги через високу вартість підйомного обладнання та його обслуговування. Тому в умовах щільної міської забудови часто знаходять застосування підземні автостоянки лінійного типу. Їх споруджують безпосередньо під існуючими вулицями та проїздами. Довжина таких об'єктів може сягати 300 метрів і більше, тоді як ширина суворо обмежується габаритами вулиці, під якою вони розташовані. За наявності відповідних місцевих умов та вільного простору, підземним паркінгам надають квадратного, полігонального або круглого обрису в плані. У складних урбаністичних вузлах форма споруди може бути асиметричною, щоб максимально ефективно використати доступний підземний об'єм. Гаражі тунельного типу, як правило, мають лінійні планувальні схеми і влаштовуються у вигляді розгалуженої системи підземних галерей.

Організація внутрішнього простору вимагає раціонального підходу до розстановки транспортних засобів. У гаражах застосовують як односторонню, так і двосторонню схеми паркування. Для постійного зберігання автомобілів найбільш доцільною вважається двостороння однорядна схема, при якій машини встановлюються перпендикулярно до осі проїзду. Для об'єктів тимчасового зберігання (наприклад, біля торгових центрів) часто використовують розстановку під кутом - так звану «ялинку» або «паркетну» схему. Це полегшує заїзд на

паркувальне місце, проте слід враховувати, що такі схеми суттєво збільшують загальну площу, необхідну для розміщення тієї ж кількості автомобілів, та подовжують шляхи проїзду.

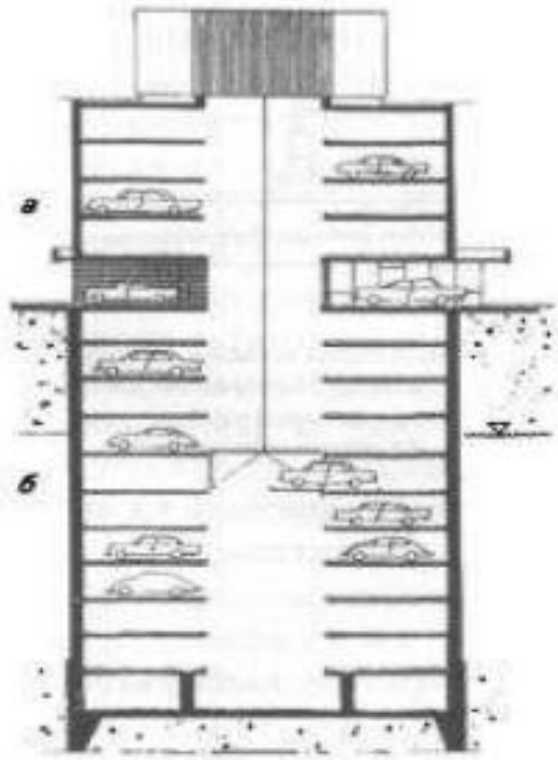


Рис 3.5 Механізований гараж-автомат торгової фірми «Карштадт» в Ессені, Німеччина: а наземна частина, б підземна частин м. Ессені, що має 5 наземних та 10 підземних ярусів.

Габарити паркувальних місць суворо регламентуються нормативними документами. Для одного стандартного легкового автомобіля ширина стоянкового місця становить від 2,2 до 2,5 метра, а довжина - від 4,6 до 5,3 метра. Мінімально допустимі розміри комірки зберігання приймаються на рівні 5 метрів у довжину та 2,3 метра у ширину. Для водіїв з інвалідністю, які користуються кріслами-колісними, ширина місця обов'язково збільшується до 3,5 метрів. Висота приміщення повинна бути не меншою за 2 метри і перевищувати габарит найвищого автомобіля щонайменше на 0,2 метра. З урахуванням площі маневрових проїздів, загальна питома площа на одне машиномісце коливається

від 20 до 28,5 квадратних метрів для легкового транспорту і може досягати 60 квадратних метрів для вантажного. Ширина самого проїзду між рядами при однорядній схемі паркування має бути не меншою за 3 метри, а при дворядній розстановці - від 5 до 7 метрів. Рух усередині гаража організовується виключно за правостороннім принципом.

Специфіка підземних споруд вимагає особливого підходу до розміщення технічних служб та інженерних комунікацій. Приміщення для мийки автомобілів, а також інші допоміжні технічні зони дозволяється розташовувати не нижче першого (верхнього) підземного поверху. Якщо підземна автостоянка вбудована у будівлю іншого призначення (наприклад, під житловий комплекс або бізнес-центр), її інженерні системи повинні бути повністю автономними від мереж основної будівлі.

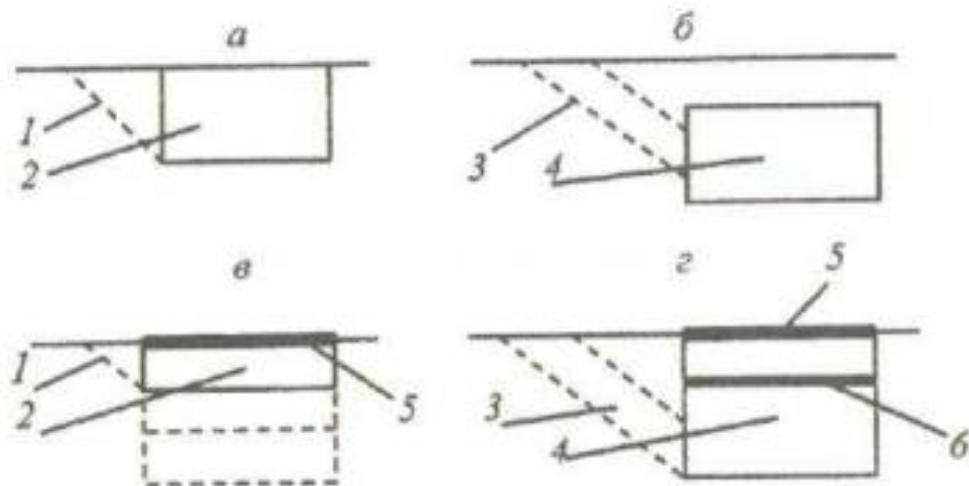


Рис 3.6 Способи будівництва автостоянок

а -відкритий; б-підземний; г відповідно перший і другий етапи комбінованого способу; 1-відкритий з'їзд-виїзд; 2 котлован; 3 похилий виробіток; 4-камера; 5 перекриття; 6-міжповерхове перекриття

Найбільш критичним елементом безпеки закритого паркінгу є система вентиляції. Вона повинна бути припливно-витяжною і виконуватися роздільно для кожного підземного ярусу. Згідно з санітарними та будівельними нормами, вентиляція має забезпечувати щонайменше шестикратний обмін повітря протягом однієї години. У перерахунку на площу це відповідає подачі близько 12

кубічних метрів свіжого повітря на годину на кожен квадратний метр корисної площі гаража. Для гарантування безперебійної роботи необхідно влаштовувати дві незалежні вентиляційні мережі; у разі виходу з ладу або відключення однієї з них, інша повинна вмикатися автоматично. Крім того, всі приміщення гаража в обов'язковому порядку обладнуються контрольно-вимірювальною апаратурою (газоаналізаторами), яка безперервно фіксує рівень чадного газу (CO). У разі перевищення гранично допустимої концентрації газів автоматично активуються резервні витяжні потужності, наявність яких є обов'язковою вимогою для автостоянок на три і більше поверхи.

Для систематизації підходів до проектування всі підземні гаражі та стоянки класифікують за кількома ключовими критеріями. За глибиною розташування відносно поверхні землі об'єкти поділяють на споруди мілкого закладення (глибиною до 15–20 метрів) та глибокого закладення (понад 15–20 метрів).

За способом будівництва розрізняють об'єкти, зведені відкритим способом (у відкритих котлованах), підземним або гірничим способом (закрита проходка), а також комбінованим способом. Варто наголосити, що технологія «Top-Down» (зверху-вниз), яка є основним предметом даної дипломної роботи, відноситься саме до передових комбінованих методів будівництва.

За критерієм поверховості (ярусності) гаражі бувають одноярусними, двоярусними та багатоярусними. Багатоярусні комплекси зазвичай налічують від трьох до п'яти рівнів, причому п'ять підземних поверхів є граничною межею, встановленою більшістю сучасних будівельних норм з міркувань пожежної безпеки та евакуації.

За місткістю розрізняють малі стоянки (до 100 автомобілів), середні (від 100 до 300 автомобілів), великі (від 300 до 1000 автомобілів) та особливо великі (понад 1000 машиномісць). Нарешті, за способом постановки транспортних засобів на місце зберігання паркінги поділяються на традиційні, де переміщення здійснюється за участю водія по похилих пандусах або рампах, та механізовані, де транспортування автомобіля у відповідну комірку відбувається за допомогою спеціалізованих автоматичних пристроїв і ліфтів абсолютно без участі людини.

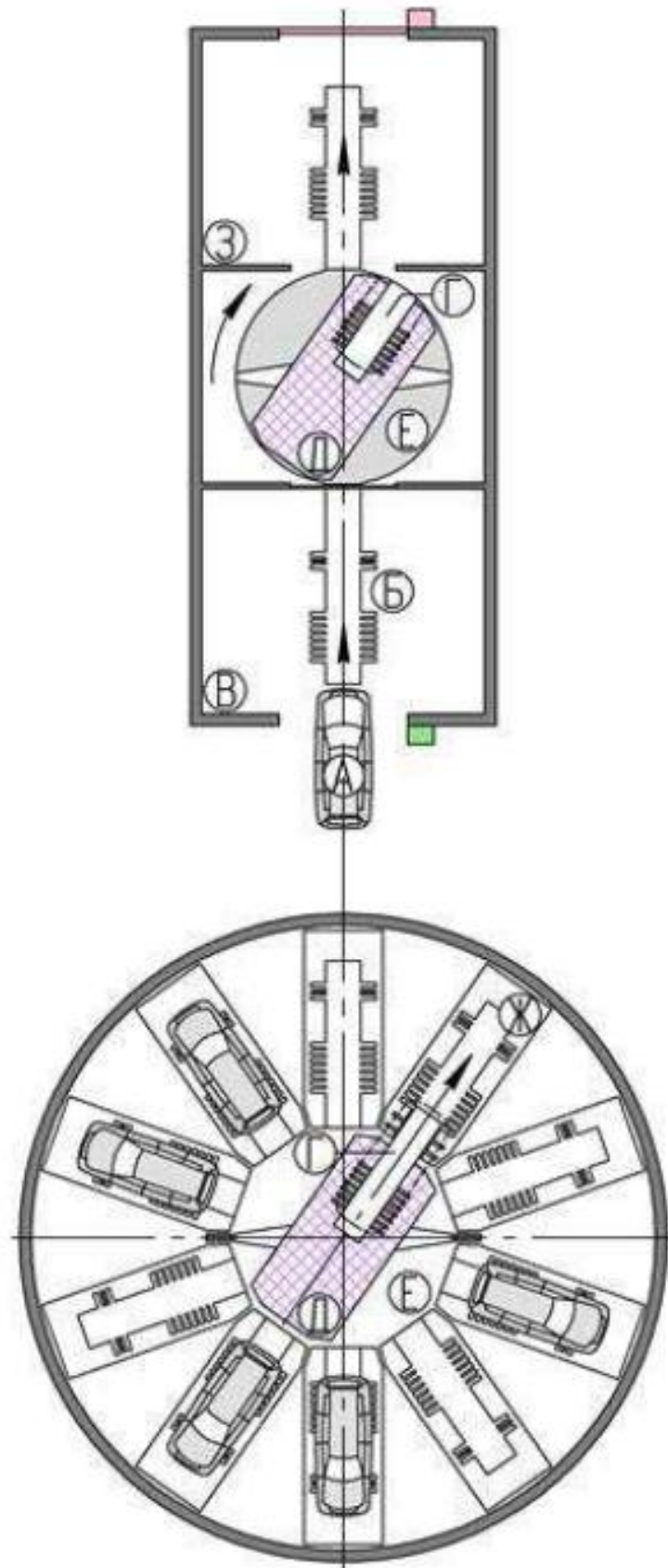


Рис 3.7 Схема вирішення автоматизованої СПА циркуляційного типу

Окремої уваги серед механізованих гаражів заслуговують багатоярусні підземні автоматизовані системи паркування циркуляційного типу. Робоча область такого механізованого пристрою зазвичай поділяється на кілька функціональних зон, які обслуговуються загальним приймальним терміналом. У кожній із цих зон забезпечується постійне циркулювання місць зберігання (піддонів) за замкненою прямокутною траєкторією. Верхня частина системи переважно призначена для утримання порожніх піддонів та тих автомобілів, першочергове переміщення яких до терміналу видачі є найбільш імовірним. У нижніх та віддалених зонах розміщуються транспортні засоби, час видачі яких є невизначеним або попередньо запланованим на більш пізній термін.

