

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій
ННІ Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту

«Будівництво, архітектура та інфраструктура»
(назва факультету)

«Транспортна інфраструктура»
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
ОС «магістр»
(ступінь вищої освіти)

на тему: Обґрунтування параметрів кріплення та технології спорудження
пілонної станції Дніпровського метрополітену
за освітньою програмою «Мости і транспортні тунелі»
зі спеціальності: 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: MT2321

(підпис студента)

/ Григорій КСЬОНДЗ /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

(підпис)

/ зав. каф. Олексій ТЮТЬКІН /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:

(підпис)

/ зав. каф. Олексій ТЮТЬКІН /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Дніпро – 2025 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies
Dnipro Institute of Infrastructure and Transport

Building, architecture and infrastructure
(faculty)

Transport infrastructure
(department)

Explanatory Note
to Master's Thesis
Master
(higher education degree)

on the topic: Substantiation of lining parameters and construction technology
of the pylon station of the Dnipro metro

according to educational curriculum Bridges and vehicular traffic tunnels

in the Specialization: 192 Building and civil engineering
(Specialization and its code)

Done by the student of the group: MT2321 / Hryhorii KSONDZ /
(name, surname)

Scientific Supervisor: / Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /
(position, name, surname)

Normative controller : / Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /
(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій
ННІ Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту

Факультет: «Будівництво, архітектура та інфраструктура»

Кафедра: «Транспортна інфраструктура»

Рівень вищої освіти: «Магістр»

Освітня програма: «Мости і транспортні тунелі»

Спеціальність: 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортна інфраструктура»

Олексій ТЮТЬКІН

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата _____

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ОС «магістр»

(ступінь вищої освіти)

студенту Ксьондзу Григорію Михайловичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Обґрунтування параметрів кріплення та технології спорудження пілонної станції Дніпровського метрополітену»

Керівник роботи: Тютюкін Олексій Леонідович, д.т.н., професор

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від «16» лютого 2024 р. № 157ст

2. Строк подання студентом роботи: «15» січня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Результати аналізу інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов Дніпровського метрополітену, конструкцій пілонної станції та дані, що отримані під час пошуку в Internet.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

Вступ. Розділ 1. Аналіз інженерно-геологічних умов будівництва та проєктування варіантів оправи. Розділ 2. Математичне моделювання станційної конструкції та обґрунтування параметрів кріплення. Розділ 3. Обґрунтування технології спорудження пілонної станції Дніпровського метрополітену. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі (PowerPoint, 10...12 слайдів).

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Розділ 1. Аналіз інженерно-геологічних умов будівництва та проектування варіантів оправи.	02.09.2024-29.09.2024	
2	Розділ 2. Математичне моделювання станційної конструкції та обґрунтування параметрів кріплення.	30.09.2024-03.11.2024	
3	Розділ 3. Обґрунтування технології спорудження пілонної станції Дніпровського метрополітену. Висновки. Оформлення ВКР.	04.11.2024-05.12.2024	
4	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	09.12.2024-12.01.2025	
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2025	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	22.01.2025	

Студент

_____ (підпис)

Григорій КСЬОНДЗ

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Олексій ТЮТЬКІН

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

60 стор., 18 рис., 10 табл., 14 літературних джерел.

Об'єкт розробки – пілонна станція метрополітену, що закладена в міцних породах (умови Дніпровського метрополітену).

Мета роботи – обґрунтування параметрів кріплення та технології спорудження пілонної станції.

Метод дослідження – метод скінченних елементів.

В магістерській роботі виконано аналіз інженерно-геологічних умов будівництва, виконане визначення основних розмірів станційної конструкції та проведено варіантне проєктування та техніко-економічне порівняння варіантів.

Розроблена скінченно-елементна модель пілонної станції (просторова постановка). На її основі реалізоване математичне моделювання станційної конструкції та виконане обґрунтування параметрів кріплення. Визначено параметри напруженого стану пілонної станції.

Обґрунтовано спорудження пілонної станції Дніпровського метрополітену із застосуванням буровибухових робіт.

Ключові слова: МЕТРОПОЛІТЕН, ПІЛОННА СТАНЦІЯ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, НАПРУЖЕНИЙ СТАН, МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ТЕХНОЛОГІЯ СПОРУДЖЕННЯ, БУРОВИБУХОВІ РОБОТИ

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ БУДІВНИЦТВА ТА ПРОЄКТУВАННЯ ВАРІАНТІВ ОПРАВИ	9
1.1 Аналіз інженерно-геологічних умов будівництва	9
1.2 Визначення основних розмірів станційної конструкції	14
1.3 Варіантне проектування та техніко-економічне порівняння варіантів	17
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНЦІЙНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КРІПЛЕННЯ	22
2.1 Створення скінченно-елементної моделі в просторовій постановці	22
2.2 Напружений стан скінченно-елементної моделі.....	24
2.3 Обґрунтування параметрів кріплення при варіації ширини пройому	27
3 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СПОРУДЖЕННЯ ПІЛОННОЇ СТАНЦІЇ ДНІПРОВСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ	33
3.1 Інженерна підготовка будівельного майданчика.....	33
3.2 Технологія спорудження бокових тунелів пілонної станції.....	34
3.3 Технологія спорудження середнього тунелю пілонної станції	36
3.4 Спорудження пройомів	39
3.5 Обґрунтування спорудження пілонної станції Дніпровського метрополітену із застосуванням буровибухових робіт	41
3.6 Розрахунок вентиляції при буровибухових роботах	53
3.7 Розрахунок електровозної відкатки породи	54
ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	59

ВСТУП

Метрополітен є важливою частиною транспортної інфраструктури великого міста, транспортною мережею, яка не займає великі наземні площі, є відокремленою та ефективною системою перевезення пасажирів. В останні роки, під час російсько-української війни метрополітен, окрім своєї прямої функції, виконує подвійне призначення – захист населення від ракетно-бомбових ударів.

Оскільки метрополітен більшою мірою є мережею об'єктів, що споруджуються під землею (лінії глибокого та мілкового закладення), то логічним є те, що, по причині складностей зведення, будівництво є більш витратним, ніж наземне. Цей факт торкається і прямих витрат на підземні об'єкти метрополітену (перегінні тунелі, станції, ескалаторні тунелі, шахтні стволи), і трудовитрат. Велику долю від витрат займають саме станції метрополітену, оскільки їх спорудження є складним і відповідальним процесом.

Аналізуючи ситуацію Дніпровського метрополітену, слід відмітити, що вона кардинальним чином відрізняється і від Київського, і від Харківського. Геологічна ситуація у випадку глибокого закладення представлена міцними тріщинуватими породами, які унеможливають застосування прохідницьких щитів для перегінних тунелів і застосування прохідницьких агрегатів для станційних тунелів. При цьому схеми станційних комплексів вимагають застосування односклепінчастого або колонного варіантів, які вже були застосовані під час спорудження I черги Дніпровського метрополітену.

Однак, детальний аналіз особливостей геологічної (наявність систем тріщин) та гідрогеологічної (значні водопритоки) доводить, що застосування таких видів станційних конструкцій може бути ризикованим. Тому після поновлення робіт по спорудженню Дніпровського метрополітену проєктувальники звернулися до схеми пілонного типу, яка раніше вважалася притаманною слабким ґрунтам. Ця схема є перевіреною та надійною, і її застосування для умов Дніпровського метрополітену є слушним.

Однак пілонна станція в міцних породах однозначно потребує обґрунтування параметрів кріплення та технології спорудження пілонної станції, оскільки зрозуміло, що досвід спорудження таких станцій в слабких грунтах для умов м. Дніпра є невідповідними. Наявність гранітів, в яких закладено об'єкти Дніпровського метрополітену, потребує застосування інших геометричних параметрів станції, що є раціональними. При цьому матеріал оправи станції завдяки високим водопритокам може бути різним за умов чіткого обґрунтування. Досвід Дніпровського метрополітену свідчить про те, що застосування чавунних тюрбінгів є вірним рішенням, прийнятим під час проєктування.

Технологія спорудження пілонної станції в м. Дніпрі також співпадає з вже відомою лише в загальних рисах, тобто в деяких кроках алгоритму проходки бокових тунелів, середнього залу та спорудження проходів. Основною відмінністю від станції пілонного типу, що споруджується в слабких породах, є спосіб руйнування породи. Безсумнівно, що для плагіогранітів з міцністю за проф. М. М. Протод'яконовим $f=6...8$ раціональним способом є буровибуховий. Його втілення під час реалізації проєкту будівництва також має особливості, які потребують обґрунтування, а саме врахування етапності робіт по розкриттю виробки великого (> 6 м) діаметру бокового тунелю.

В таких умовах логічним є застосування методу передової штольні або, як її називають під час щитової проходки в слабких породах, методу «пілот-тунелю». Міцність порід, застосування буровибухового способу, дві окремі виробки потребують подвійного розрахунку шпурів та зарядів, що в комплексі з розрахунком вентиляції та відкатки породи складає обґрунтування технології спорудження.

Таким чином, тема випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістра», а саме обґрунтування параметрів кріплення та технології спорудження пілонної станції Дніпровського метрополітену є актуальною і приймається до виконання.

1 АНАЛІЗ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ БУДІВНИЦТВА ТА ПРОЄКТУВАННЯ ВАРІАНТІВ ОПРАВИ

1.1 Аналіз інженерно-геологічних умов будівництва

Хід будівництва підземного об'єкту, зокрема пілонної станції, його вартість і термін виконання робіт визначаються в основному геологічними й гідрогеологічними умовами, що мають місце на трасі тунелю.

У зв'язку з цим особливе значення для успішного ходу робіт мають інженерно-геологічні дослідження території, наміченої для будівництва пілонної станції. Геологічна експертиза, що узагальнює результати цих досліджень, повинна дати відповідь на всі питання, що цікавлять будівельників, передбачити труднощі, що можуть виникнути в процесі будівництва та експлуатації тунелю, і рекомендувати найбільш сприятливе в геологічному відношенні положення траси. Помилки або неправильні висновки експертизи можуть досить несприятливо вплинути на хід, вартість і терміни будівництва, а також на умови експлуатації тунелю.

У програму інженерно-геологічного обстеження району будівництва тунелю входять наступні види робіт [1]:

- вивчення наявних літературних і картографічних матеріалів по топографії, геології і гідрогеології району;
- проведення інженерно-геологічної зйомки території будівництва, що полягає у вивченні оголень земної кори, стійкості ґрунтових мас, потужності і хімічного складу джерел, що виходять на поверхню, характеру рельєфу тощо;
- призначення варіантів траси тунелю та закладення станції метрополітену для всебічних геологорозвідувальних робіт;
- детальні глибинні геологорозвідувальні роботи і гідрогеологічні дослідження з лабораторним вивченням фізико-механічних властивостей гірських порід і хімічного складу підземних вод.