Принцип роботи такої системи базується на інтелектуальному управлінні масивом піддонів. Автомобіль заїжджає в приймальний термінал на попередньо поданий порожній піддон. Після успішної передачі транспортного засобу (під час якої користувач може вказати системі орієнтовну тривалість зберігання), механізований пристрій вертикально опускає піддон із машиною в основну зону зберігання. Розумна автоматика здатна самостійно здійснювати розігрівку автомобілів. Наприклад, якщо в глибині паркінгу знаходиться авто, час видачі якого передусь часу видачі новоприбулої машини, система автоматично переміщує піддони. Нижні ряди зсуваються по горизонталі, звільняючи шлях для підйомника, а верхні ряди синхронно пересуваються у зворотному напрямку. Увесь масив автомобілів циркулює по колу, дозволяючи новому транспортному засобу зайняти оптимальну вільну позицію без блокування інших машин. З міркувань збереження динаміки та високої швидкості обслуговування, місткість однієї такої циркуляційної системи зазвичай обмежують 30 місцями зберігання, хоча в окремих проектах вона може сягати 40–50 одиниць.

Що стосується загальних підходів до зберігання автомобілів, то підземні комплекси також класифікують за способом організації внутрішнього простору на манежні та боксові. З міркувань пожежної безпеки та складності евакуації боксові варіанти дозволяється проектувати не більше ніж на два підземні яруси. За характером розміщення транспортних засобів на стоянковому місці відносно

осі проїзду розрізняють перпендикулярне та паралельне розміщення, а також розстановку під кутом, який зазвичай варіюється в межах від 30 до 60 градусів.

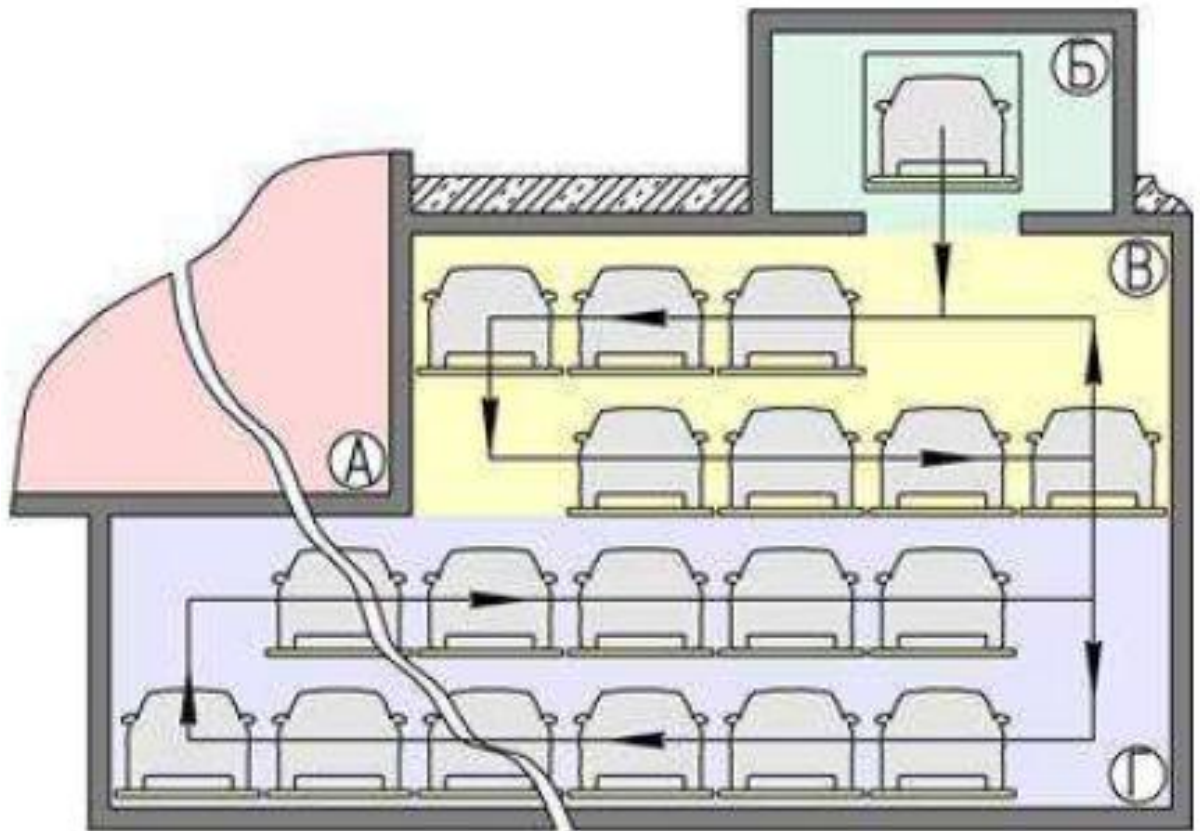


Рис 3.8 Схема розташування автомобілів

У практиці будівництва підземних автостоянок конструктивні схеми обираються залежно від глибини закладення та способу виконання робіт. При спорудженні об'єктів відкритим способом у котлованах їхні конструкції найчастіше виконують у вигляді одно- або багаторярусних, одно- або багатопролітних рамних систем. Такі просторові каркаси зводять із монолітного або збірного залізобетону, а також широко застосовують комбіновані збірно-монолітні рішення. В окремих випадках, коли виникає необхідність перекриття значних прольотів без проміжних опор або потрібно суттєво знизити загальну вагу конструкції, доцільним є використання сталевих та сталезалізобетонних елементів.

Значний практичний інтерес для нашої модельної ділянки, яка характеризується щільною міською забудовою та наявністю специфічних ґрунтів (зокрема, слабкопресадних суглинків та супісків), становить конструктивна схема з використанням технології «стіна в ґрунті», що є основою методу Top-Down. У передовій інженерній практиці огорожувальні та несучі стіни глибоких підземних паркінгів виконуються з буросічних паль з подальшим влаштуванням внутрішньої монолітної залізобетонної оболонки.

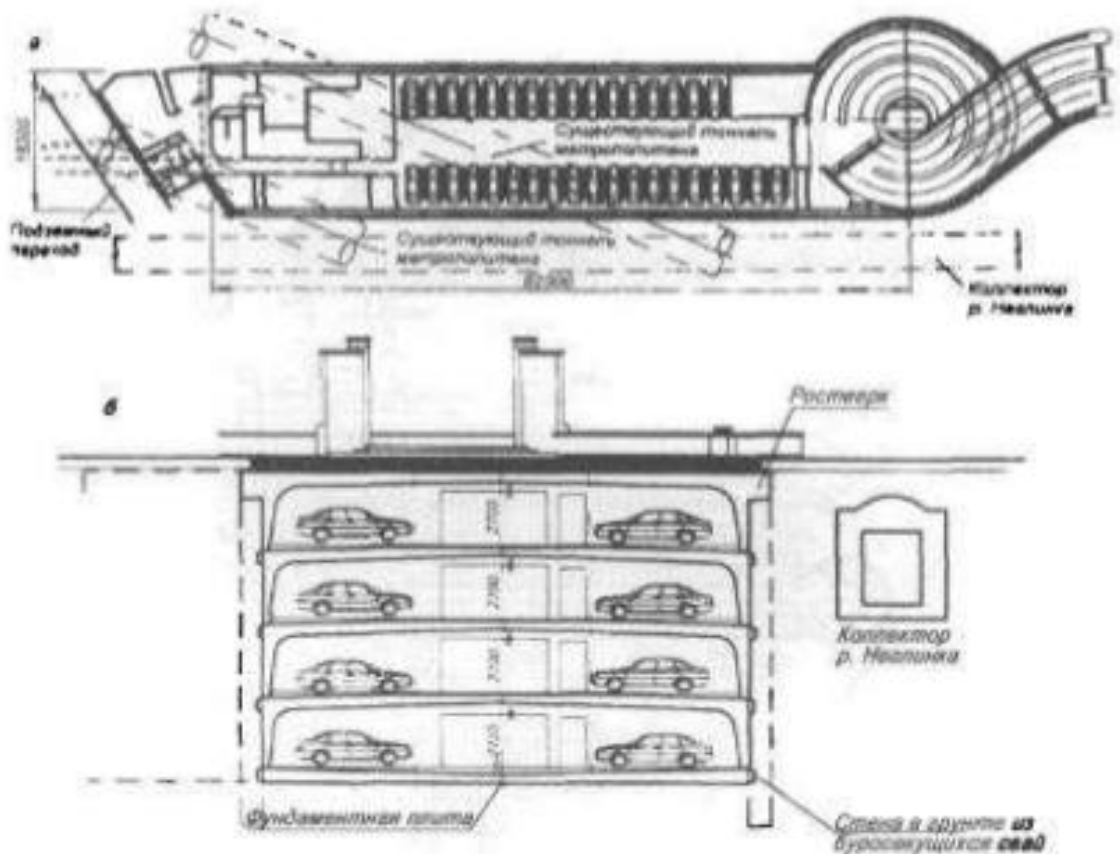


Рис. 3.9 Підземна стоянка[10]

Особливістю такої конструкції є оригінальне вузлове з'єднання плоского міжярусного перекриття із зовнішніми стінами. Навантаження від маси самих перекриттів та майбутнє експлуатаційне навантаження від ваги автомобілів переносяться на огорожувальні стіни не повністю, а частково. Це досягається за рахунок спеціального конструювання арматурних каркасів перекриттів, які своїми опорними частинами (п'ятами) входять у спеціальні ніші або штраби. Ці технологічні ніші влаштовуються заздалегідь під час зведення периметральної «стіни в ґрунті». Решта вертикального навантаження передається на внутрішні несучі конструкції (колони або пілони), які спираються на власний свайний фундамент або загальну фундаментну плиту.

Крім забезпечення виняткової несучої здатності та жорсткості каркаса, така конструктивна схема дозволяє зробити підземну автостоянку майже повністю герметичною та водонепроникною. Цей критично важливий ефект досягається завдяки тому, що суцільна гідроізоляція нижньої фундаментної плити (лотка) безперервно заводиться на вертикальні стіни, утворюючи надійний замкнений контур. Застосування такого підходу є єдино правильним рішенням для гарантування довговічності об'єкта та мінімізації впливу будівництва на навколишній масив ґрунту і сусідні споруди.

Підземні автостоянки та гаражі лінійного типу із шириною до 15–18 метрів проектують, як правило, однопролітними без використання проміжних опорних стійок. Конструкції таких об'єктів складаються з лоткової частини (фундаменту), зовнішніх несучих стін, а також верхнього та міжярусних перекриттів. Якщо ж ширина гаража зального типу перевищує 18–25 метрів, його виконують дво- або багатопролітним. У цьому випадку несучі конструкції додатково включають каркасно-ригельну систему. Вона складається з одного або кількох ярусів колон, на які спираються поздовжні прогони-ригелі, а вже по них укладаються блоки перекриття або заливається монолітна плита.

Відстань між осями колон уздовж смуги паркування приймають кратною ширині одного стоянкового місця (зазвичай 2,0–2,5 метра). Крок колон у поперечному напрямку призначають з урахуванням довжини автомобіля та

необхідної ширини проїзду для безпечного маневрування. При будівництві вбудованих підземних паркінгів сітка колон обов'язково ув'язується з кроком несучих конструкцій наземної частини будівлі. Найчастіше в підземних гаражах застосовують стандартизовану сітку колон розміром 6х6, 9х6, рідше — 18х6 метрів, що дозволяє використовувати уніфіковані елементи фундаментів, стін та перекриттів.

Розміри несучих елементів рамних конструкцій залежать від габаритів внутрішніх приміщень і розраховуються за принципами проектування автотранспортних тунелів або промислових споруд. Залежно від фізико-механічних властивостей ґрунтів (які на нашій модельній ділянці представлені суглинками та пісками) влаштовують різні типи фундаментів: стрічкові, стовпчасті, суцільні плитні або свайні. Зовнішні стіни, що спираються на фундамент, сприймають значний боковий тиск ґрунтового масиву та вертикальні навантаження від перекриттів. Їх зводять товщиною від 40 до 60 сантиметрів. У міру заглиблення споруди боковий тиск ґрунту зростає, тому товщина та ступінь армування стінових елементів можуть змінюватися по висоті.

У сучасній практиці підземного будівництва, особливо в умовах щільної забудови, найбільшого поширення набули траншейні стіни («стіна в ґрунті») з монолітного або збірного залізобетону. Такі конструкції товщиною 40–80 сантиметрів і глибиною до 25–30 метрів зводять окремими ділянками (захватками) завдовжки переважно до 5 метрів. Розробка траншеї ведеться під захистом глинистого (бентонітового) розчину, який запобігає обваленню стінок. Згодом, у міру виїмки ґрунтового ядра котловану, стіни розкріплюють міжярусними перекриттями або похилими ґрунтовими анкерами.

Показовим прикладом надійного застосування цієї технології є будівництво багатоярусної підземної автостоянки в місті Бергамо (Італія). Там котлован розміром 63х47 метрів і глибиною до 33,5 метра був закріплений траншейними стінами товщиною 0,8 метра. Тимчасове кріплення масивних стін здійснювалося ін'єкційними канатними анкерами, розташованими у шість ярусів. Ці анкери мали довжину від 20 до 28 метрів і забезпечували несучу здатність від

200 до 1000 кН кожен, що гарантувало абсолютну стійкість стінок глибокої виїмки.

Для забезпечення високої якості лицьової поверхні та підвищення водонепроникності бетону траншейних стін застосовують спеціальні технологічні прийоми. Зокрема, передбачається облицювання арматурних каркасів з боку ґрунту щільною поліетиленовою плівкою (товщиною 0,12–0,16 мм). Це дозволяє уникнути трудомісткого очищення поверхні траншейних стін перед нанесенням внутрішньої гідроізоляції. Крім того, необхідні для стикування перекриттів штроби (ніші) утворюють ще на етапі монтажу просторових арматурних каркасів шляхом кріплення до робочої арматури блоків із пінополістиролу, які потім легко вилучаються з готового бетону.

Технологія «Top-Down» (зверху-вниз) вимагає специфічного підходу до влаштування вертикальних несучих елементів. Залізобетонні або сталеві колони підземних гаражів виконуються наскрізними у вигляді окремих буронабивних паль (барет). Для цього ще з поверхні землі, до початку розробки котловану, пробурюють свердловини діаметром 50–75 сантиметрів нижче проектної позначки дна майбутньої споруди. У ці свердловини опускають масивні сталеві профілі або жорсткі арматурні каркаси та бетонують їхню фундаментну частину. У подальшому, у міру виїмки ґрунту ярусами, між цими заздалегідь влаштованими наскрізними колонами зводять міжярусні перекриття, які одразу починають виконувати функцію жорстких горизонтальних розпірок для огорожувальної «стіни в ґрунті».

Самі перекриття підземних автостоянок виконують із монолітного або збірного залізобетону, використовуючи ребристі або безбалкові (плоскі) плити. У спорудах круглого обрису блоки перекриття мають трапецієподібну форму і спираються на кільцеві ригелі. Важливою інженерною вимогою є забезпечення ефективного водовідведення: кожне перекриття заливається з невеликим поздовжнім і поперечним похилом (близько 1 %). Це дозволяє воді, що потрапляє з автомобілями або в результаті миття підлоги, стікати до визначених водостічних воронок. Далі по системі труб вода спрямовується на нижній поверх

у спеціальний дренажний зумпф, звідки автоматичними насосами перекачується в міську каналізаційну мережу, попередньо проходячи через локальні очисні споруди та вловлювачі нафтопродуктів. Доцільність такого комплексного підходу підтверджена масштабним міжнародним досвідом, зокрема програмою розвитку підземного паркувального простору в Парижі (Франція), де за подібними технологіями було успішно зведено понад 40 глибоких паркінгів на 2–8 поверхів кожен.

Підсумовуючи матеріали, викладені у теоретичній частині роботи, можна стверджувати, що проектування та будівництво підземних багаторівневих автостоянок є комплексним інженерним завданням, яке вимагає врахування безлічі архітектурних, планувальних та технологічних факторів. Теоретичний аналіз показав, що вибір між традиційними рамповими та сучасними повністю автоматизованими паркінгами залежить від наявності вільного простору, бюджету проекту та вимог до пропускної здатності. Незалежно від обраного типу, ключовою вимогою залишається суворе дотримання габаритів паркувальних місць, радіусів розворотів та забезпечення об'єкта надійними автономними системами життєдіяльності, насамперед потужною припливно-витяжною вентиляцією та ефективним водовідведенням.

Водночас огляд існуючих конструктивних схем підтверджує, що для умов щільної міської забудови та складних гірничо-геологічних умов (які характерні для обраної модельної ділянки) традиційні методи будівництва у відкритих котлованах є неефективними і часто небезпечними. Оптимальним сучасним рішенням є застосування огорожувальних конструкцій типу «стіна в ґрунті» у комбінації з технологією будівництва «Top-Down» (зверху-вниз). Цей метод дозволяє використовувати масивні міжярусні залізобетонні перекриття як надійні просторові розпірки для периметральних траншейних стін безпосередньо в процесі виїмки ґрунту.

Застосування наскрізних буронабивних паль (барет) у якості несучих колон гарантує високу просторову жорсткість каркаса ще до завершення земляних робіт. Така конструктивна схема не лише забезпечує водонепроникність

підземної споруди, але й зводить до мінімуму горизонтальні переміщення ґрунтового масиву. Це є критично важливою умовою для збереження цілісності фундаментів існуючих сусідніх будівель та підземних комунікацій.

Таким чином, проведений теоретичний огляд повністю обґрунтовує доцільність використання методу «Top-Down» для зведення багаторівневого підземного паркінгу на обраній локації. Сформована теоретична база дозволяє перейти до спеціальної частини кваліфікаційної роботи, а саме — до безпосередніх інженерних розрахунків конструктивних рішень та обґрунтування стійкості огорожувальних траншейних стін під дією активного тиску ґрунту.

4. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА ПРОЕКТУ

Об'єктом будівництва є підземна трирівнева автостоянка, розрахована на одночасне зберігання 102 автомобілів. Просторово будівля проектується прямокутної форми в плані з габаритними розмірами в осях 39,4 x 36,0 метрів. Внутрішній каркас спирається на сітку колон із кроком 5,4 x 7,0 метрів. Висота першого підземного поверху становить 2,5 метра, тоді як другий і третій яруси мають висоту по 2,2 метра у чистоті.

Основними горизонтальними несучими елементами є міжярусні перекриття, які виконуються з монолітного залізобетону товщиною 0,4 метра. Функцію вертикальних внутрішніх опор виконують буросічні палі діаметром 0,6 метра, в основу яких для забезпечення необхідної жорсткості закладається сталевий двотавр. Огороджувальні та зовнішні несучі конструкції паркінгу зводяться за передовою технологією «стіна в ґрунті» і мають проектну товщину 0,8 метра. Для їхнього просторового армування використовується сталева арматура діаметром 18 мм (питома вага одного погонного метра якої становить 2 кг). Робоча арматура в'яжеться з кроком 0,15 x 0,15 метра і розташовується у два шари.

Процес переміщення автомобілів між поверхами здійснюється по прямих рампах, які мають похил 18 %. Рух транспорту передбачено за однорядною схемою, для чого ширина проїзної частини рампи становить 3,0 метри. Габарити одного паркувального місця для стандартного легкового автомобіля прийняті рівними 2,45 метра завширшки та 4,6 метра завдовжки.

Перед початком безпосереднього спорудження огороджувальної траншейної стіни виконується комплекс обов'язкових підготовчих робіт. До них належать надійне огороження будівельного майданчика, розкриття та безпечне перенесення діючих підземних комунікацій, що потрапляють у проектні габарити стін, а також вертикальне планування поверхні з облаштуванням тимчасових під'їзних шляхів. Крім того, на майданчику зводяться тимчасові адміністративно-побутові приміщення, готуються спеціальні зони для складування конструкцій і

матеріалів та здійснюється монтаж усього необхідного технологічного обладнання.

Особливим етапом підготовки для нашої модельної ділянки є заміна верхнього слабкого шару ґрунту на глибину не менше 3 метрів привізним піщано-глинистим матеріалом з його обов'язковим пошаровим ущільненням. Після цього суворо вздовж осі майбутніх стін розробляється піонерна траншея з природними укосами глибиною від 1,5 до 2,0 метрів.

У підготовленій піонерній траншеї споруджується монолітна залізобетонна форшахта (напрямна стіна). Вона відіграє критично важливу роль у технологічному процесі: фіксує суворе проектне направлення для розробки основної глибокої траншеї, забезпечує точне просторове позиціонування грейферного механізму в ґрунті, а також створює надійну базу для підвішування важких арматурних каркасів та бетонолитного обладнання. Також форшахта слугує лотком для організованого відведення бентонітового розчину, що переливається через край під час витіснення його бетоном. Конструктивні параметри форшахти визначаються проектом виконання робіт, а її зведення здійснюється окремими секціями з монолітного залізобетону.

Ключовим елементом технології є застосування тиксотропної суспензії. Тому перед початком земляних робіт необхідно виконати монтаж, випробування та запуск бентонітової установки, яка відповідає за приготування, подачу, очищення та регенерацію глинистого розчину. Спочатку цей розчин повністю заповнює простір між стінками піонерної траншеї. Надалі, у міру виїмки ґрунту грейфером, у робочу захватку здійснюється безперервна подача свіжого розчину з таким розрахунком, щоб його дзеркало (рівень) підтримувалося не нижче ніж 0,2–0,3 метра від верхнього зрізу форшахти. Це створює необхідний гідростатичний надлишковий тиск, який надійно утримує стінки глибокої виїмки від обвалення.

Після готовності форшахти та бентонітового вузла, влаштування «стіни в ґрунті» виконується за чіткою циклічною послідовністю. Спочатку відбувається екскавація (розробка) траншеї під захистом глинистого розчину на проектну

глибину. Далі на торцях відпрацьованої захватки встановлюються інвентарні обмежувачі (металеві труби або профілі), після чого у заповнену розчином траншею опускаються заздалегідь зварені секції просторових арматурних каркасів. Завершальною і найбільш відповідальною операцією є бетонування траншеї методом вертикально переміщуваної труби (ВПТ). Важка бетонна суміш, подаючись на дно траншеї, поступово піднімається і витісняє легший бентонітовий розчин на поверхню, де він відкачується насосами для подальшої очистки та повторного використання на наступних захватках.

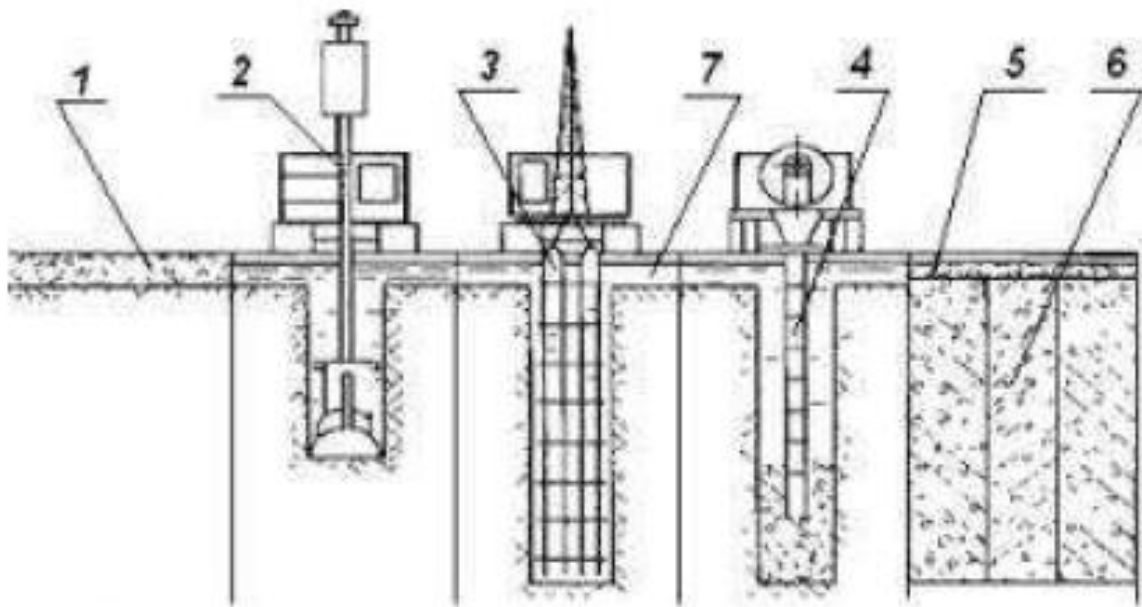


Рис 4.1 Схема будівництва підземної частини споруди методом «стіна у ґрунті»
1 – форшахта; 2 розробка фунта у траншейних захватках; 3 установка армокаркасу; 4 - бетонування методом вертикально переміщуваної труби (ТВТ); 5 пристрій обв'язувального пояса по периметру; 6 готова стіна; 7 глинистий розчин

Процес розробки траншеї при будівництві підземних споруд методом «стіна в ґрунті» ведеться виключно під надійним захистом тиксотропного глинистого (бентонітового) розчину. Виїмка ґрунту здійснюється окремими робочими ділянками — захватками, які розробляються послідовно одна за одною вздовж осі майбутньої стіни або в шаховому порядку на різних її відрізках. Конкретний спосіб та технологічна послідовність розробки визначаються

Проектом виконання робіт (ПВР) з урахуванням інженерно-геологічних умов будівельного майданчика, геометричних параметрів стіни та технічних характеристик траншеєпрохідницького обладнання. У складних ґрунтових умовах, при високому рівні залягання ґрунтових вод або на глибинах понад 15 метрів, розробку захваток рекомендується виконувати у дві черги — через одну або дві ділянки.

Довжина окремої захватки зазвичай становить від 2,0 до 6,0 метрів. Вона розраховується таким чином, щоб гарантувати абсолютну стійкість стінок траншеї під час екскавації та відповідати габаритам робочого органу траншеєкопача (грейфера). Виїмка ґрунту на захватці може здійснюватися за один або кілька проходів механізму на всю проектну глибину. Після досягнення проектної позначки дна виконується обов'язковий комплекс контрольних заходів: перевірка глибини, ретельне зачищення траншеї від шару обсипаного ґрунту та осаду глинистого розчину. Це досягається шляхом плавного опускання та переміщення грейфера по всій площині виїмки, пробного забору шлам, а також контролю щільності й повної або часткової заміни відпрацьованого глинистого розчину на свіжий.