Найбільш розповсюдженим методом глибинного дослідження гірського масиву є ударно-обертальне буріння свердловин з відбором проб через 0,5 м у

слабких породах і колонкове буріння з узяттям керна в скельних породах.

При довжині станційного комплексу до 200 м із земної поверхні бурять сім свердловин, з яких три розташовують по його осі, а чотири – на двох поперечниках. При більшій довжині станційного комплексу свердловини розташовують уздовж його осі через 150 м і через кожні 200 м – поперечники з двох свердловин для вивчення поперечної будівлі прорізаного тунелем масиву. В усіх випадках у кожного з шахтних стволів додатково розміщують по одному поперечнику.

Глибину свердловин призначають на 6 м більше глибини закладання підосви станційного комплексу, а в складних геологічних умовах свердловини занурюють на 2 м у шар стійких порід, що залягають нижче підосви.

Для проектування станції метрополітену важливими є наступні дані звіту:

- геологічна структура і стійкість гірського масиву;
- наявність зон розмиву, провалів, зсувів і карстів, а також скидань, складок тощо;
- очікуваний гірський тиск і ймовірність зустрічі ділянок зі значним тиском;
- зони і характер можливих обвалів і вивалів породи при розробці;
- фізико-механічні властивості порід і їхня міцність у відношенні розробки;
- стійкість порід до вивітрювання і вилуговування;
- теплопровідність порід і очікувана температура в підземній виробці;
- кути природного укосу порід;
- характер тріщинуватості порід;
- характеристика водоносних горизонтів, напрямок і швидкість руху підземних вод, а також величина очікуваних припливів води в підземні виробки;
- коефіцієнт фільтрації порід;
- хімічний склад порід і підземних вод і ступінь їхньої агресивності;
- підземні гази;
- родовище місцевих будівельних матеріалів, їхні запаси і якісна

характеристика;

- джерела господарського і технічного водопостачання; можливість використання породи для інших об'єктів будівництва.

Представлення про геологічну будову масиву по трасі перегінного тунелю і в місці пілонної станції дають поздовжній і поперечний геологічні розрізи і ряд інших графічних матеріалів, перерахованих у технічних умовах і інструкціях на виробництво інженерно-геологічних вишукувань для проектування і будівництва метрополітенів і гірських залізничних тунелів.

Темою кваліфікаційної роботи є спорудження пілонної станції метрополітену в складних інженерно-геологічних умовах в м. Дніпро, який розміщений, в основному, в скельних породах. Скельні породи є найбільш складними в інженерно-будівельному відношенні. Вони відрізняються високою міцністю та стійкістю, малими деформаціями та слабкою водопроникністю. Ділянки розповсюдження таких порід найбільш сприятливі для будівництва без суттєвих обмежень і часто без застосування складних заходів для забезпечення їх стійкості.

Станція метрополітену пілонного типу знаходиться в плагіогранітах ($\approx 80\%$ всіх порід). Граніти в даному випадку сильно тріщинуваті, водонасичені. Тріщинуватість скельних гірських порід є одним із вирішальних факторів при їх інженерно-геологічній оцінці і характеризує результат порушення їхньої суцільності – механічного руйнування.

Тріщини зазвичай простягаються по декількох взаємно пересіченими напрямками, визначаючи просторове розміщення поверхонь та зон ослаблення. Тому тріщинуватість впливає на міцність та стійкість гірських порід; деформацію, характер проявлення деформацій та їх величину; водоносність, водоемність, водопроникність та газопроникність; глибину проникнення агентів вивітрювання та інтенсивність розвитку процесів вивітрювання; розвиток корозійних та карстових утворювальних процесів та проникнення карсту на глибину; температурний режим в масиві порід; сейсмостійкість порід; міцність, важкість розробки та будівельну категорію порід; визначення

потужності знімання при проектуванні споруди.

Властивості гірських порід, які визначають їх фізичний стан, відношення до води та закономірності зміни міцності та деформування – фізико-механічними властивостями гірських порід. Їх виражають та оцінюють за допомогою окремих показників – характеристик.

Головними фізичними властивостями скельних та напівскельних гірських порід є питома вага, об'ємна вага, пористість, а для напівскельних порід і вологість. Ці властивості взаємопов'язані і в цілому виражають стан порід. По основним фізичним властивостям скельних порід можна обговорювати їхню міцність та стійкість.

Питоною вагою гірської породи називають вагу одиниці об'єму її твердої частини – скелету. Питома вага гірських порід не показує їх фізичного стану і не використовується в інженерних розрахунках, але необхідна при обчисленні інших важливих показників їх властивостей, наприклад, пористості.

Об'ємною вагою породи прийнято називати вагу одиниці об'єму гірської породи природного складу та вологості.

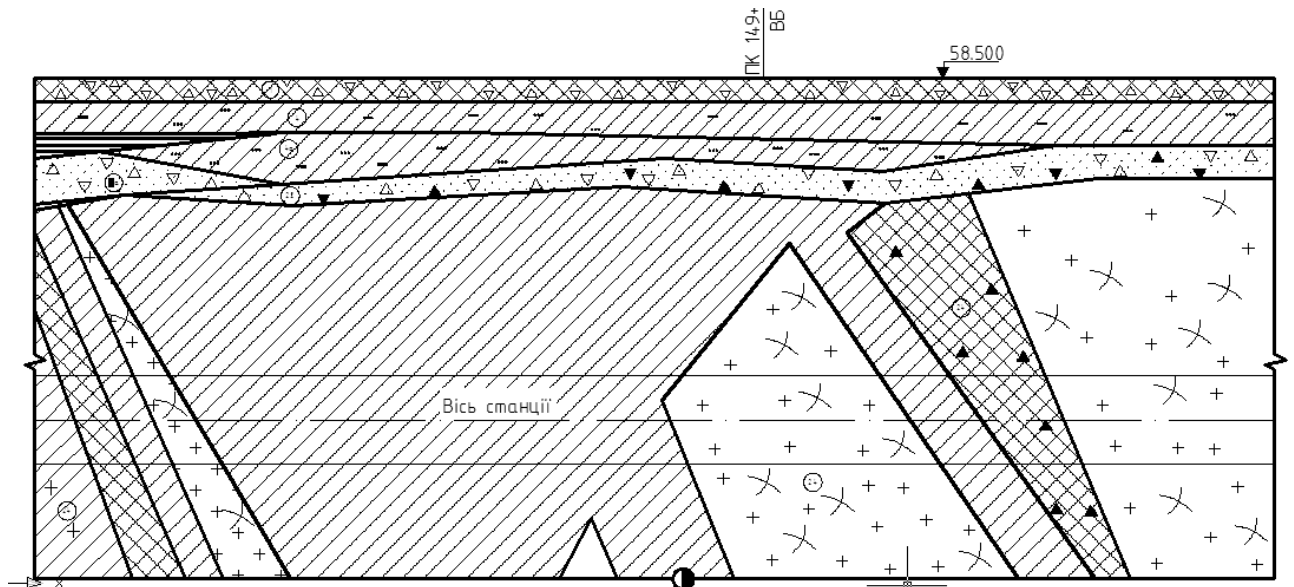
Окрім питокої та об'ємної ваги гірських порід іноді визначають об'ємну вагу їх скелету, під якою розуміють вагу одиниці об'єму твердої частини породи природного складу.

Важливою характеристикою фізичних властивостей і стану гірських порід є їх пористість. Пустоти в гірських породах, які мають капілярні та субкапілярні розміри, називають порами. Пористість скельних гірських порід незначна і зазвичай змінюється від долей відсотка до декількох відсотків.

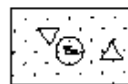
Фізичний стан і властивості гірських порід в значній мірі залежать від їх вологості, яка визначається відношенням ваги води, яка заповнює пори, до ваги сухої породи. Якщо вологість визначена по природним зразкам породи, то вона називається природною.

Міцність скельних гірських порід прийнято виражати і оцінювати тимчасовим опором стиску, розтягу, зсуву і рідше згину. На міцність гірських порід більший вплив мають їх текстурні особливості.

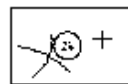
Ділянка пілонної станції в геоморфологічному відношенні знаходиться на першій пізньочверткової правобережній терасі р. Дніпро. Спостерігається підтоплення території, на якій споруджується пілонна станція (рис. 1.1).



Умовні позначення



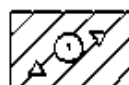
Флювіогляціальні відклади - піщано-гравелиста товща з галькою, щебнем та валунами кристалічних порід, водонасичені, абсолютно нестійкі



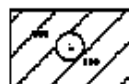
Плагіограніти рожево-сірі, сірі, дрібно та середньозернисті, в верхній частині бивітрені до рухливого стану, тріщинуватість від середньої до інтенсивної



Елювій кристалічних порід - дрібно-щебелеві ґрунти з піщано-глинистим заповнювачем, водонасичені, абсолютно нестійкі



Насипні ґрунти: асфальтова покриття з дрібно-щебелевим підсиленням, піски та суглинки, абсолютно нестійкі



Суглинки сірувато-жовті, тверді, середньої стійкості



Супіски сірувато-жовті, різного ступеня заплоченості, пластичні, абсолютно нестійкі



Зони дроблення, мілонітизації, абсолютно нестійкі



Зони сильної та інтенсивної тріщинуватості

Рисунок 1.1 – Інженерно-геологічні умови закладення пілонної станції

Геологічна будова ділянки представлена комплексом осадових чверткових відкладень, які залягають на архей-протезойському фундаменті.

Сучасні відкладення представлені насипними ґрунтами – асфальтовим покриттям з дресв'яно-щебенистою підсипкою, пісками, суглинками з включеннями будівельного бруду потужністю 1,4...4,8 м.

Алювіально-делювіальні відкладення загальною потужністю від 4,0 м до 11,5 м представлені суглинками і супісками з тонкими прошарками пилюватих пісків та дрібними кварцовими пісками.

Флювіогляціальні відкладення представлені неоднорідною гравелістою товщею – галькою, дресвою, щебенем з піщаним заповнювачем – змістом 30...50 %, потужністю 1,2...5,6 м.

Чверткові утворення залягають на протезой-мезозойській корі вивітрювання магматичних порід, представлені дисперсною і уламковою зонами. У вказаних зонах наявні каоліни первинні. Також представлені суглинки з включеннями зерен кварцу, дресви та щебеню змістом 10...30 %.

Нижче залягають дресвяно-щебенисті ґрунти з піщано-глинястим заповнювачем, а далі елювій скельних порід з піщаним і дресвяно-щебенистим заповнювачем.