Для формування якісних робочих швів між сусідніми ділянками стіни по краях захватки встановлюються сталеві розділювальні елементи (інвентарні обмежувачі). Оптимальним рішенням є використання металевої труби, оснащеної поздовжніми ребрами жорсткості з кутників. Ці кутники приварюються таким чином, щоб під час занурення труби вони врізалися у бокові стінки траншеї на глибину не менше 30 міліметрів, запобігаючи затіканню бетону. Розділювальні елементи мають збірну конструкцію і нарощуються в міру опускання в траншею. Вони складаються з передової ножової секції, базових та додаткових рядових секцій, загальна довжина яких відповідає глибині виїмки. Нижня ножова частина обмежувача повинна бути заглиблена в дно траншеї на 30–50 сантиметрів, а його верхня частина надійно фіксується на конструкції форшахти за допомогою спеціальних пристроїв. Вилучення цих обмежувачів

відбувається через 1–3 години після завершення бетонування, строго до початку процесу активного тужавіння бетону.

Кожен арматурний каркас, що встановлюється в підготовлену захватку, повинен суворо відповідати робочим кресленням та супроводжуватися паспортом якості. До його складу, окрім робочої та розподільчої арматури, обов'язково входять необхідні закладні деталі з листової сталі, монтажні (стропувальні) петлі, спеціальні напрямні труби для майбутнього пропуску ґрунтових анкерів, а також фіксатори захисного шару. Останні відіграють критичну роль, оскільки забезпечують точне центрування каркаса в траншеї та гарантують проектну товщину бетону між ґрунтом і металом для захисту від корозії.

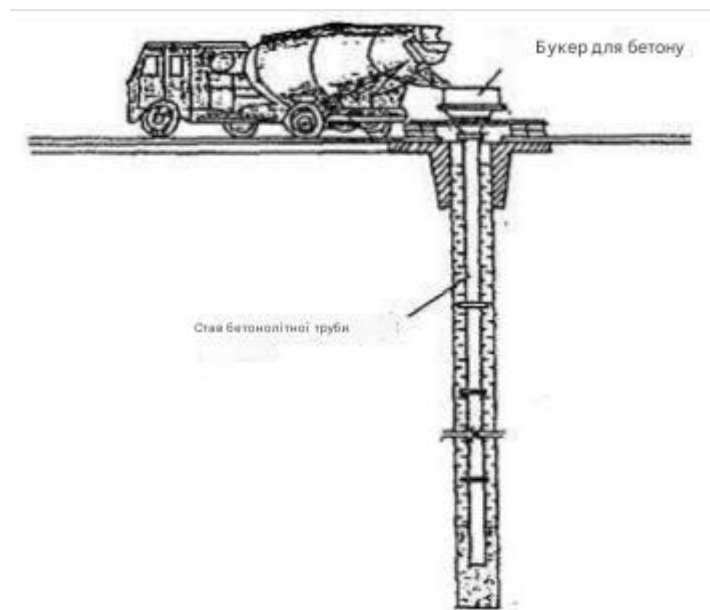


Рис 4.2. Схема бетонування траншеїв методом ТВП

Безпосередньо перед опусканням у траншею окремі секції арматурного каркаса надійно з'єднуються між собою за допомогою електродугового зварювання. При глибині траншеї понад 10–12 метрів просторовий каркас складається з кількох ярусів, які стикуються у вертикальному положенні на висоті безпосередньо над гирлом виїмки перед остаточним зануренням. Усередині каркаса обов'язково передбачаються вільні вертикальні отвори з напрямними елементами для безперешкодного опускання бетонолитних труб.

Процес опускання металоконструкції здійснюється плавно, з постійним геодезичним контролем її вертикальності. Після досягнення проектної позначки арматурний каркас вивішується на верхній частині «коміра» форшахти за допомогою поперечних інвентарних труб або профільних балок. Розрахунок підвіски виконується таким чином, щоб нижні торці поздовжніх несучих стрижнів каркаса не доходили до дна розробленої траншеї на 25–30 сантиметрів, що необхідно для вільного розтікання бетонної суміші.

Бетонування захватки під захистом глинистого розчину є найвідповідальнішим етапом і має розпочатися не пізніше ніж через 4 години після встановлення арматурного каркаса. Доставка товарної бетонної суміші із заводів на будівельний майданчик здійснюється виключно автобетонозмішувачами. Укладання бетону виконується методом вертикально переміщеної труби (ВПТ) із синхронним відкачуванням витісненого бентонітового розчину в резервні ємності або в сусідню розроблювану захватку. Ключовою вимогою до цього процесу є абсолютна безперервність: бетонування кожної секції проводиться без жодних перерв у подачі суміші, щоб уникнути утворення холодних швів, розшарування матеріалу та його перемішування з бентонітом.

Для реалізації методу ВПТ застосовується збірно-розбірна бетонолитна труба з внутрішнім діаметром від 250 до 350 міліметрів. Її монтаж включає ретельне очищення ланок, встановлення міцної опорної рами на форшахті та послідовне нарощування става труби за допомогою швидкознімних герметичних з'єднань. На верхньому кінці змонтованої труби закріплюється приймальний бункер, корисний об'єм якого повинен щонайменше в 1,2 раза перевищувати внутрішній об'єм самої бетонолитної труби.

Для запобігання контакту першої порції бетону з глинистим розчином, у верхню горловину труби перед початком заливки встановлюється спеціальний розділювальний корок (наприклад, мішковина, щільно набита тирсою або клоччям) висотою 20–25 сантиметрів. Цей корок тимчасово фіксується тросом до верхньої частини бункера. Після цього приймальний бункер заповнюється

бетонною сумішшю в об'ємі, що на 20 % перевищує місткість труби. Далі трубу трохи піднімають (на 3–5 см) і перерізають утримуючий трос. Під дією значного надлишкового тиску стовпа бетону корок стрімко переміщується вниз по трубі, повністю виштовхуючи перед собою глинистий розчин і запобігаючи перемішуванню середовищ. Для остаточного випуску корка трубу, вже заповнену бетоном, піднімають на 20–30 сантиметрів, після чого відновлюють безперервну подачу суміші. У подальшому бетонування супроводжується поступовим підняттям та легким осаджуванням бетонолитної труби, при цьому її нижній кінець повинен постійно залишатися заглибленим у масив свіжоукладеного бетону.

При застосуванні технології виїмки ґрунту під глинистим розчином важливою перевагою є те, що розроблена порода практично не засмічує саму суспензію. Однак при цьому зростає загальна кількість робочих циклів, пов'язаних із підйомом та опусканням робочого органу механізму. Вибір конкретного прохідницького обладнання здійснюється на основі аналізу інженерно-геологічних умов будівельного майданчика, а також габаритів і конфігурації ділянки. Для розробки глибоких траншей у проекті приймається сучасний грейферний екскаватор на гусеничному ході марки SANY SH350. Ця машина здатна розробляти траншею проектною шириною 800 міліметрів на максимальну глибину до 60 метрів. За один робочий цикл грейфер об'ємом 1,4 кубічного метра вилучає ґрунт на довжину 3,2 метра. Вага самого робочого органу становить 14 тонн, а в повністю навантаженому стані сягає 17 тонн, що забезпечує значне зусилля відриву на рівні 350 кН. Швидкісні характеристики механізму також відповідають високим темпам будівництва: час розкриття та закриття грейфера становить близько 6 секунд, а швидкість підйому навантаженого та опускання порожнього ковша досягає 38 метрів за хвилину. Габаритні розміри екскаватора в транспортному положенні (довжина 11,68 м, ширина 3,0 м, висота 2,4 м) дозволяють його безпечно доставляти на міські будівельні майданчики.

Залежно від проектної довжини, окрема захватка траншеї розробляється за один або кілька проходів базового механізму. Наприклад, типова захватка довжиною 8 метрів формується за три робочі цикли: спочатку виконуються два бокові проходи при повному розкритті ковша грейфера, після чого здійснюється один проміжний прохід із розкриттям робочого органу на 40–80 відсотків. Після виїмки ґрунту на всю проектну глибину в обов'язковому порядку проводиться контрольна перевірка позначок дна та ретельне зачищення траншеї від залишків осипаної породи й осаду глинистого розчину. Ця операція виконується шляхом плавного опускання та горизонтального переміщення грейфера по всій площині розробленої виїмки.

Для виконання вантажопідйомних операцій, зокрема безпечного монтажу важких просторових арматурних каркасів та маніпуляцій із вертикально переміщуваною бетонолитною трубою (ВПТ), у проекті передбачено використання гусеничного крана SANY SCC500E вантажопідйомністю 50 т. Довжина його стріли може варіюватися від 13 до 52 метрів із робочим кутом нахилу від 30 до 78 градусів, що забезпечує необхідний виліт (максимальний радіус досяжності) та висоту підйому. Транспортні габарити крана становлять 7,1 метра в довжину та 3,3 метра в ширину. Важливою перевагою цієї моделі є відносно низький середній тиск на ґрунт, що становить лише 0,061 МПа.

Для оперативного вивезення розробленого ґрунту з будівельного майданчика залучаються сучасні автосамоскиди вантажопідйомністю 8,5 тонн з об'ємом вантажної платформи 5,5 кубічних метрів. Висока динаміка розвантаження (час підйому платформи 15 секунд, опускання - 10 секунд) при повній масі автомобіля понад 16,2 т дозволяє підтримувати безперервний цикл земляних робіт без утворення черг на майданчику. Виконання допоміжних земляних робіт, таких як розробка неглибоких приямків під монолітну залізобетонну форшахту, а також вантаження вибраного ґрунту в кузови автосамоскидів, здійснюється за допомогою маневреного пневмоколісного екскаватора-навантажувача. Оптимальним вибором для таких завдань є техніка

експлуатаційною масою 7,5 т та потужністю двигуна 55 кВт, оснащена зворотною лопатою місткістю 0,28 кубічного метра.

Окрема увага в технологічному процесі приділяється комплексу спеціалізованого обладнання для приготування, подачі та очищення бентонітового розчину. Технологічна лінія включає механічний лопатевий змішувач місткістю 2 кубічні метри, який забезпечує продуктивність приготування розчину на рівні 12 кубічних метрів на годину при частоті обертання валу 182 оберти за хвилину. Для циркуляції та перекачування суспензії використовується відцентровий шламовий насос із продуктивністю 150 кубічних метрів на годину, що створює робочий тиск у системі 0,3 МПа.

Система регенерації відпрацьованого глинистого розчину складається з вібраційного сита для грубого очищення та спеціалізованого пісковідділювача. Вібросито має робочу площу сітки 2,6 квадратного метра, забезпечує пропускну здатність 50–60 літрів за секунду та працює з частотою 1600–2000 коливань за хвилину. Після грубого очищення розчин потрапляє до пісковідділювача (продуктивністю 58 літрів за секунду), який оснащений чотирма гідроциклонами діаметром 250 міліметрів.

Усе перелічене високотехнологічне обладнання формує єдиний надійний комплекс, що ідеально підходить для реалізації технологічної схеми влаштування «стіни в ґрунті» з монолітного залізобетону. Варто зазначити, що у разі прийняття альтернативного проектного рішення щодо використання збірних залізобетонних елементів для огорожувальних конструкцій, даний комплект машин і механізмів залишається повністю актуальним і може застосовуватися без суттєвих змін, гарантуючи високу якість робіт в умовах щільної забудови.

Основним критерієм надійності при будівництві методом «Top-Down» є забезпечення міцності огорожувальних конструкцій. Для виконання статичного розрахунку з монолітної траншейної «стіни в ґрунті» виділяється розрахунковий елемент у вигляді вертикальної смуги шириною $b = 100$ см. Оскільки проектна товщина стіни становить $h = 80$ см, момент опору цього прямокутного поперечного перерізу обчислюється за базовою формулою опору матеріалів:

$$W = b h^2 / 6$$

$$W = 100 * 80^2 / 6 = 106667 \text{ см}^3$$

Для спорудження огорожувального контуру застосовується важкий бетон класу В20. Відповідно до будівельних норм, розрахунковий опір цього бетону на розтяг становить $R_{bt} = 1,4 \text{ МПа}$.

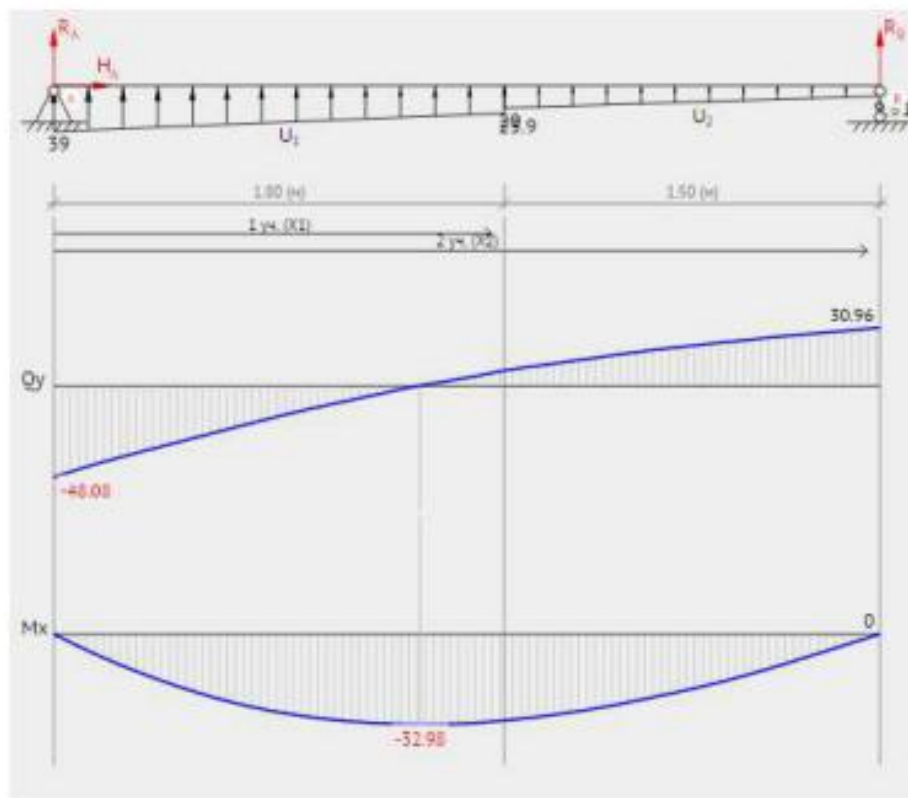


Рис 4.3 Епюра напруг

Максимально допустимий згинальний момент, який здатна сприйняти конструкція до моменту утворення тріщин, визначається як добуток опору бетону на момент опору перерізу:

$$M = R_{bt} W$$

$$M = 1,4 * 106667 = 149,3 \text{ кН} * \text{м}$$

Для визначення фактичних зусиль розглядається розрахункова схема у вигляді багатопролітної балки. Для знаходження невідомих опорних реакцій R_A (реакція верхньої опори) та R_B (реакція нижньої опори) на першому етапі розробки котловану складається рівняння суми моментів відносно шарнірно-нерухомої опори:

$$\Sigma M_A = 0$$

Вирішуючи це рівняння з урахуванням епюр активного бокового тиску ґрунту, визначається реакція нижньої опори:

$$R_B = \frac{-13,59 \cdot 0,60 - 43,02 \cdot 0,90 - 7,5675 \cdot 2,30 - 14,865 \cdot 2,55}{3,3} = 30,96 \text{ кН}$$

На основі знайдених реакцій виконується побудова епюр поперечних сил (Q) та згинальних моментів (M). Для першої ділянки ($0 \leq x_1 < 1,6$) функція поперечної сили має вигляд:

$$Q(x_1) = -R_A + \frac{(U_{\text{лів}} - U_{\text{пр}})(1,6 - x_1)}{1,6}$$

Відповідно, реакція верхньої опори становить(рис4.3):

$$R_A = \frac{-13,59 \cdot 2,70 - 43,02 \cdot 2,40 - 7,5675 \cdot 1,0 - 14,865 \cdot 0,75}{3,3} = -48,08 \text{ кН}$$

Перевірка правильності знайдених опорних реакцій виконується шляхом сумування проекцій усіх діючих сил на вертикальну вісь (сума має дорівнювати нулю):

$$\Sigma Y = -48,08 - 30,96 + 79,04 = 0$$

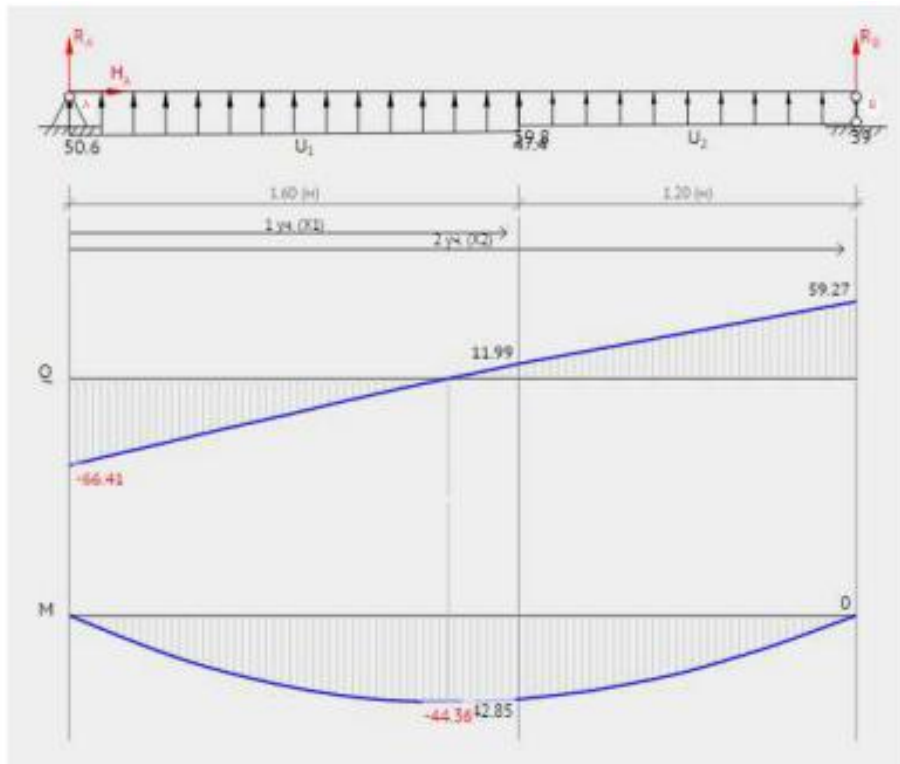


Рис 4.4 Епюра напруг

Екстремум згинального моменту виникає в перерізі, де поперечна сила дорівнює нулю. За результатами побудови епюр поперечних сил, ця точка знаходиться на відстані $y = 1,46$ м від верхньої опори. Фактичний максимальний згинальний момент у цьому перерізі становить:

$$M_{\max 1} = 32,98 \text{ кН м}$$

Фактичне нормальне напруження в розтягнутій зоні бетону на цьому етапі обчислюється за формулою:

$$\sigma_1 = M_{\max 1} / W = 32,98 / 106667 = 0,31 \text{ МПа}$$

Для другої стадії розробки котловану, коли стіна оголюється на більшу глибину, розрахункове навантаження зростає. Значення поперечної сили на краях ділянки становлять $Q_1(0) = -66,41$ кН та $Q_1(1,60) = 11,99$ кН. Точка, де епюра Q перетинає горизонтальну вісь (нульове значення), знаходиться на координаті $x =$

1,35 м. Саме в цій точці локального екстремуму виникає максимальний згинальний момент. Підставляючи координату $x = 1,35$ у відповідне аналітичне рівняння моментів, отримуємо:

$$M_{\max 2} = 44,36 \text{ кН м}$$

Відповідне фактичне напруження в бетоні становить:

$$\sigma_2 = M_{\max 2} / W = 0,42 \text{ МПа}$$

Порівняння отриманих результатів із нормативними характеристиками доводить виконання головної умови міцності $R_{bt} \geq \sigma$. Оскільки фактичне максимальне напруження $1,4 \text{ МПа} \geq 0,42 \text{ МПа}$, запроектована «стіна в ґрунті» має більш ніж трикратний запас міцності.

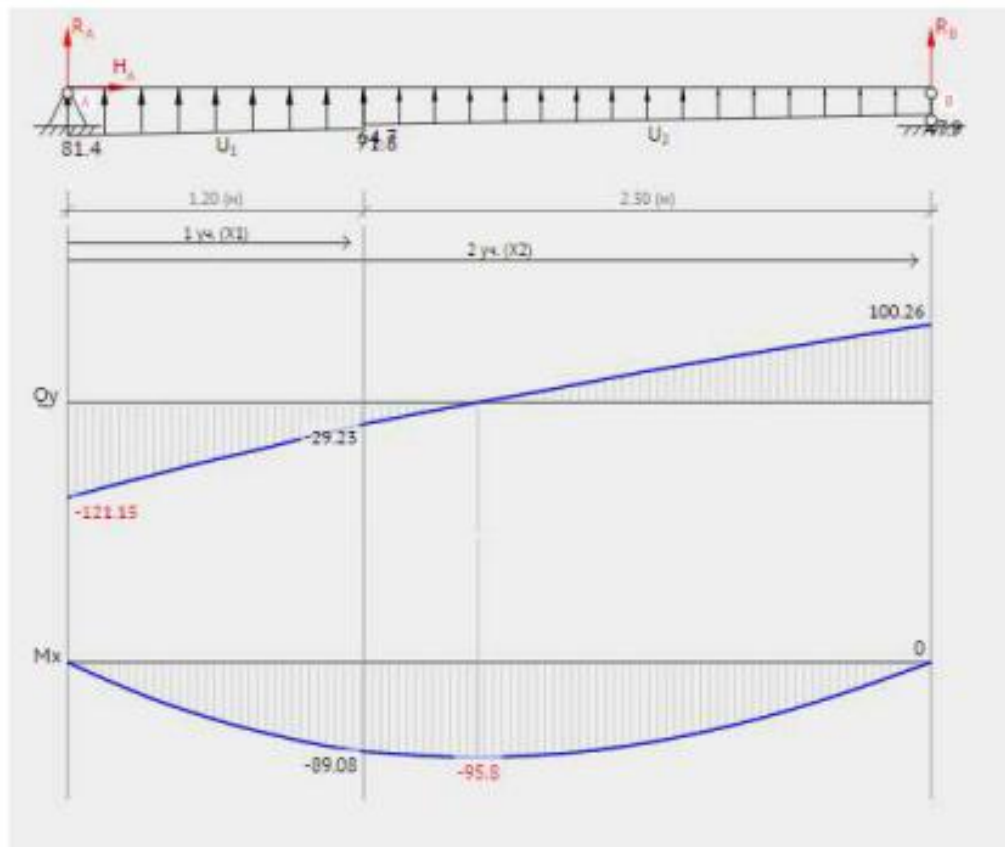


Рис 4.5 Епюра напруг

Для забезпечення надійної опори міжярусних перекриттів у підземному просторі проектом передбачено використання внутрішніх несучих колон, які споруджуються у вигляді буронабивних паль. В останні роки набивний метод знаходить дедалі ширше застосування у практиці підземного будівництва. Використання буронабивних паль дозволяє не лише уникнути непродуктивних витрат збірного залізобетону, але й суттєво підсилити та підвищити загальну надійність фундаментів, що є критично важливим аспектом у складних інженерно-геологічних та гідрогеологічних умовах щільної міської забудови.

Технологічний процес розпочинається з попереднього буріння свердловин під захистом інвентарних обсадних труб або глинистого розчину до заданої проектної позначки. Після цього здійснюється безпосереднє формування стовбура палі. У підготовлену свердловину опускається збірна бетонолитна труба, яка складається з окремих секцій. Ці секції обладнані надійними герметичними стиками, що дозволяють швидко і безпечно нарощувати колону труб у процесі роботи. Після ретельного зачищення вибою від шламу та встановлення просторового арматурного каркаса разом із жорстким осердям (сталевим двотавром), свердловину бетонують методом вертикально переміщуваної труби.

У міру заповнення простору свердловини важкою бетонною сумішшю інвентарну обсадну трубу поступово витягують на поверхню. При цьому спеціальна система потужних гідравлічних домкратів, змонтованих на базовій машині, надає обсадній трубі зворотно-поступального та напівобертального руху. Ця операція створює вібраційний ефект, забезпечуючи додаткове ущільнення бетонної суміші та гарантуючи надійний контакт тіла палі з навколишнім ґрунтовим масивом. Після закінчення бетонування свердловини, оголовку палі надають проектної форми за допомогою спеціального інвентарного кондуктора, готуючи її до майбутнього сполучення з плитою перекриття.

Безпосередній комплекс робіт із виїмки ґрунтового масиву та влаштування міжярусних плит виконується за передовою технологією «Top-Down» (зверху-вниз). Сутність цього методу полягає в тому, що підземний об'єкт зводиться від

денної поверхні вглиб, а розробка ґрунту здійснюється з-під попередньо залитих монолітних перекриттів. Такий підхід дозволяє максимально ефективно економити місце і вести повноцінне будівництво буквально «на п'ятачку», виключаючи необхідність розкриття широких котлованів. Водночас застосування цього методу вимагає винятково суворого дотримання технологічних норм, постійного геодезичного моніторингу та особливої уваги до якості використовуваних матеріалів, зокрема через постійний ризик контакту конструкцій із ґрунтовими водами.

На початковому етапі розробляється піонерний котлован і вилучається ґрунт на глибину 2,9 метра. Після планування дна цієї виїмки встановлюється суцільна палуба опалубки, монтуються арматурні сітки та заливається верхнє монолітне залізобетонне перекриття (дах автостоянки). Ця масивна конструкція після набору міцності одразу починає виконувати функцію потужної жорсткої розпірки, яка надійно утримує периметральні стіни котловану («стіну в ґрунті») від обвалення та сприймає активний боковий тиск ґрунту. Водночас верхнє перекриття слугує нульовою робочою позначкою для безпечного ведення подальших робіт на нижніх ярусах.

Після повного затвердіння бетону розпочинаються роботи з вилучення ґрунту безпосередньо з-під готового перекриття. Цей складний логістичний процес здійснюється за допомогою засобів малої механізації — компактних фронтальних навантажувачів та мініекскаваторів, адаптованих для роботи в умовах обмеженого простору та недостатньої вентиляції. Вони розробляють породу та транспортують її до спеціальних технологічних отворів, передбачених проектом у монолітній плиті. Через ці отвори ґрунт завантажується у технологічну тару (баді) і за допомогою стрілового гусеничного крана піднімається на поверхню для перевантаження в автосамоскиди.