Основою є архей-протезойські породи, що представлені плагііогранітами сірими, темно-сірими, дрібно-середньозернистими.

Скельний масив порушено тектонічними зонами різноманітного характеру, напрямку і потужності.

На ділянці пілонної станції встановлена наявність зон наступних типів:

- 1) дроблення і каолінізації (сильновивітрені ґрунти, що містять 40...60 % каоліну);
- 2) дроблення і мілонітизації (менш вивітрені ґрунти);
- 3) інтенсивної тріщинуватості, супроводжуючі зони перших двох груп.

1.2 Визначення основних розмірів станційної конструкції

Основними розмірами станції є: довжина і ширина посадочних платформ,

довжина і ширина посадочних платформ, довжина і ширина середнього залу станції, висота станції у світу, ширина і висота проходів [10]. Основні дані до розрахунків:

1. Інженерно-геологічні умови – граніт $f=8$.
2. Склад поїзду – 5 вагонів.
3. Коефіцієнт посадки-висадки – 0,55.

Довжина пасажирської платформи станції приймається згідно з кількістю вагонів, які експлуатуються у поїздах, що проходять через станцію [7]:

$$L_{nl} = l \cdot n + a = 19,2 \cdot 5 + 2 = 98,2 \text{ м},$$

де $l = 19,2 \text{ м}$ – довжина вагонів між зціпленнями, $n = 5$ – кількість вагонів у поїзді, $a = 2 \text{ м}$ – запас на неточність зупинки поїзда.

Приймаємо 98,25 м, щоб довжина платформи була кратна ширині кільця оправи тунелю.

Площа платформи визначається з урахуванням кількості пасажирів:

$$S_{nl} = P_{nl} \cdot \eta = 468 \cdot 0,55 = 257,4 \text{ м}^2;$$

де P_{nl} – кількість пасажирів, які знаходяться на платформі (чол.); $\eta = 0,55$ – щільність заповнення платформи ($\text{м}^2/\text{чол}$), приймається в межах 0,33...0,75, більше значення приймаємо для станцій з масовим пасажиропотоком.

$$P_{nl} = A \cdot n \cdot k_{ng} = 170 \cdot 5 \cdot 0,55 = 468 \text{ чол};$$

де $A = 170 \text{ чол}$ – розрахункова величина заповнення вагона; $k_{ng} = 0,55$ – коефіцієнт посадки-висадки пасажирів.

Розрахункова довжина платформи визначається з урахуванням відстані від початку поїзда до перших дверей і від останніх до кінця поїзда ($\approx 7 \text{ м}$):

$$l_p = L - 7 = 98,25 - 7 = 91,25 \text{ м.}$$

Необхідна ширина платформи:

$$b = \frac{S_{nl}}{l_p} + 0,55 = \frac{257,4}{91,25} + 0,55 = 3,3 \text{ м.}$$

Приймається $b = 3,2 \text{ м}$, тобто ширина платформи згідно з [4].

Розрахунок кількості проходів:

$$m = \frac{60 \cdot P_{nl} \cdot k}{4000 \cdot b_{np} \cdot t};$$

де 4000 – пропускна можливість 1 м ширини проходу при двосторонньому русі; $b_{np} = 3 \text{ м}$ – ширина проходу; $k = 2$ – коефіцієнт використання проходів; $t = 3 \text{ хв}$ – інтервал між поїздами.

$$m = \frac{60 \cdot 468 \cdot 2}{4000 \cdot 3 \cdot 2} = 2,34 \approx 2,4.$$

Приймаємо кількість проходів $m = 14$ для сучасних типів станції.

Розрахунок глухої дільниці:

$$L_{gl} = \frac{1}{3} L_{nl} = \frac{1}{3} \cdot 98,25 = 32,75 \text{ м.}$$

Кількість ескалаторів:

$$n = \frac{2 \cdot n_{\Pi} \cdot P_{\Pi\Pi}}{8500} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 468}{8500} = 2,2 \text{ шт.};$$

Приймаємо кількість ескалаторів $n = 3 \text{ шт}$.

1.3 Варіантне проєктування та техніко-економічне порівняння варіантів

За даних геологічних умов доцільно будувати трьохсклепінчасту пілонну станцію. Розглянемо два варіанти будівництва станції [9, 10].

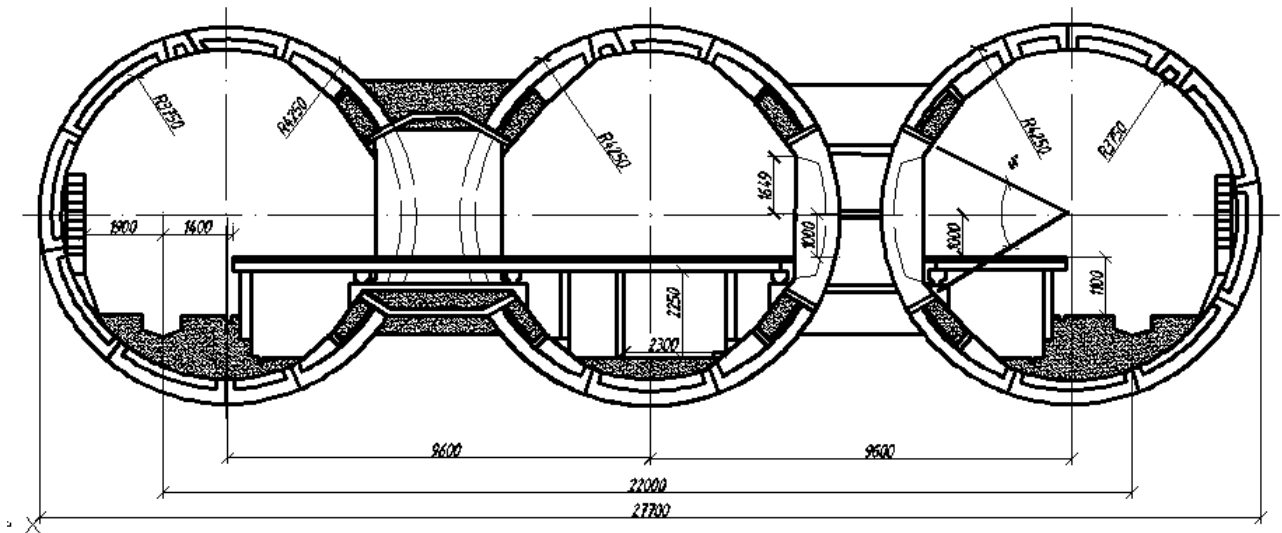


Рисунок 1.2 – Варіант № 1. Конструкція пілонної станції із залізобетонною оправою

1. Проходка пілот-тунелю механізованим щитом [10]:

$$V_1 = 2 \frac{\pi D_n^2}{4} L_{nn} \cdot k_p = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot 5,5^2}{4} \cdot 98,25 \cdot 2 = 9332,28 \text{ м}^3;$$

D_n – діаметр пілот-тунелю, $D_n = 5,5$ м; k_p – коефіцієнт розпушення ґрунту, $k_p = 2$.

2. Розширення перерізу тунелю:

$$V_2 = 2 \frac{\pi}{4} (D_s^2 - D_n^2) L_{nn} \cdot k_p = 2 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (8,5^2 - 5,5^2) \cdot 98,25 \cdot 2 = 12957,2 \text{ м}^3;$$

D_s – зовнішній діаметр тунелю.

3. Проходка тунелів способом суцільного забою (середній тунель):

$$V_3 = \frac{\pi \cdot D_{\text{сер}}^2}{4} \cdot L_{\text{нл}} \cdot k_p = \frac{3,14 \cdot 8,5^2}{4} \cdot 98,25 \cdot 2 = 11144,73 \text{ м}^3;$$

4. Вкладання збірної залізобетонної оправи із блоків:

$$V_4 = 3 \cdot \frac{\pi}{4} (D_3^2 - D_{\text{вн}}^2) \cdot L_{\text{нл}} = 3 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (8,5^2 - 7,5^2) \cdot 98,25 = 3702,06 \text{ м}^3$$

5. Проходка проходів станційних тунелів:

$$V_5 = l_n \cdot h_n \cdot b_n \cdot n = 3 \cdot 3 \cdot 3,9 \cdot 14 = 491,4 \text{ м}^3$$

6. Влаштування колійних стін:

$$V_6 = 0,3 \cdot 2,7 \cdot L_{\text{нл}} = 0,81 \cdot 98,25 = 79,58 \text{ м}^3;$$

7. Влаштування платформи:

$$V_7 = 0,3 \cdot b \cdot L_{\text{нл}} = 0,3 \cdot (2 \cdot 3,2 + 6,6) \cdot 98,25 = 384,94 \text{ м}^3$$

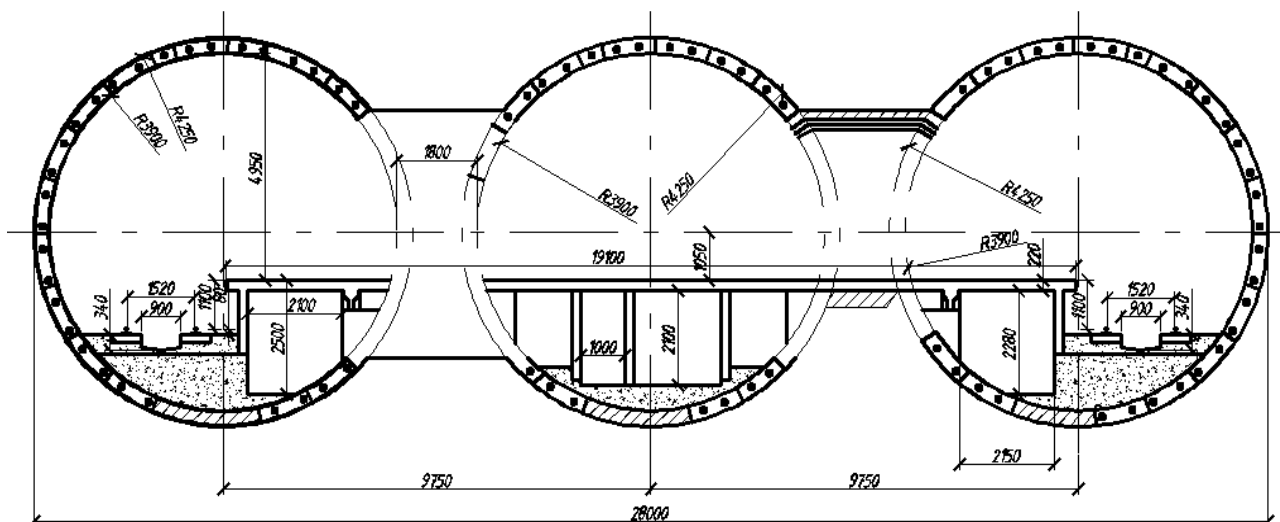


Рисунок 1.3 – Варіант № 2. Конструкція пілонної станції із чавунних тюбінгів

1. Проходка пілот-тунелю механізованим щитом [10]:

$$V_1 = 2 \frac{\pi D_n^2}{4} L_{nl} \cdot k_p = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot 5,5^2}{4} \cdot 98,25 \cdot 2 = 9332,28 \text{ м}^3;$$

D_n – діаметр пілот-тунелю, $D_n = 5,5$ м; k_p – коефіцієнт розпушення ґрунту, $k_p = 2$.

2. Розширення перерізу тунелю:

$$V_2 = 2 \frac{\pi}{4} (D_3^2 - D_n^2) L_{nl} \cdot k_p = 2 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (8,5^2 - 5,5^2) \cdot 98,25 \cdot 2 = 12957,2 \text{ м}^3;$$

D_3 – зовнішній діаметр тунелю.

3. Проходка тунелів способом суцільного забою (середній тунель):

$$V_3 = \frac{\pi \cdot D_{cep}^2}{4} \cdot L_{nl} \cdot k_p = \frac{3,14 \cdot 8,5^2}{4} \cdot 98,25 \cdot 2 = 11144,73 \text{ м}^3.$$

4. Вкладання чавунної оправы із тюрбінгів:

$$m = 0,24 \cdot \gamma_{чав} \cdot \frac{\pi}{4} (D_3^2 - D_{ви}^2) \cdot L_{nl} = 0,24 \cdot 7,2 \cdot \frac{3,14}{4} (8,5^2 - 7,8^2) \cdot 98,25 = 1520,66 \text{ т}$$

5. Проходка проходів станційних тунелів:

$$V_5 = l_n \cdot h_n \cdot b_n \cdot n = 3 \cdot 3 \cdot 3,9 \cdot 14 = 491,4 \text{ м}^3.$$

6. Влаштування колійних стін:

$$V_6 = 0,3 \cdot 2,7 \cdot L_{nl} = 0,81 \cdot 98,25 = 79,58 \text{ м}^3;$$

7. Влаштування платформи:

$$V_7 = 0,3 \cdot b \cdot L_{\text{ст}} = 0,3 \cdot (2 \cdot 3,2 + 6,6) \cdot 98,25 = 384,94 \text{ м}^3$$

На основі отриманих об'ємів проведене техніко-економічне порівняння варіантів (таблиці 1.1-1.2) [3].

Таблиця 1.1 – Варіант № 1. Конструкція пілонної станції із залізобетонною оправою

Варіант №1						
№	Назва роботи	Шифр	Вимірювач	Об'єм	Трудовитрати на одиницю	Трудовитрати на об'єм
1	Проходка пілот-тунелю	29-80-7	100 м ³	9332,28	38,6	3602,26
2	Розширення перерізу тунелю	29-80-8	100 м ³	12957,2	599,9	77730,24
3	Проходка тунелів способом суцільного забою (середній тунель)	29-70-9	100 м ³	11144,73	504,02	56171,67
4	Вкладання збірної залізобетонної оправи із блоків	29-126-11	100 м ³	3702,06	1548,4	57321,77
5	Проходка проходів станційних тунелів	29-93-2	100 м ³	491,4	1041,22	5116,56
6	Влаштування колійних стін	29-155-1	100 м ³	79,58	1300,3	1035,04
7	Влаштування платформи	29-153-2	100 м ³	384,94	1227,7	4726,65
Сумарні трудовитрати						205704,19

Таблиця 1.2 – Варіант № 2. Конструкція пілонної станції із чавунних тюрбінгів

Варіант №2						
№	Назва роботи	Шифр	Вимірювач	Об'єм	Трудовитрати на одиницю	Трудовитрати на об'єм
1	Проходка пілот-тунелю	29-80-7	100 м ³	9332,28	38,6	3602,26
2	Розширення перерізу тунелю	29-80-8	100 м ³	12957,2	599,9	77730,24
3	Проходка тунелів способом суцільного забою (середній тунель)	29-70-9	100 м ³	11144,73	504,02	56171,67
4	Вкладання чавунної оправи	29-128-4	1 т	1520,66	4,55	6919
5	Проходка проходів станційних тунелів	29-93-2	100 м ³	491,4	1041,22	5116,56
6	Влаштування колійних стін	29-155-1	100 м ³	79,58	1300,3	1035,04
7	Влаштування платформи	29-153-2	100 м ³	384,94	1227,7	4726,65
Сумарні трудовитрати						155301,4

Після проведення техніко-економічних порівнянь приймаємо варіант № 2 з чавунних тюрбінгів, оскільки трудовитрати на його спорудження є мінімальними, також цей варіант задовольняє інженерно-геологічним умовам.

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНЦІЙНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КРІПЛЕННЯ

2.1 Створення скінченно-елементної моделі в просторовій постановці

Дослідження трисклепінчастої станції пілонного типу виконується на основі методу скінченних елементів в просторовій постановці [5, 8, 13]. Модель трисклепінчастої станції побудована на основі реальних геометричних розмірів, результатів лабораторних досліджень та застосування розрахункового професійного комплексу Structure CAD for Windows, version 7.29 R.3 (SCAD) [11, 14].

Наданий розрахунок проводиться для того, щоб визначити напружено-деформований стан (НДС) оправи, для цього була розроблена просторова модель споруди із взаємодією оточуючого масиву (рис. 2.1) [5]. В подальшій кваліфікаційній роботі на основі наданої моделі проводилася модернізація її геометричних параметрів для обґрунтування кріплення.

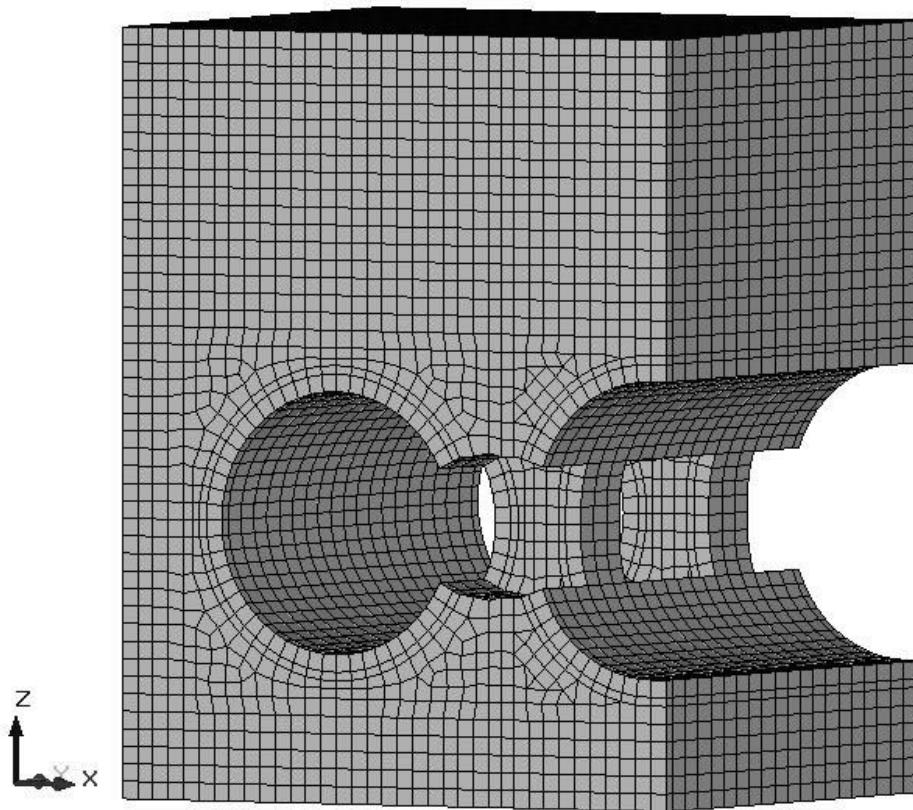


Рисунок 2.1 – Скінченно-елементна модель станційного тунелю

Модель основана на об'ємних скінченних елементах типу гексаедрів та тетраедрів і найповніше відображає взаємну роботу оправи станційного тунелю із оточуючим масивом (рис. 2.2 і 2.3).

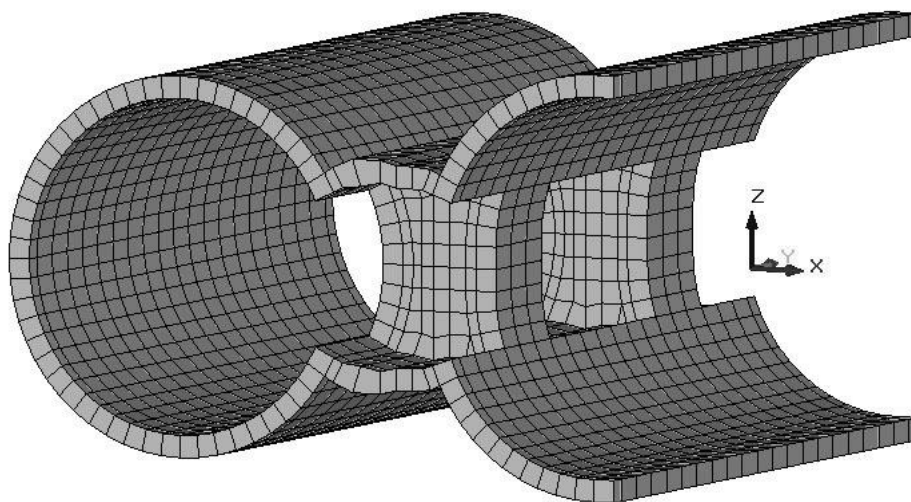


Рисунок 2.3 – Фрагмент скінченно-елементної схеми (оправа станції)

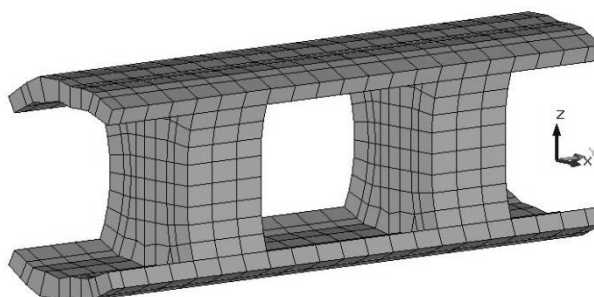


Рисунок 2.4 – Фрагмент скінченно-елементної схеми
(системи «пілон-пройом»)

Після створення просторової моделі їй надавалися деформаційні характеристики (модуль пружності – деформації, коефіцієнт Пуассона), причому для ґрунтів, оправи та шару первинного нагнітання вони задавалися окремо.