У міру заглиблення котловану та досягнення проектної позначки наступного підземного поверху, цикл будівельно-монтажних робіт повторюється. Знову встановлюється опалубка, виконується армування та заливається чергове монолітне міжярусне перекриття. Після його витримання

виїмка ґрунту продовжується на ще нижчому рівні, доки не буде досягнута остаточна позначка фундаментної плити автостоянки.

Розрахунок обсягів інженерної розробки ґрунтового масиву та транспортної логістики виконується поетапно. На підготовчому етапі об'єм виїмки ґрунту під форшахту з урахуванням коефіцієнта початкового розпушення ($k_p = 1,5$) обчислюється як:

$$V_{B1} = V \cdot k_p = 2127,6 \cdot 1,5 = 3191,4 \text{ м}^3$$

Необхідна кількість рейсів автосамоскидів визначається відношенням загального об'єму розпушеного ґрунту до корисного об'єму кузова (який з урахуванням щільності породи приймається рівним $V_{\text{куз}} = 6,8 \text{ м}^3$):

$$N_{c1} = V_{B1} / V_{\text{куз}} = 3191,4 / 6,8 = 471 \text{ рейс}$$

За нормативної продуктивності техніки виконання цього обсягу робіт потребує 25 робочих змін.

Для другого етапу (безпосередня розробка глибокої траншеї грейфером) геометричний об'єм виїмки становить:

$$V_{B2} = 723,9 \text{ м}^3$$

Кількість рейсів для вивезення ґрунту з траншеї дорівнює:

$$N_{c2} = 109 \text{ рейсів}$$

Для цього етапу передбачено 6 робочих змін.

Обсяг виїмки ґрунту закритого типу (з-під монолітних перекриттів паркінгу) розраховується поярусно. Для першого та другого підземних ярусів обсяги виїмки є ідентичними:

$$V_1 = 3333,6 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3333,6 \text{ м}^3$$

Для третього (найнижчого) ярусу обсяг розробки становить:

$$V_3 = 4027,0 \text{ м}^3$$

Сумарний обсяг земляних робіт під перекриттями дорівнює:

$$V_{\text{закр}} = V_1 + V_2 + V_3 = 3333,6 + 3333,6 + 4027,0 = 10694,2 \text{ м}^3$$

Загальний обсяг розробленого ґрунту на всьому будівельному майданчику визначається як сума результатів усіх трьох технологічних етапів:

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{в1}} + V_{\text{в2}} + V_{\text{закр}}$$

$$V_{\text{заг}} = 3191,4 + 723,9 + 10694,2 = 14609,5 \text{ м}^3$$

Отримані математичні результати є вихідними даними для побудови календарного графіка виконання будівельно-монтажних робіт та економічного обґрунтування проекту.

..

5. ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Будівництво багаторівневої підземної автостоянки на 102 машиномісця в умовах щільної міської забудови є складним техногенним втручанням у навколишнє природне середовище. Реалізація таких масштабних інфраструктурних проєктів вимагає проведення комплексної Оцінки впливу на довкілля (ОВД) згідно з чинним екологічним законодавством України.



Вибір передової технології «Top-Down» (зверху-вниз) у поєднанні з влаштуванням огорожувальних конструкцій методом «стіна в ґрунті» є не лише оптимальним інженерним рішенням, але й найбільш екологічно безпечним підходом. На відміну від традиційного будівництва у відкритих котлованах, даний метод дозволяє мінімізувати площу відчуження земної поверхні (роботи ведуться на ділянці площею 0,35 га), зберегти гідрогеологічний режим прилеглих територій та суттєво знизити рівень акустичного забруднення житлових і промислових кварталів. Процес зведення підземного паркінгу супроводжується

тимчасовим впливом на різні компоненти довкілля: атмосферне повітря (викиди відпрацьованих газів будівельної техніки та пилоутворення), геологічне середовище (виїмка понад 14,6 тисяч кубічних метрів ґрунту), водний басейн (використання бентонітових суспензій та технічної води), а також зміною акустичного фону (шум та вібрація від роботи важких механізмів). Експлуатаційна стадія об'єкта також передбачає постійний екологічний моніторинг, оскільки підземний гараж є потенційним джерелом викидів оксиду вуглецю, діоксиду азоту та вуглеводнів від двигунів внутрішнього згоряння автомобілів. Відповідно, головним завданням даного розділу є кількісна оцінка цих впливів та розробка ефективних інженерно-екологічних заходів щодо їх нейтралізації до рівня гранично допустимих концентрацій (ГДК) та нормативів.

Основними джерелами забруднення атмосферного повітря на етапі будівельно-монтажних робіт є двигуни внутрішнього згоряння землерийної та вантажопідйомної техніки, а також процеси пилоутворення під час виїмки та транспортування ґрунту. Відповідно до розрахунків технологічної частини проекту, загальний обсяг земляних робіт становить 14 609,5 кубічного метра. Для реалізації цього обсягу задіяно гусеничний грейферний екскаватор SANY SH350 (потужність двигуна близько 212 кВт), гусеничний кран SANY SCC500E та автосамоскиди вантажопідйомністю 8,5 тонни, які загалом мають здійснити близько 2150 машино-рейсів протягом усього періоду будівництва. Загальні валові викиди забруднюючих речовин від дизельних установок за весь цикл підземних робіт оцінюються у 3,8 тонни, з яких понад 2,1 тонни припадає на оксид вуглецю (CO), 0,85 тонни - на оксиди азоту (NO_x), 0,4 тонни - на нелеткі органічні сполуки та 0,45 тонни - на дрібнодисперсні тверді частинки (сажу). Для мінімізації цих викидів проектом суворо регламентується використання пального стандарту не нижче Євро-5 та заборона роботи техніки на холостому ході понад 5 хвилин.

Процес пилоутворення є невідворотним наслідком розпушення верхніх шарів ґрунту на підготовчому етапі (об'ємом 3191,4 кубічного метра). Враховуючи, що вологість природних суглинків та супісків становить близько

14–18 %, виділення неорганічного пилу з вмістом діоксиду кремнію (від 20 до 70 %) під час екскавації становить орієнтовно 0,08 грама на секунду. Для придушення пилу на будівельному майданчику впроваджується система дрібнодисперсного зрошення робочих зон водою з інтенсивністю 1,5–2,0 літра на квадратний метр поверхні. Крім того, на виїзді з проммайданчика обладнується обов'язковий пункт мийки коліс вантажного транспорту з оборотною системою водопостачання, що унеможливило винесення бруду на Столичне шосе та прилеглі вулиці міста.



На стадії експлуатації підземної автостоянки головним екологічним ризиком є накопичення відпрацьованих газів від 102 легкових автомобілів. Згідно з санітарними нормами, гранично допустима концентрація оксиду вуглецю в повітрі робочої зони гаража не повинна перевищувати 20 мг/м³. Для дотримання цього показника проектом передбачено монтаж потужної автоматизованої припливно-витяжної вентиляції з резервуванням потужностей.

Вентиляційна система забезпечує шестикратний обмін повітря на годину, викидаючи відпрацьоване повітря через спеціальні вентиляційні шахти, зріз яких виведено на висоту не менше 3 метрів над рівнем землі. Швидкість виходу

струменя становить понад 10 метрів за секунду, що гарантує ефективне розсіювання викидів у верхніх шарах атмосфери без перевищення ГДК у приземному шарі прилеглої житлової та промислової забудови.



Втручання у геологічне середовище на глибину до 15,9 метра неминуче впливає на режим залягання ґрунтових вод. Однак застосування технології «стіна в ґрунті» виконує роль потужного екологічного щита. Монолітна залізобетонна стіна товщиною 80 сантиметрів, виконана з водонепроникного бетону класу В20 (з маркою за водонепроникністю не нижче W8), утворює замкнений протифільтраційний контур. Коефіцієнт фільтрації такої конструкції становить менше 10 у мінус восьмій ступені сантиметрів за секунду, що фактично дорівнює нулю. Це означає, що траншейна стіна повністю перерізає водоносні горизонти, запобігаючи витоку підземних вод у котлован. Завдяки цьому виключається ризик утворення гідродинамічних депресійних лійок навколо будівельного майданчика, які зазвичай призводять до небезпечного осідання земної поверхні та деформації фундаментів сусідніх будівель.

Специфіка методу передбачає використання значних об'ємів бентонітового (глинистого) розчину для утримання стінок траншеї. Технологічна лінія з приготування та регенерації суспензії розрахована на циркуляцію до 150 кубічних метрів рідини на годину. Екологічна безпека цього процесу забезпечується абсолютною замкненістю циклу. Відпрацьований розчин, що витісняється бетоном під час заливки захваток, не скидається у міську каналізацію, а насосами перекачується на вібросита та пісковідділювачі. Ефективність очищення досягає 95 %, після чого відновлений бентоніт

повертається у роботу. Безповоротні втрати розчину, що осідають у вигляді шламу разом із розробленим ґрунтом, відносяться до відходів четвертого класу небезпеки і підлягають безпечній утилізації на спеціалізованих полігонах.

Стічні води експлуатаційного періоду формуються переважно за рахунок занесення снігу та бруду на колесах автомобілів, а також під час вологого прибирання приміщень паркінгу. Розрахунковий об'єм таких вод становить близько 2,5 кубічного метра на добу. Ці стоки характеризуються підвищеним вмістом заважених речовин (до 3000 мг/л) та нафтопродуктів (до 50 мг/л). Згідно з екологічними стандартами, пряме скидання таких вод до міської зливової каналізації суворо заборонено. Тому на нижньому ярусі автостоянки проектується локальна очисна споруда, яка включає пісковловлювач, коагуляційний відсік та сорбційний фільтр. Проходження через цю триступеневу систему дозволяє знизити концентрацію нафтопродуктів до нормативних 0,3 мг/л, а заважених речовин - до 10 мг/л, що робить воду безпечною для відведення в колектор.



Рис 5.3 Захист довкілля від акустичного забруднення та вібраційного впливу

Будівельні роботи, пов'язані з розробкою ґрунту та маніпуляціями з важкими залізобетонними конструкціями, є джерелом інтенсивного шумового та вібраційного навантаження. Робота базового екскаватора SANY SH350 генерує еквівалентний рівень звуку близько 105 дБА, а робота бетонозмішувачів та дизель-генераторів додає фоновий шум на рівні 90–95 дБА. Згідно з державними санітарними правилами, еквівалентний рівень шуму на території прилеглої міської забудови в денний час (з 08:00 до 22:00) не повинен перевищувати 70 дБА, а в нічний час (з 22:00 до 08:00) — 55 дБА. Враховуючи фізичні закони загасання звукової хвилі у просторі, безпечна дистанція, на якій шум від будівельного майданчика знижується до нормативних показників без застосування спеціальних заходів, становить понад 120 метрів.

Саме тут повною мірою розкривається екологічна перевага технології «Top-Down». Після завершення першого етапу робіт і заливки монолітної плити верхнього перекриття товщиною 40 сантиметрів, основний фронт робіт переміщується у підземний простір. Масивна залізобетонна плита, маючи величезну поверхневу щільність (близько 1000 кг/м²), виконує функцію нездоланного акустичного екрану. Її звукоізоляційна здатність становить понад 55 децибел. Завдяки цьому розробка понад 10 тисяч кубічних метрів ґрунту на другому і третьому ярусах відбувається практично безшумно для навколишнього середовища. Це дозволяє здійснювати виїмку ґрунту та його підйом на поверхню навіть у вечірній час без порушення акустичного комфорту мешканців найближчих районів.

Вібраційний вплив при влаштуванні «стіни в ґрунті» та буронабивних паль є мінімальним порівняно з традиційними методами забивання або віброзанурення готових паль. Оскільки виїмка ґрунту грейфером та буріння свердловин відбуваються шляхом різання породи, енергія пружних коливань, що передається у ґрунтовий масив, не перевищує 0,5–1,2 мм/с за швидкістю зміщення. Це значення є абсолютно безпечним для цілісності фундаментів розташованих поруч промислових споруд, оскільки допустима норма вібраційного навантаження для будівель без дефектів становить 5,0 мм/с. Таким

чином, обрана технологія повністю знімає ризик виникнення резонансних явищ та тріщиноутворення в прилеглих конструкціях.

Управління відходами є одним із ключових аспектів екологічної безпеки даного проекту. Основний об'єм відходів формує розроблений ґрунт у кількості 14 609,5 кубічного метра. Відповідно до попередніх інженерно-геологічних вишукувань, ці масиви представлені переважно супісками, суглинками та дрібними пісками, які не містять токсичних хімічних забруднень, важких металів або патогенної мікрофлори. Цей ґрунт класифікується як відходи четвертого класу небезпеки (малонебезпечні речовини) і може розглядатися не як сміття, а як цінна вторинна сировина. Близько 15 % від загального об'єму (переважно піщані горизонти) проектом передбачено використати для зворотного засипання пазах котловану та вертикального планування території. Решта об'єму вивозиться автосамоскидами на спеціально відведені міські полігони для рекультивації відпрацьованих кар'єрів або створення захисних насипів, що сприяє раціональному природокористуванню.