В скінченно-елементної моделі відтворені такі деформаційні характеристики: жорсткість 1 (граніт, $f=8$) – модуль пружності $E=30\ 000$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu=0,2$, питома вага $\gamma=20$ кН/м³; жорсткість 2 (цементно-ґрунтовий матеріал) – усереднена товщина 0,2 м, модуль пружності – 20 000 МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu=0,2$, питома вага $\gamma=22$ кН/м³; жорсткість 3

(залізобетон пілону) – приведений модуль пружності $E=35\ 100$ МПа, приведений коефіцієнт Пуассона $\mu=0,02$, питома вага $\gamma=25$ кН/м³; жорсткість 4 (чавун оправи) – модуль пружності $E=100\ 000$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu=0,1$, питома вага $\gamma=72$ кН/м³.

Модель завантажувалася власною вагою, яка обраховувалася із питомої ваги конкретного матеріалу, та навантаженням від відкинutoї частини масиву.

Після надання деформаційних характеристик на модель накладалися граничні умови: 1) по нижній границі моделі – заборона по осях X; Y; Z; 2) по боках моделі (вздовж боків, паралельних осі тунелю) – заборона по осях X та Y.

2.2 Напружений стан скінченно-елементної моделі

На рис. 2.5 і 2.6 наведені компоненти напружень.

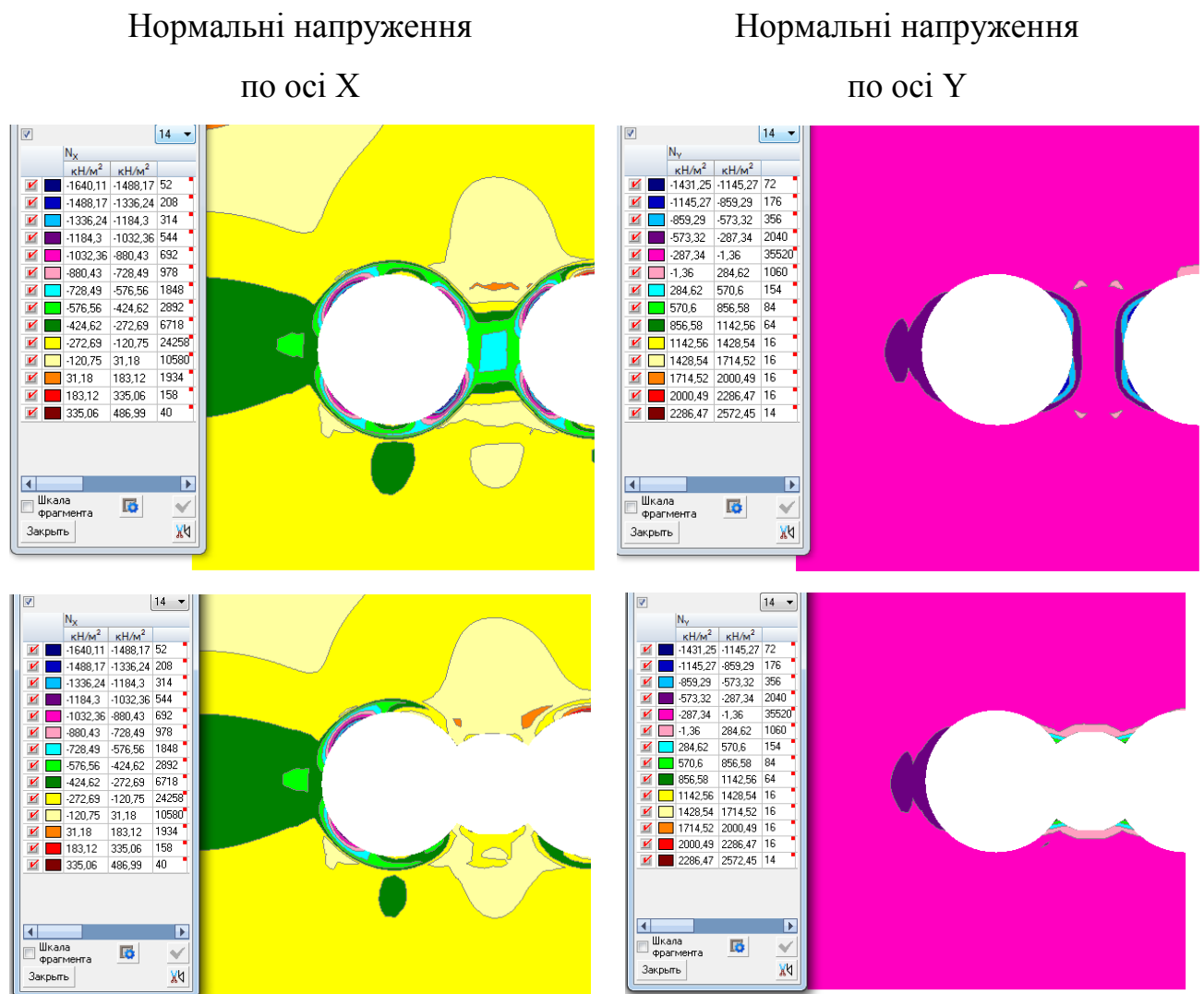


Рисунок 2.5 – Компоненти напружень (пілонна і пройомна частини)

Нормальні напруження
по осі Z

Дотичні напруження
в площині XZ

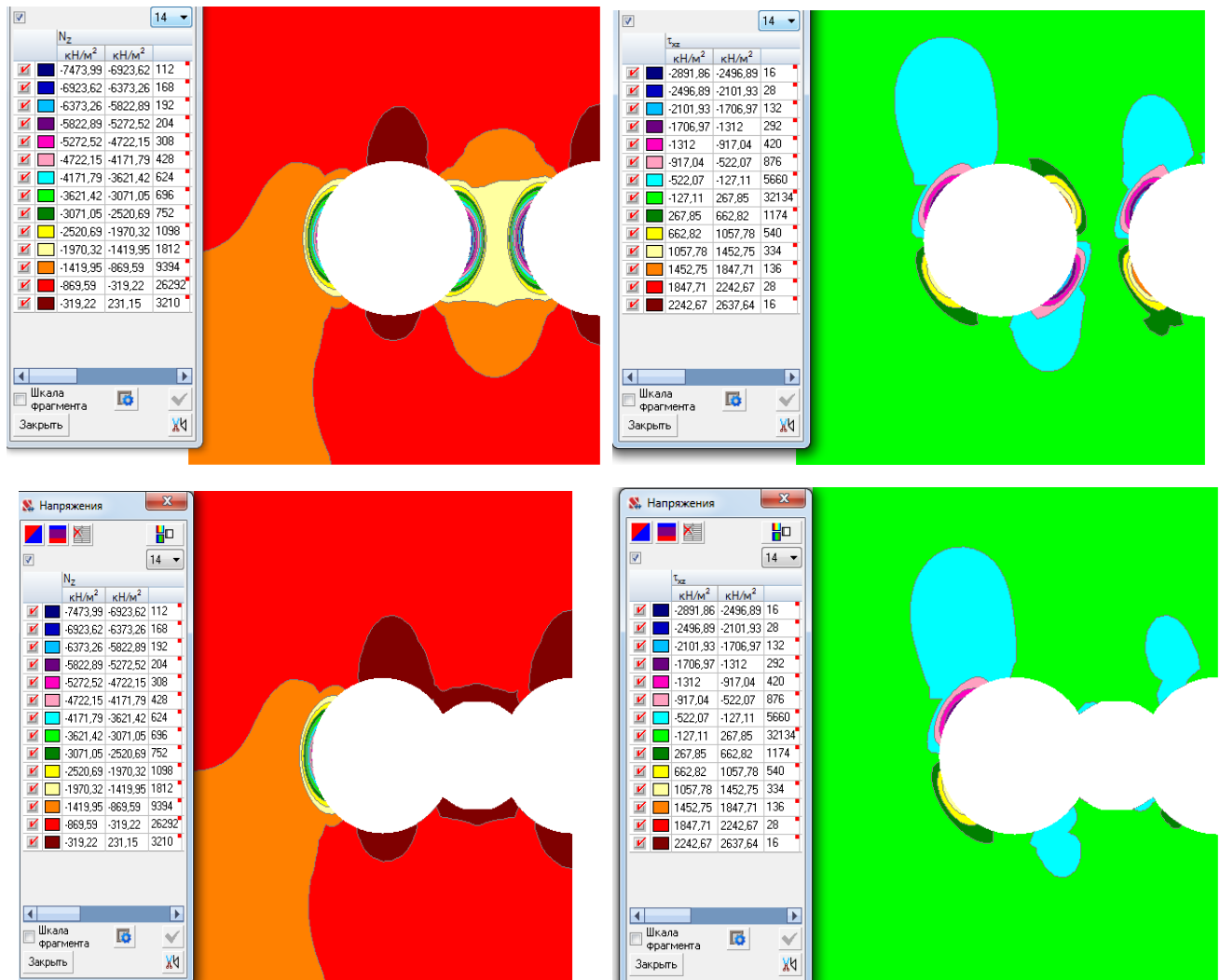


Рисунок 2.6 – Компоненти напружень (пілонна і пройомна частини)

Для подальшого аналізу НДС оправи і всієї конструкції на міцність, який буде проводитися лише по бетону без урахування арматури, застосуємо формулу четвертої теорії міцності (енергетична), виразом для якої є:

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_x \sigma_z + \sigma_z^2 + 3\tau_{xz}^2} \leq [\sigma]$$

де σ_x та σ_z – компоненти нормальних напружень по глобальних осях X та

Z; τ_{xz} – дотична компонента в площині XZ; $[\sigma]$ – межа міцності матеріалу, для чавуну межа міцності $[\sigma]=60,0$ МПа.

Із аналізу напруженого стану станційної конструкції зроблено висновок, що значні напруження розвиваються не лише в площині XZ, а й в площині YZ, тому слід виконати перевірку і для неї:

$$\sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z^2 + 3\tau_{yz}^2} \leq [\sigma]$$

де σ_y та σ_z – компоненти нормальних напружень по глобальних осях Y та Z; τ_{yz} – дотична компонента в площині YZ; для чавуну межа міцності $[\sigma]=60,0$ МПа.

Розрахунок за еквівалентними напруженнями проведемо у вигляді таблиць 2.1-2.2, які наводяться нижче.

Таблиця 2.1 – Максимальне нормальне напруження по осі X

№ точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу
	Нормальне по осі X	Нормальне по осі Z	Дотичне в площині XZ		
В пілонній частині					
1.	-1,64	-2,52	-1,71	4,685	12,8
2.	-0,57	-7,47	-5,27	11,99	5
3.	-1,64	-6,37	-2,89	8,88	10,45
В пройомній частині					
1.	-1,64	-2,52	-1,71	4,685	12,8
2.	-0,57	-7,47	-5,27	11,99	5

Таблиця 2.2 – Максимальне нормальне напруження по осі Y

№ точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу
	Нормальне по осі Y	Нормальне по осі Z	Дотичне в площині YZ		
В пілонній частині					
1.	-1,43	-4,17	-0,183	5,05	11,9
2.	-1,18	-7,47	-0,183	8,13	7,4
3.	-0,86	-6,37	-1,47	7,3	8,2
4.	-6,42	-14,5	-4,56	20,1	2,99
5.	-6,42	-14,5	-4,56	20,1	2,99
В пройомній частині					
1.	-1,14	-10,7	0,11	11,3	5,31
2.	2,98	0,16	-0,32	3,11	19,3
3.	2,98	0,16	-0,22	3,09	19,4
4.	2,98	0,16	-0,22	3,09	19,4
5.	2,98	0,16	0,11	3,09	19,4

Аналіз наведених таблиць свідчить про те, що для чавунної оправи запаси міцності дорівнюють не менше 5...12 (і більше), що свідчить про значну їх міцність, стійкість, надійність та довговічність в процесі експлуатації.

2.3 Обґрунтування параметрів кріплення при варіації ширини пройому

Модель основана на об'ємних скінченних елементах типу гексаєдрів та тетраєдрів і найповніше відображає взаємну роботу оправи станційного тунелю із оточуючим масивом (рис. 2.7 і 2.8).

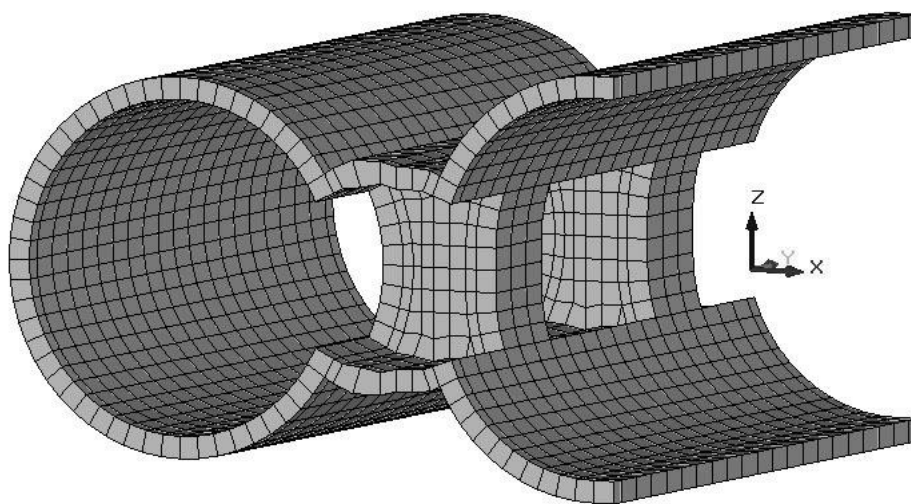


Рисунок 2.7 – Фрагмент скінченно-елементної схеми (оправа станції)

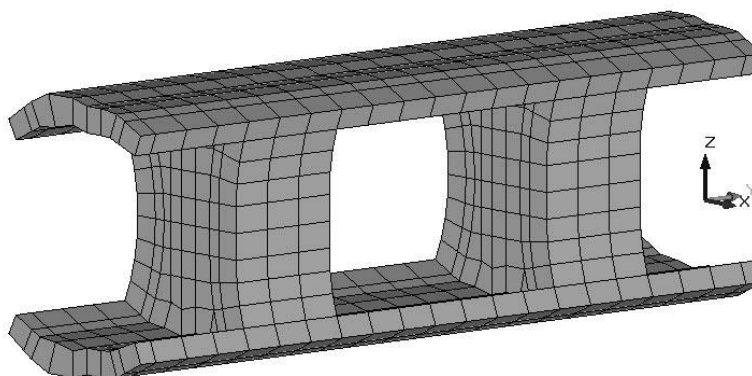


Рисунок 2.8 – Фрагмент скінченно-елементної схеми
(системи «пілон-пройом»)

Після створення просторової моделі їй надавалися деформаційні характеристики (модуль пружності – деформації, коефіцієнт Пуассона), причому для ґрунтів, оправи та шару первинного нагнітання вони задавалися окремо. В скінченно-елементної моделі відтворені такі деформаційні характеристики: жорсткість 1 (граніт) – модуль пружності $E=30\ 000$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu=0,2$, питома вага $\gamma=20$ кН/м³; жорсткість 2 (цементно-ґрунтовий матеріал) – усереднена товщина 0,2 м, модуль пружності – 20 000 МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu=0,2$, питома вага $\gamma=22$ кН/м³; жорсткість 3 (залізобетон пілону) – приведений модуль пружності $E=35\ 100$ МПа, приведений коефіцієнт Пуассона $\mu=0,02$, питома вага $\gamma=25$ кН/м³; жорсткість 4

(чавун оправи) – модуль пружності $E=100\,000$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu=0,1$, питома вага $\gamma=72$ кН/м³.

Модель завантажувалася власною вагою, яка обраховувалася із питомої ваги конкретного матеріалу, та навантаженням від відкинutoї частини масиву.

Після надання деформаційних характеристик на модель накладалися граничні умови: 1) по нижній границі моделі – заборона по осях X; Y; Z; 2) по боках моделі (вздовж боків, які паралельні осі тунелю) – заборона по осях X та Y. На рис. 2.9 і 2.10 наведені компоненти напружень.

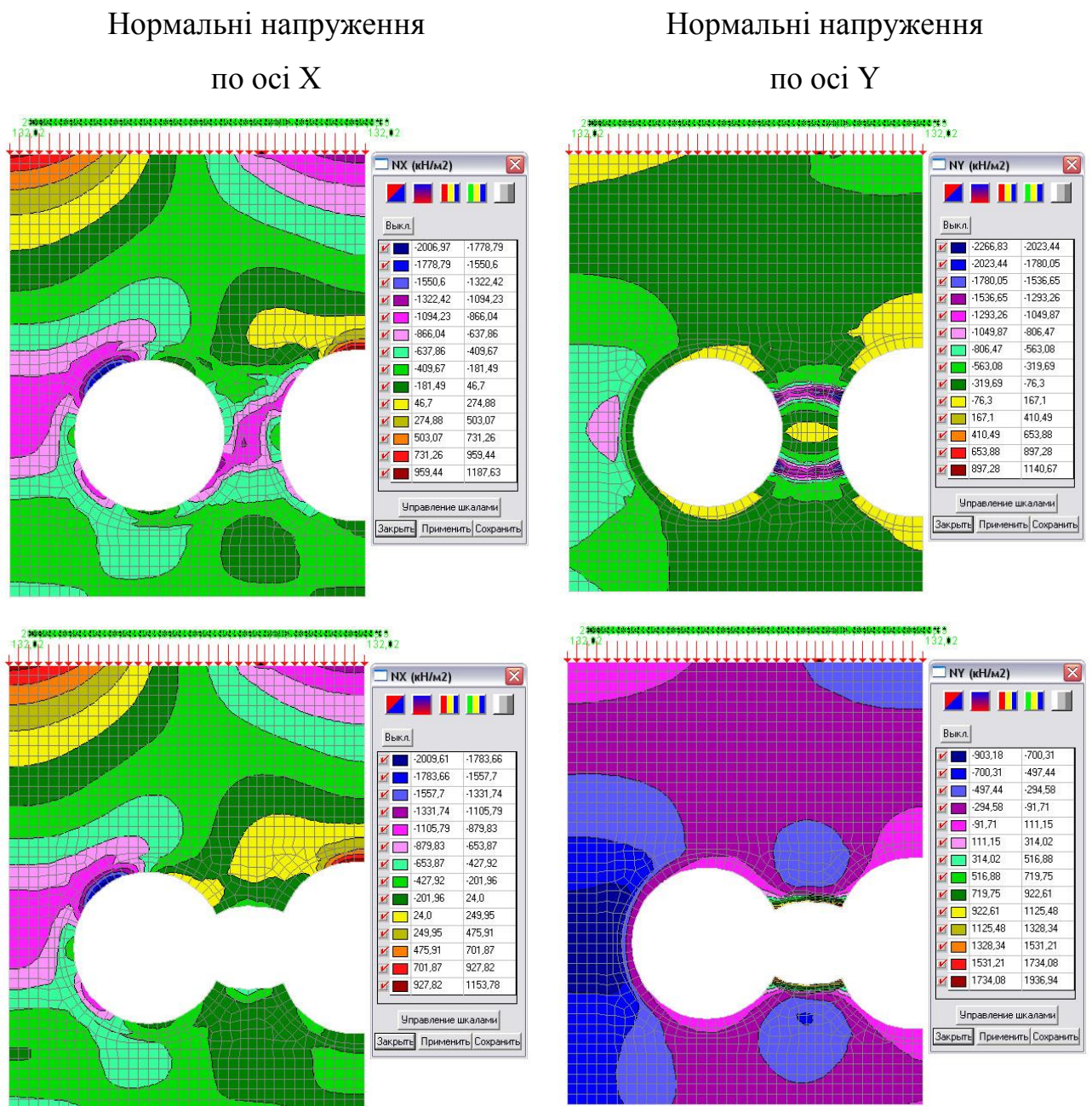
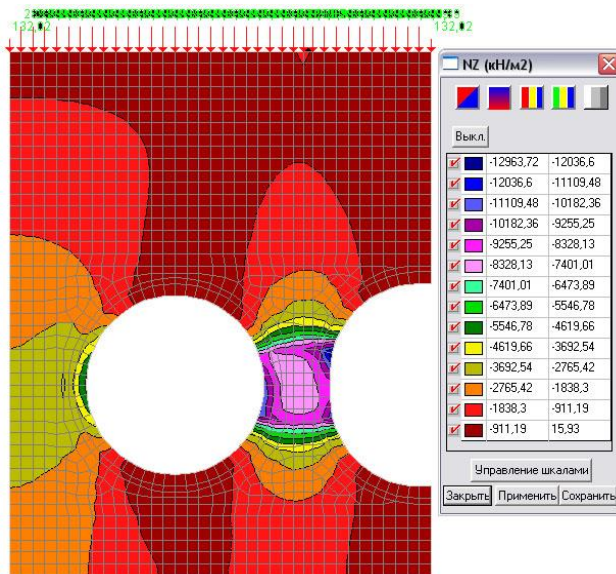


Рисунок 2.9 – Компоненти напружень (пілонна і пройомна частини)