Верхній родючий шар ґрунту (гумус), який знімається на початковому етапі розробки піонерної траншеї, має високу біологічну цінність. Його об'єм становить орієнтовно 250 кубічних метрів. Цей матеріал акуратно збирається, складається у спеціальні тимчасові бурти висотою не більше 2 метрів (для запобігання розвитку анаеробних процесів і втрати родючості) та передається комунальним підприємствам Голосіївського району для потреб озеленення міських скверів і транспортних розв'язок. Відпрацьований і не придатний до подальшої регенерації бентонітовий шлам, об'єм якого за весь період будівництва може скласти близько 450 кубічних метрів, зневоднюється за допомогою флокулянтів і також вивозиться на спеціалізовані полігони твердих побутових відходів у якості ізолюючого шару. Будівельне сміття (залишки арматури, дерев'яна опалубка, тара) сортується безпосередньо на майданчику і передається на переробні підприємства за відповідними договорами.

Завершальним етапом реалізації проекту є повне відновлення порушеного благоустрою на площі 0,35 гектара. Завдяки розміщенню автомобілів у

підземному просторі, поверхня над перекриттям першого ярусу (на глибині 1,5 метра від денної поверхні) звільняється для соціально корисного використання. Проектом передбачено нанесення дренажного шару з гравію та укладання шару родючого ґрунту товщиною 0,6–0,8 метра.



Рис. 5.5 Відновлення благоустрою території та екологічний моніторинг

Це дозволяє влаштувати на даху підземної автостоянки повноцінні зелені газони, висадити декоративні чагарники та облаштувати рекреаційну зону для працівників прилеглих підприємств. Озеленення не лише виконує естетичну функцію, але й відіграє роль біологічного фільтра, поглинаючи до 25 % пилу та знижуючи температуру поверхні в літній період на 3–5 градусів Цельсія.

Для контролю за дотриманням усіх передбачених екологічних стандартів, на об'єкті впроваджується програма постійного інженерно-екологічного моніторингу. На стадії будівництва вона включає щотижневі інструментальні вимірювання рівнів шуму по периметру майданчика, контроль якості зворотних вод із мийки коліс та перевірку ефективності роботи бентонітового комплексу.

На стадії експлуатації моніторинг забезпечується автоматичними газоаналізаторами, що встановлені на кожному з трьох рівнів паркінгу. Вони неперервно аналізують склад повітря і, у разі наближення концентрації шкідливих речовин до межі 20 мг/м^3 , подають сигнал на диспетчерський пульта для примусового запуску резервних вентиляторів. Комплексне впровадження всіх описаних рішень гарантує, що будівництво та функціонування підземної багаторівневої автостоянки повністю відповідає сучасним екологічним вимогам і не завдає непоправної шкоди навколишньому середовищу столиці..

6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Структура вартості будівельно-монтажних робіт формується з наступних елементів:

- Прямі витрати: включають основну заробітну плату робітників (ОЗП), вартість експлуатації будівельних машин і механізмів (ЕМ), у тому числі заробітну плату машиністів (ЗПМ), та вартість матеріальних ресурсів (МАТ).
- Загальновиробничі витрати: витрати на управління, організацію та обслуговування будівельного виробництва. У даному проекті вони прийняті на рівні 106% від Фонду оплати праці (ФОП), який є сумою ОЗП та ЗПМ.
- Кошторисний прибуток: кошти, передбачені для розвитку підрядної організації. Прийнято за укрупненими нормативами на рівні 65% від ФОП.

Для розрахунків використано метод переходу від базових індикативних цін до поточного рівня вартості за допомогою інтегрального індексу інфляції (індексу переходу), який для даного регіону та періоду будівництва розрахований на рівні 7,36. На фінальну суму нараховується Податок на додану вартість (ПДВ) за чинною ставкою 20%.

Перший локальний кошторис розроблено на комплекс робіт із влаштування периметральної траншейної стіни з монолітного залізобетону. До розрахунку включено розробку ґрунту під бентонітовим розчином, монтаж армокаркасів, бетонування методом ВПТ та супутні роботи.

Математичне обґрунтування нарахувань для Кошторису №1:

1. Фонд оплати праці: визначається як сума заробітної плати робітників та машиністів з усіх позицій і становить 19 539 грн.
2. Загальновиробничі витрати: $\text{ФОП} \times 1,06 = 19\,539,83 \times 1,06 = 20\,712$ грн.
3. Кошторисний прибуток: $\text{ФОП} \times 0,65 = 19\,539,83 \times 0,65 = 12\,700$ грн.
4. Всього у базових цінах: $\text{ПВ} + \text{ЗВВ} + \text{КП} = 1\,292\,343,69 + 20\,712,22 + 12\,700,89 = 1\,325\,756$ грн.
5. Переведення в поточні ціни: $1\,325\,756,80 \times 7,36 = 9\,757\,570$ грн.
6. ПДВ (20%): $9\,757\,570,05 \times 0,20 = 1\,951\,514$ грн.
7. Загальна кошторисна вартість №1: $9\,757\,570 + 1\,951\,514 = 11\,709\,084$ грн.

Таблиця 6.1 Локальний кошторис №1: Влаштування «стіни в ґрунті»

№	Найменування робіт та витрат	Од. вим.	Кількість	Вартість одиниці (базова), грн.	Загальна вартість (базова), грн.
1	Розробка ґрунту в траншеї	м³	60,00	241,63	14 497
2	Установка залізобетонних обмежувачів	шт.	28,00	382,77	10 717
3	Установка армокаркасів у траншею	100 т	0,86	1 414 749,30	1 216 684
4	Установка бетонолитної труби	шт.	1,00	741,95	741
5	Укладання бетонної суміші	100 м³	0,46	95 920,56	44 123
6	Зняття бетонолитної труби	шт.	1,00	203,42	203
7	Приготування та очистка бентоніту	м³	46,00	116,85	5 375
Разом прями витрати					1 292 343

Другий локальний кошторис відображає специфіку методу «Top-Down», а саме поетапну виїмку ґрунту з-під перекриттів, буріння свердловин під внутрішні несучі колони (палі) та заливку монолітних залізобетонних дисків перекриттів.

Таблиця 6.2 Локальний кошторис №2: Розробка ґрунту, колони та перекриття

№	Найменування робіт та витрат	Од. вим.	Кількість	Вартість одиниці, грн.	Загальна вартість, грн.
1	Розробка ґрунту екскаватором	1000 м³	2,10	4 214,10	8 849
2	Буріння свердловин для буронабивних паль	1 м³	89,50	2 088,90	186 993
3	Розробка ґрунту (додаткова)	1000 м³	0,48	4 214,10	2 022
4	Улаштування перекриттів (1-й ярус)	100 м³	5,67	128557,10	728 919
5	Розпушення ґрунту гідромолотом	100 м³	3,55	12958,30	46 002
6	Виїмка ґрунту з-під перекриття	1000 м³	4,10	3 895,10	15 970
7	Улаштування перекриттів (2-й ярус)	100 м³	5,67	128557,10	728 919
8	Виїмка ґрунту (2-й етап)	1000 м³	3,70	3 895,10	14 411
9	Улаштування перекриттів (3-й ярус)	100 м³	5,67	128557,10	728 919
10	Виїмка ґрунту (3-й етап)	1000 м³	3,70	3 895,10	14 411
11	Піщано-гравійна основа	100 м³	5,67	2 381,80	13 505
12	Підбетонка	1000 м²	0,14	3 120,30	436
13	Бетонна основа	100 м³	8,50	58585,00	497 972
Разом прямі витрати (ПВ)					1 998 576

Математичне обґрунтування нарахувань для Кошторису №2:

1. Фонд оплати праці: 90 311 грн.
2. Загальновиробничі витрати (ЗВВ): $90\,311,40 \times 1,06 = 95\,730$ грн.
3. Кошторисний прибуток (КП): $90\,311,40 \times 0,65 = 58\,702$ грн.
4. Всього у базових цінах: $1\,998\,576 + 95\,730 + 58\,702 = 2\,153\,008$ грн.
5. Переведення в поточні ціни: $2\,153\,008,90 \times 7,36 = 15\,846\,145$ грн.
6. ПДВ (20%): $15\,846\,145,50 \times 0,20 = 3\,169\,229$ грн.
7. Загальна кошторисна вартість №2: $15\,846\,145 + 3\,169\,229 = 19\,015\,374$ грн.

Для оцінки загальної ефективності прийнятих проектних та технологічних рішень розраховано зведені техніко-економічні показники, які підтверджують доцільність будівництва автостоянки.

Таблиця 6.3 Техніко-економічні показники об'єкта

№	Найменування показника	Од. вим	Значення
1	Площа забудови (експлуатована поверхня)	м²	1733
2	Склад комплексної бригади	чол.	8
3	Трудовозатрати на спорудження 1 м² «стіни в ґрунті»	люд.-год.	1,27
4	Тривалість будівництва (основна захватка / допоміжна)	год.	13,0 / 11,5
5	Продуктивність за 1 зміну при роздільній роботі техніки	м	1,17
6	Продуктивність за 1 зміну при суміщенні робіт	м	1,40
7	Кошторисна вартість об'єкта (в поточних цінах з ПДВ), у т.ч.:	грн.	30724458
7.1	– Влаштування «стіни в ґрунті»	грн.	11709084
7.2	– Земляні роботи, колони та перекриття	грн.	19015374
8	Питома вартість створення 1 машиномісця (на 102 авто)	грн./місце	301220

Проведений економічний аналіз та складання локальних кошторисів дозволили визначити повну вартість зведення підземної багаторівневої автостоянки. Загальна кошторисна вартість будівельно-монтажних робіт у поточних цінах з урахуванням податку на додану вартість становить 30,72 млн грн. З цієї суми приблизно 38% (11,7 млн грн) припадає на зведення надійного периметрального контуру («стіни в ґрунті»), який гарантує безпеку навколишньої забудови, а 62% (19,0 млн грн) - на складний технологічний комплекс розробки ґрунту в закритому просторі та влаштування монолітного каркаса.

Розрахована питома вартість створення одного машиномісця (близько 301 тис. грн) є абсолютно виправданою та економічно доцільною для умов щільної міської забудови великих міст. Використання технології «Top-Down» дозволяє уникнути колосальних непрямих витрат, пов'язаних із перекриттям транспортних магістралей, зупинкою сусідніх підприємств та викупом великих земельних ділянок під відкриті котловани. Висока продуктивність робіт (до 1,4 метра траншеї за зміну) та оптимізовані трудозатрати (1,27 люд.-год на 1 м² стіни) підтверджують, що обраний інженерний підхід забезпечує не лише технологічну безпеку, але й високу комерційну рентабельність проекту.

ВИСНОВКИ

У випускній кваліфікаційній роботі проведено комплексне інженерно-технологічне обґрунтування та моделювання умов будівництва підземної багаторівневої автостоянки методом «Top-Down» (зверху-вниз) в умовах щільної міської забудови.

На основі аналізу світового та вітчизняного досвіду урбаністики переконливо доведено, що спорудження глибоких підземних паркінгів у перевантажених транспортних вузлах є єдиним ефективним шляхом вирішення проблеми критичного дефіциту вільного простору. Встановлено, що застосування традиційних методів будівництва у відкритих котлованах на територіях із щільною інфраструктурою становить зону найвищого геотехнічного ризику. Це може призводити до тривалого блокування транспортних артерій, масштабних осідань земної поверхні та деформацій фундаментів сусідніх будівель, що робить обрану тематику дослідження, а саме технологію «Top-Down», надзвичайно актуальною.

Детальний аналіз гірничо-геологічних умов на прикладі обраної модельної ділянки засвідчив складність підземного середовища, яке характеризується наявністю слабкопросадних лесоподібних суглинків та супісків, схильних до суфозійно-ерозійних процесів. Це вимагає повної відмови від спрощених підходів до проектування підпірних стін і переходу до застосування жорстких замкнених просторових контурів - траншейних конструкцій типу «стіна в ґрунті», які мінімізують деформації масиву і гарантують абсолютну гідроізоляцію підземної споруди.

Встановлено фундаментальну умову збереження цілісності огорожувальної конструкції, яка полягає у недопущенні перевищення фактичних нормальних напружень над розрахунковим опором матеріалу на розтяг під дією активного бокового тиску ґрунту. Виконані на основі цих моделей практичні конструкційні розрахунки для монолітної залізобетонної стіни

товщиною 80 см (із бетону класу В20) показали, що максимальний згинальний момент на найкритичніших етапах поярусної розробки становить 44,36 кН·м. Відповідне напруження в бетоні сягає лише 0,42 МПа, що забезпечує більш ніж трикратний експлуатаційний запас міцності (при границі 1,4 МПа) і робить подальше безпечне заглиблення котловану абсолютно надійним. Синхронізовані технологічні розрахунки дозволили оптимізувати логістику виїмки понад 14,6 тисяч м³ ґрунту за допомогою сучасного прохідницького комплексу.