Нормальні напруження по осі Z



Дотичні напруження в площині XZ

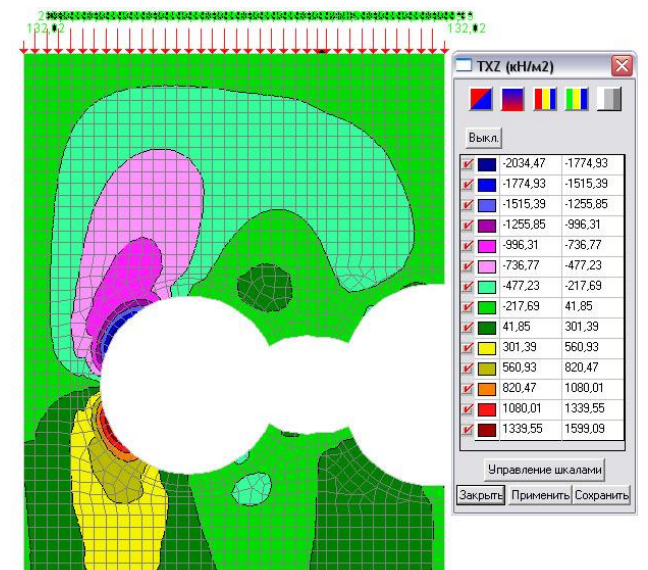
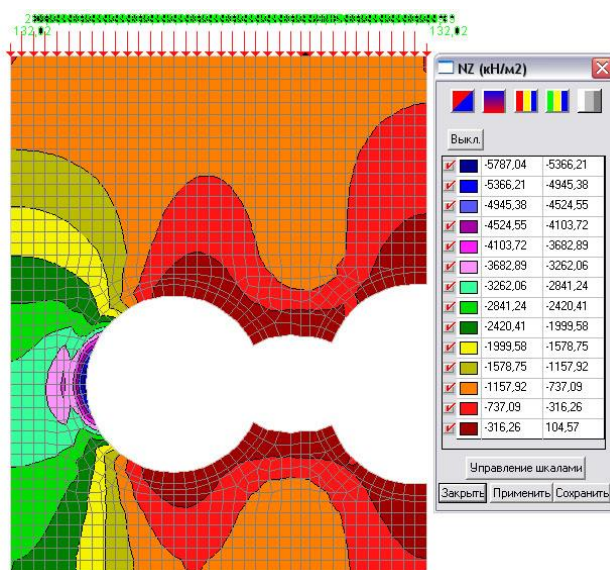
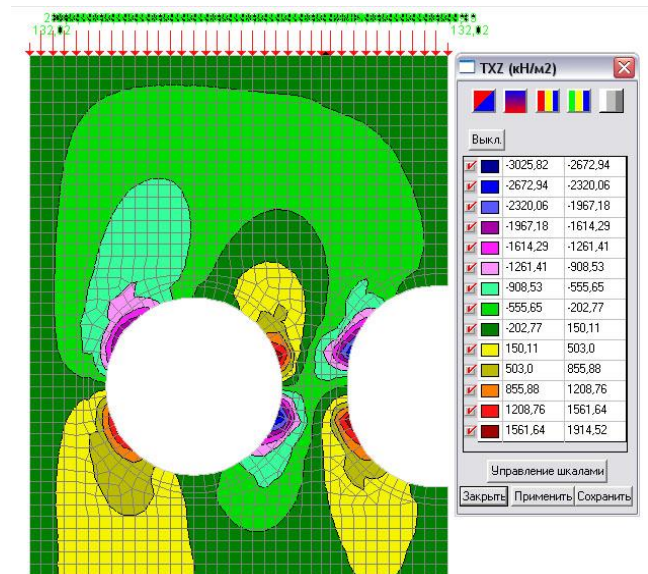


Рисунок 2.10 – Компоненти напружень (пілонна і пройомна частини)

Для подальшого аналізу НДС оправи і всієї конструкції на міцність, який буде проводитися лише по бетону без урахування арматури, застосуємо формулу четвертої теорії міцності (енергетична), виразом для якої є:

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_x \sigma_z + \sigma_z^2 + 3\tau_{xz}^2} \leq [\sigma]$$

де σ_x та σ_z – компоненти нормальних напружень по глобальних осях X та Z; τ_{xz} – дотична компонента в площині XZ; $[\sigma]$ – межа міцності матеріалу, для чавуну межа міцності $[\sigma] = 60,0$ МПа.

Із аналізу напруженого стану станційної конструкції зроблено висновок, що значні напруження розвиваються не лише в площині XZ, а й в площині YZ, тому слід виконати перевірку і для неї:

$$\sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z^2 + 3\tau_{yz}^2} \leq [\sigma]$$

де σ_y та σ_z – компоненти нормальних напружень по глобальних осях Y та Z; τ_{yz} – дотична компонента в площині YZ; для чавуну межа міцності $[\sigma] = 60,0$ МПа.

Розрахунок за еквівалентними напруженнями проведемо у вигляді таблиць 2.3 і 2.4, які наводяться нижче.

Таблиця 2.3 – Максимальні напруження по осі X

№ точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу
	Нормальне по осі X	Нормальне по осі Z	Дотичне в площині XZ		
В пілонній частині					
1.	1,25	0,15	-0,07	1,34	44,8
2.	-3,82	-1,68	-3,11	7,27	8,25
3.	-3,82	-3,51	-5,40	11,3	5,31
В прийомній частині					
1.	1,24	0,16	-0,32	1,44	41,7
2.	-3,83	-3,71	-3,77	9,23	6,5

Таблиця 2.4 – Максимальне нормальне напруження по осі Y

№ точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу
	Нормальне по осі Y	Нормальне по осі Z	Дотичне в площині YZ		
В пілонній частині					
2.	-6,42	-16,28	5,33	22,3	2,69
3.	-6,42	-14,46	4,57	20,1	2,99
4.	-6,42	-14,46	-4,56	20,1	2,99
5.	-6,42	-14,46	-4,56	20,1	2,99
В пройомній частині					
1.	-1,14	-10,7	0,11	11,3	5,31
2.	2,98	0,16	-0,32	3,11	19,3
3.	2,98	0,16	-0,22	3,09	19,4
4.	2,98	0,16	-0,22	3,09	19,4
5.	2,98	0,16	0,11	3,09	19,4

Аналіз наведених таблиць свідчить про те, що для чавунної оправи запаси міцності дорівнюють не менше 3...19 (і більше), що свідчить про значну їх міцність, стійкість, надійність та довговічність в процесі експлуатації.

Висновок: після математичного моделювання конструкцій пілонної станції можна зробити висновок, що у наявній породі напружено-деформований стан для варіанту із збільшеною шириною проходу не змінюється у порівнянні із стандартним, тобто обґрунтовано можна його збільшити.

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СПОРУДЖЕННЯ ПІЛОННОЇ СТАНЦІЇ ДНІПРОВСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ

3.1 Інженерна підготовка будівельного майданчика

У ході підготовчих робіт здійснюють інженерну підготовку будівельного майданчика, зводять тимчасові будівлі та споруди [1, 9]. Будівельний майданчик захищають огорожами, на ньому розташовують підземні та наземні комунікації, санітарно-технічні та побутові приміщення, проїзди та дороги й інші споруди. На майданчику виділяють небезпечні зони, які огорожують попереджувальними знаками. Проїзди, проходи та робочі місця вночі повинні бути освітленими.

Для будівництва тунелів закритим способом на майданчику зводять комплекс будівель і споруд. Безпосередньо у стовбура шахти розташовують: споруду підземної машини та надшахтний гірничий комплекс. Він призначений, з одного боку для організації транспортування розробленого ґрунту з видачею його на поверхню у бункера і перевантаженням у автотранспорт, з іншого боку, – для спуску в шахту елементів тунельної оправи, матеріалів, конструкцій, обладнання. Крім того, шахтний підйом служить для спуску і підйому людей. До гірничого комплексу входять стовбур з копром, який зібрано з тьобінгів, також як і стовбур, і бункерна естакада з двома бункерами для накопичування піднятої із шахти у вагонетках породи перед її завантаженням у автосамоскиди, ланцюговими штовхачами для виштовхування порожніх вагонеток після розвантажування із опрокидувача. Крім того в гірничий комплекс входить тельферна естакада для складування під нею привезених з заводу тьобінгів і підйому їх з землі на естакаду за допомогою тельферу. Ця естакада оснащується поперечним візком для пересування тьобінговозок з тьобінгами в межах естакади з однієї вузькоколійної колії на іншу перед подачею їх в кліті і спуску у шахту [2, 12].

Пройоми у копрі зачиняються запобіжними ґратками. Довгомірні матеріали, такі як, дошки, рейки, труби, арматура, подаються в шахту через пройом в

копрі, який влаштовують на рівні поверхні землі.

На будівельному майданчику також розташовують комплексні трансформаторні підстанції у вигляді збірних металевих конструкцій для електрозабезпечення будівництва; компресорна станція; механічна майстерня з верстатним та ковальським обладнанням; розчинний вузол для забезпечення шахти готовою сумішшю для нагнітання за тунельну оправу; закриті та відкриті склади; арматурний двір для заготівлі арматури; душовий комбінат; медичний пункт; контора з приміщенням для інженерно-технічного персоналу, технічного навчання працівників.

Після закінчення будівництва усі тимчасові споруди на майданчику підлягають ліквідації та територію їх упорядковують.

Водо- і теплоподача майданчика здійснюється від існуючих інженерних комунікацій.

Для організації керування будівництвом прокладають телефонну мережу.

3.2 Технологія спорудження бокових тунелів пілонної станції

Проходка станційних тунелів в скельних тріщинуватих ґрунтах передбачається еректорним способом з монтажем оправы з чавунних тьюбінгів. Буріння шпурів ведеться спочатку в передовій штольні («пілот-тунелю»), потім проводиться розкриття до проектного контуру (рис. 3.1) [1, 9].