Екологічний та техніко-економічний аналіз запропонованих проектних рішень остаточно підтвердив їхню високу ефективність. З екологічної точки зору, застосування масивного залізобетонного перекриття першого ярусу виконує роль потужного екрану, який повністю поглинає акустичне забруднення від розробки нижніх поверхів, а замкнута система регенерації бентоніту запобігає засміченню гідрогеологічного середовища. З економічної точки зору, на основі розробленої локальної кошторисної документації доведено, що загальна вартість проекту становить 30,72 млн грн у поточних цінах. Питома вартість створення одного машиномісця є абсолютно виправданою, оскільки технологія «Top-Down» дозволяє уникнути колосальних непрямих витрат на перенесення комунікацій, зупинку транспортного руху та відчуження міських земель. Загалом, мета випускної кваліфікаційної роботи повністю досягнута, а запропонований комплексний розрахунково-технологічний підхід створює надійне підґрунтя для безпечного та економічно виправданого освоєння підземного простору міст.

АНОТАЦІЯ

Випускна кваліфікаційна робота присвячена обґрунтуванню та проектуванню будівництва підземної багаторівневої автостоянки методом Top-Down в умовах щільної міської забудови зі спеціальною частиною щодо конструктивних рішень та забезпечення стійкості огорожувальних конструкцій.

У роботі досліджено та вирішено комплекс актуальних інженерних завдань щодо безпечного освоєння підземного простору у складних гірничо-геологічних умовах. Обґрунтовано доцільність застосування технології «стіна в ґрунті» для утримання стінок глибокого котловану та запобігання деформаціям навколишнього масиву і фундаментів існуючої інфраструктури. У спеціальній частині виконано статичні математичні розрахунки надійності монолітної огорожувальної конструкції, визначено максимальні згинальні моменти та напруження в бетоні на різних етапах поярусної розробки котловану. Проведено детальний аналіз логістики та розраховано технологічні параметри виїмки ґрунту закритого типу з-під монолітних міжярусних перекриттів. Розроблено необхідні заходи з безпеки праці, захисту навколишнього середовища (мінімізація акустичного забруднення, замкнений цикл регенерації бентоніту) та розраховано техніко-економічну ефективність на основі складеної кошторисної документації, що переконливо підтверджує раціональність та інвестиційну привабливість застосування методу Top-Down.

В ході виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра закріплено знання та навички, отримані за час навчання за освітньо-професійною програмою 184 Гірництво на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти, та підготовлений до роботи в галузі знань 18 Виробництво та технології.

Ключові слова: МЕТОД TOP-DOWN, СТИНА В ГРУНТІ, ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ, СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК, ГЕОМЕХАНІЧНА СТІЙКІСТЬ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ANNOTATION

The Bachelor's thesis is devoted to the justification and design of the construction of an underground multi-level parking lot using the Top-Down method in conditions of dense urban development with a special part on constructive solutions and ensuring the stability of enclosing structures.

The work investigates and solves a set of current engineering problems regarding the safe development of underground space in difficult mining and geological conditions. The feasibility of using the "wall in the soil" technology to support the walls of a deep excavation and prevent deformations of the surrounding massif and foundations of the existing infrastructure is substantiated. In the special part, static mathematical calculations of the reliability of the monolithic enclosing structure are performed, the maximum bending moments and stresses in concrete at different stages of the tiered development of the excavation are determined. A detailed analysis of logistics is carried out and the technological parameters of the closed-type soil excavation from under monolithic inter-tiered floors are calculated. The necessary measures for occupational safety and environmental protection (minimization of acoustic pollution, closed loop bentonite regeneration) have been developed and the technical and economic efficiency has been calculated on the basis of the compiled estimate documentation, which convincingly confirms the rationality and investment attractiveness of the Top-Down method.

During the bachelor's final qualification work, the knowledge and skills acquired during the study in the educational and professional program 184 Mining at the first (bachelor's) level of higher education were consolidated, and the work was prepared for work in the field of knowledge 18 Production and Technology.

Keywords: TOP-DOWN METHOD, WALL IN THE GROUND, FENCE STRUCTURES, STATIC CALCULATION, GEOMECHANICAL STABILITY, ENVIRONMENTAL SAFETY, TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Airey Taylor Consulting. Top Down Construction. URL: <https://atconsulting.com.au/top-down-construction>
2. Bondarenko V. Basic concepts of minerals mining technology. Bondarenko V., Kovalevska I., Ganushevych K., Russkikh V. [etc] Tutorial. Dnipropetrovs'k : LizunoffPress, 2014. 428 p. (in English). ISBN 978-966-2575-35-4.
3. Constantinos Emmanouil Migiakis. Top-down construction method. Vinhomes metropolis. URL: http://labmetalstructures.civil.ntua.gr/cms/images/lectures/Top_down_construction_method.pdf
4. Croce P., Flora A., Modoni G. Jet Grouting: Technology, Design and Control. London : CRC Press, 2014. 288 p.
5. Dohyun K., Sangseom J., Gyungja J., Jongjeon P. Load-sharing ratio of prebored and precast pile in top-down method construction process. The Structural Design of Tall and Special Buildings, 2018, 27(10):e1472. DOI:10.1002/tal.1472
6. Guang Xiu Fang, Zheng Chao Jin. A Study of the Planning Methods in the Underground Work of Top-Down Construction in High-Rise Buildings. Advanced Materials Research, 2014, Vol. 1044-1045, 561-565. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.1044-1045.561
7. Huang Mei Qun, Ding De Yun, Yang Xiu Ren, Wang Chen. A new subway station construction method: top-down boring with cast-in-situ arch. Applied Mechanics and Materials. 2014, Vol. 501-504, 1706-1710. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.501-504.1706
8. John Endicott. Digging deeper and smarter. URL: <https://aecom.com/without-limits/article/digging-deeper-smarter/#:~:text=Top%2Ddown%20construction%20uses%20the,new%20metro%20lines%20under%20roads>.

9. Kheir Al-Kodmany. Green towers and iconic design: Cases from three continents. *International Journal of Architectural Research Archnet-IJAR*, 2014, 8(1): 11-28. DOI:10.26687/ARCHNET-IJAR.V8I1.336
10. Kiyoaki H., Junji H., Kiyoshi Y. Settlement behavior of piled raft foundation supporting a 300 m tall building in Japan constructed by top-down method. *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 2016, 2(2): 166-169. DOI:10.3208/jgssp.ESD-21
11. Law K.H., Siti Z.O., Roslan H., Zubaidah I. Determination of soil stiffness parameters at a deep excavation construction site in Kenny Hill Formation, *Measurement*, 2014, Vol. 47, 645-650. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.09.030>.
12. Makhynia, O., & Halenko, Y. (2023). Палі-колони при зведенні будівель методом «ВБЕРХ-ВНИЗ»(TOP-DOWN). *Ways to Improve Construction Efficiency*, 1(51), 259-270..
13. Nidhi Setya, Prachi Patwardhan, Priyanka Dherange. Wanchai, Hong Kong. URL: <http://faculty.arch.tamu.edu/anichols/courses/applied-architectural-structures/projects-631/Files/CENTRALplaza.pdf>
14. NJOCK, Pierre Guy Atangana, et al. A review of jet grouting practice and development. *Arabian Journal of Geosciences*, 2018, 11.16: 459..
15. Qiping W., Zhonghua Xu, Zhihou Wu, Ruobiao Liu. Design and Performance of the Deep Excavation of a Substation Constructed by top-down Method in Shanghai Soft Soils. *Procedia Engineering*, 2016, Vol. 165, 682-694. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.766>
16. Quentin Suckling. What is top-down construction and what are its benefits. URL: <https://sheerforceeng.com/what-is-top-down-construction/>
17. Thomson line construction. URL: <https://thomson-line.blogspot.com/2014/05/construction-methodologies.html>
18. Tuan B.Q., Tam Ng.M. Semi top-down method combined with earth-bank, an effective method for basement construction. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2018, 143, 012047. DOI 10.1088/1755-1315/143/1/012047

19. Wang J.H., Xu Z.H., Di G.E., Wang W.D. Performance of a deep excavation constructed using the united method: bottom-up method in the main building part and top-down method in the annex building part. *Underground Construction and Ground Movement*, 2012, 385-392. DOI:10.1061/40867(199)48
20. What is top-down construction method? URL: <https://en.istasazeh-co.com/what-is-top-down-construction-method/>
21. Zargar Hossein & Mirmohamadi S.Mostafa. Top-down construction method: a case study of commercial building in Tehran. URL: https://www.researchgate.net/publication/330313785_Top-Down_Construction_Method_A_Case_Study_of_Commercial_Building_in_Tehran
22. Біліченко М. Я., Денищенко О. В. Основи теорії та розрахунки засобів транспортування вантажів шахт : навч. посіб. 2-е вид. Д. : Національний гірничий університет, 2008. 103 с.
23. Біліченко М. Я., Півняк Г. Г., Ренгевич О. О. Транспорт на гірничих підприємствах : підручник для вузів / за. ред. М. Я. Біліченка. 3-є вид. перероб. та доп. Д. : Національний гірничий університет, 2005. 636 с.
24. Білопавловський О. М. Підземне будівництво: технології, інновації, безпека : навчальний посібник. Київ : КНУБА, 2018. 245 с.
25. Будівельні матеріали і конструкції підземних споруд: Конструкції кріплення [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. Спеціальності 184 «Гірництво» / Г. І. Гайко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 8,37 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 134 с..
26. Гавриш О. А. Економіка будівництва : підручник. Київ : Знання, 2019. 415 с.
27. Геологія і корисні копалини України : у 3 т. / гол. ред. Л. С. Галецький. Київ : УкрДГРІ, 2001. Т. 1 : Геологічна будова та геологічна історія. 600 с.
28. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіонбуд України, 2017. 43 с.
29. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ : Мінрегіон України, 2018. 35 с.

30. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. Київ : Мінрегіон України, 2018. 142 с.
31. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. Київ : Мінінфраструктури України, 2023. 68 с.
32. ДБН В.2.3-15:2007. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів. Київ : Мінрегіонбуд України, 2007. 52 с.
33. ДСТУ Б В.2.1-27:2010. Ґрунти. Методи визначення механічних властивостей. Київ : Держспоживстандарт, 2010. 45 с.
34. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проєктування. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 118 с.
35. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 127 с.
36. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти : підручник / М. Л. Зоценко, В. І. Коваленко, А. В. Яковлев та ін. Полтава : ПНТУ, 2003. 446 с.
37. Кириченко М. Т., Кузьменко О. Х. Основи гірничого виробництва : навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів України. Житомир : ЖДТУ, 2003. 340 с. ISBN 966-683-3.
38. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. Дата оновлення: 01.01.2024.
39. Корнієнко М. В. Технологія зведення підземних споруд у складних ґрунтових умовах : монографія. Харків : ХНУБА, 2019. 280 с.
40. Кравець В. Г., Кириченко М. Т., Фролов О. О., Вапнічна В. В. Основи технології видобування корисних копалин : посібник для студентів напряму підготовки «Гірництво». К. : ІВЦ «Видавництво «Політехніка»», 2008. 72 с. 120 прим. ISBN 966-683-035-3.
41. Маланчук З. Р., Маланчук Є. З., Корнієнко В. Я. Спеціальні технології видобутку корисних копалин : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2017. С. 290.

42. Махия О.М., Акімов Ф.Н. Методика дослідження оцінки впливу застосування різних розчинозмішувачів на техніко-економічні показники копання траншеї способом “стіна в ґрунті. Строительство и техногенная безопасность. 2007. Вып. 21. сС. 87-92.

43. Махия О.М., Терновий В.І. Застосування гідравлічного імпульсного змішувача для приготування прохідницьких глинистих розчинів в способі “стіна в ґрунті”. Нові технології в будівництві. 2005. №1(9). С. 62-65

44. Метод граничних елементів в розрахунках схилів : монографія / А. С. Моргун; Вінниц. нац. техн. ун-т. - Вінниця : ВНТУ, 2012. - 94 с.

45. Національний атлас України / голов. ред. Л. Г. Руденко. Київ : ДНВП «Картографія», 2007. 440 с.

46. Підземні гірничі роботи: технологія гірничих робіт : навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво», спеціалізації «Розробка родовищ та видобування корисних копалин» / М. Т. Кириченко, А. Л. Ган, С. М. Стовпник, Л. В. Шайдецька, Є. А. Загоруйко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові данні. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 160 с

47. Правила пожежної безпеки в Україні : затверджені Наказом МВС України від 30.12.2014 № 1417. Дата оновлення: 05.03.2023.

48. Рудько Г. І. Інженерна геодинаміка України та її екологічні наслідки. Київ : Наукова думка, 2004. 472 с.

49. Технологія підземної розробки пластових родовищ корисних копалин : підручник для студентів вищих навчальних закладів України / В. І. Бондаренко. О. М. Кузьменко, Ю. Б. Грядущий та ін. Дніпропетровск : Поліграфіст, 2005. 708 с. ISBN 966-350-033-6.

50. Ткаченко В. В. Інженерні та просторові рішення для укриттів подвійного призначення в умовах воєнного стану. Містобудування та територіальне планування. 2022. № 80. С. 101–109.

51. Транспортні системи гірничих підприємств (шахти та збагачувальні фабрики): навч. посіб. / З. Р. Маланчук, В. Я. Корнієнко, М. М. Марчук та ін. [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2020. – 157 с.

Додатки