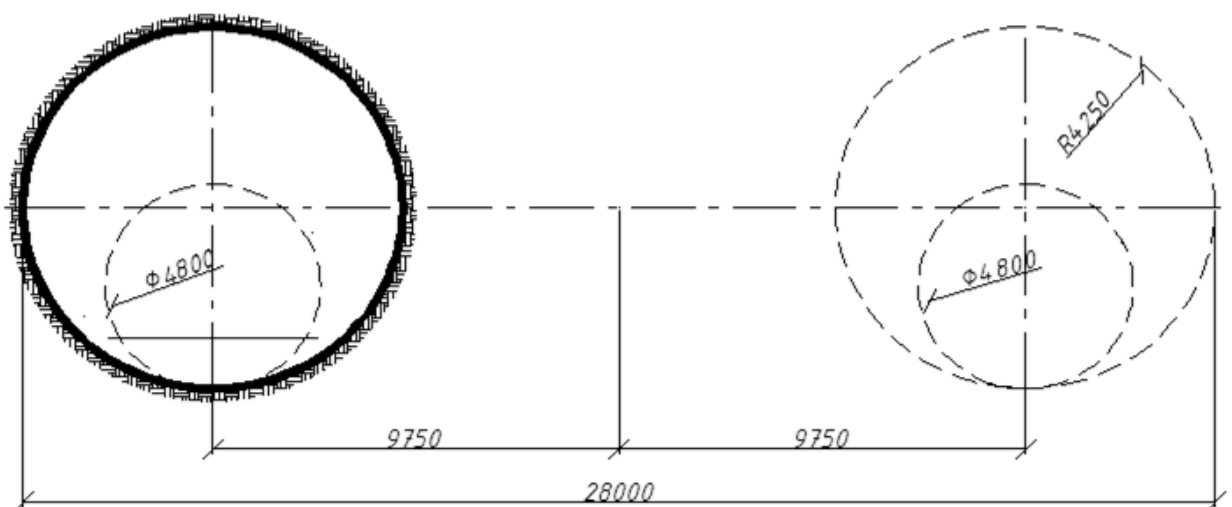


Рисунок 3.1 – Схема розкриття бокових виробок на основі БВР

Монтаж оправи тьобінгоукладальником, обладнаним захисними пристроями від дії ударів породи при вибухах, а також висувним захисним козирком та 10 платформами (майданчиками) (рис. 3.2).

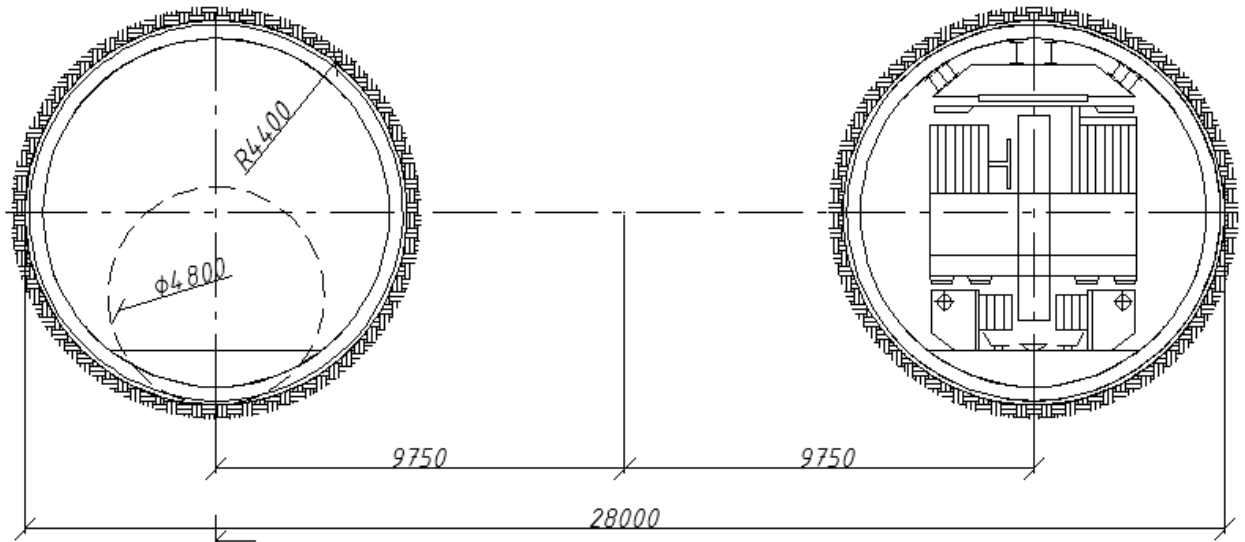


Рисунок 3.2 – Схема розкриття бокових виробок на основі БВР

Первинно-контрольне нагнітання цементного розчину 1:0 під тиском до 0,3 МПа виконується з мінімальною відстанню від останнього кільця безпосередньо з укладача. Контрольне нагнітання передбачається виконувати вище горизонтальної осі тунелю. Повторне контрольне нагнітання цементного розчину 1:0, а потім і чеканка швів виконується зі спеціальної пересувної теліжки після завершення проходки станційних тунелів і оформлення пройомів.

Провітрювання здійснюється за допомогою головної вентиляційної установки, розташованій на шахтній поверхні стовбуру. Для прискорення провітрювання у верхній частині забою застосовується вентилятор, який подає повітря у забій по трубопроводу. Загазоване повітря виходить в трубу діаметром 940 мм, кінець якої розташовано за укладачем [1, 9].

Трубопроводи стиснутого повітря, водопроводу та водовідливу нарощуються по мірі монтажу оправи, не доходячи до укладача. В призабійній зоні використовуються високонапірні шланги, кріплення труб до оправи на хомутах.

3.3 Технологія спорудження середнього тунелю пілонної станції

Проходка станційних тунелів в скельних тріщинуватих обводнених ґрунтах передбачається способом нижнього уступу, тобто з розподілом забою на 2 уступи (яруси) і монтажем оправи з чавунних і залізобетонних тубінгів тубінгоукладальником крокуючого типу (рис. 3.3) [1, 9]. При цьому проходка верхнього уступу здійснюється також з розподілом на частини [9, 10].

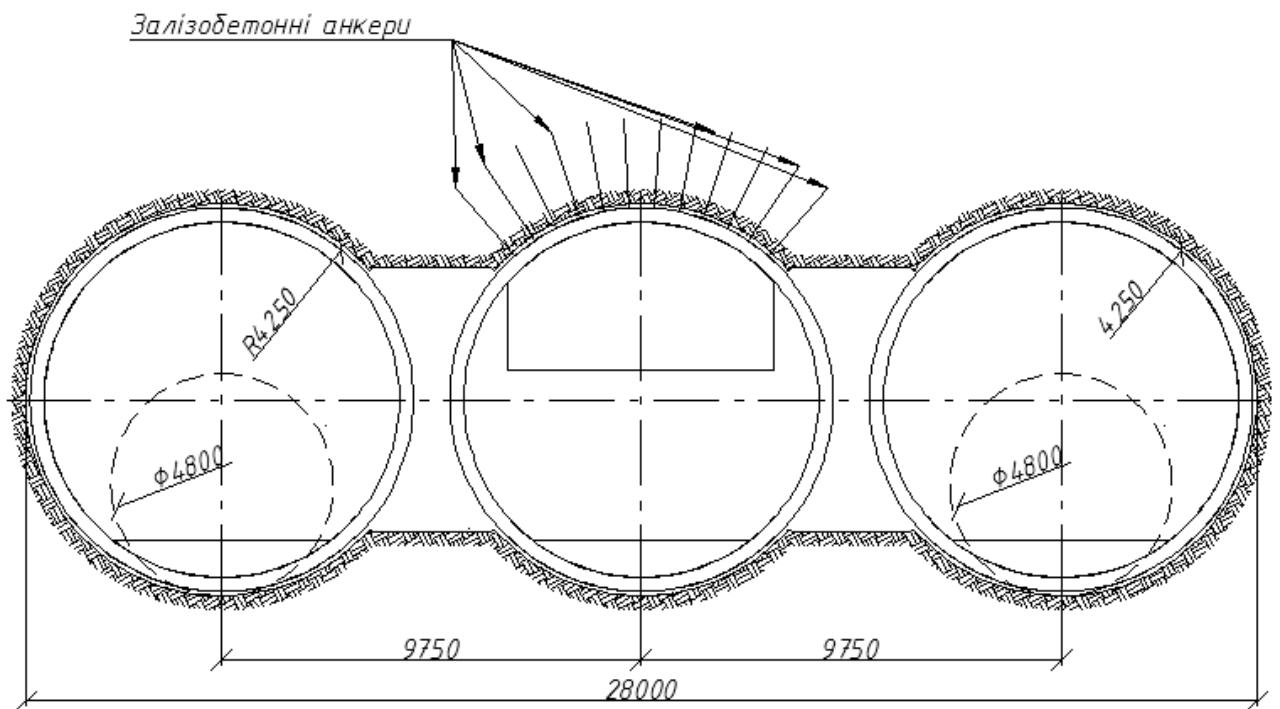


Рисунок 3.3 – Схема виконання робіт в середньому тунелі

В першу чергу проходиться верхня передова виробка (штольня) з випередженням нижнього уступу на 20...30 м. Потім виконується розширення калотної профіль, виходячи з постійного забезпечення відстані між забоєм нижнього уступу і забоєм калоти не менш 5 м, що дозволяє забезпечити загальну стійкість лобу забою.

Розширення на калотний профіль чергується з розробкою нижнього уступу і монтажем оправи з чавунних і залізобетонних тубінгів. Величина заходки за обома уступами приймається з урахуванням фактичної стійкості порід в межах 1,5...3 м (на 2...4 кільця оправи).

Послідовність робіт після проходки верхньої виробки в межах ділянки $L=20\dots30$ м на чергову заходку прийнята наступна:

1. Розширюється верхня частина на калотний профіль (верхній уступ) по довжині $1,5\dots3$ м.
2. Розробляється нижній уступ на ту ж довжину.
3. Монтується оправа чергових $2\dots4$ кілець оправи з виконанням первинного нагнітання цементно-піщаного розчину $1:3$ за оправу по мірі монтажу кілець.

Далі цикл повторюється. Обурювання забою при проходженні верхньої виробки і розширення на калотний профіль передбачається ручними перфораторами типу. Тимчасове кріплення кривлі верхньої частини тунелю передбачається залізобетонними анкерами діаметром із затяжкою з металеві сітки по всій поверхні кривлі.

При проходженні передової виробки і калоти порода за допомогою скреперної установки транспортується в бік укладача і скидається на підшву нижнього уступу, де відвантажується породонавантажувальною машиною в глухі вагонетки і відкатується до шахтного стовбуру. Скреперна лебідка встановлюється на укладачі – по місцю. Розробка нижнього уступу ведеться методом шпурових зарядів. Відвантаження підірваної породи виконується породонавантажувальною машиною і частково у ківш машини при очищенні лотку.

Монтаж оправи виконується тюбінгоукладальником, обладнаним захисними пристроями від дії ударів породи при вибухах, а також висувним захисним козирком та 10 платформами (майданчиками). Монтаж кілець ведеться із застосуванням плоских металевих шайб. Подача тюбінгів виконується тюбінговозками.

Для забезпечення нормативних допусків по еліптичності кілець при монтажі можуть застосовуватись тимчасові металеві стяжки діаметром 40 мм і розпірки, а первинне нагнітання повинно виконуватись рівномірно з обох сторін без відставання (рис. 3.4) [1, 9, 10].

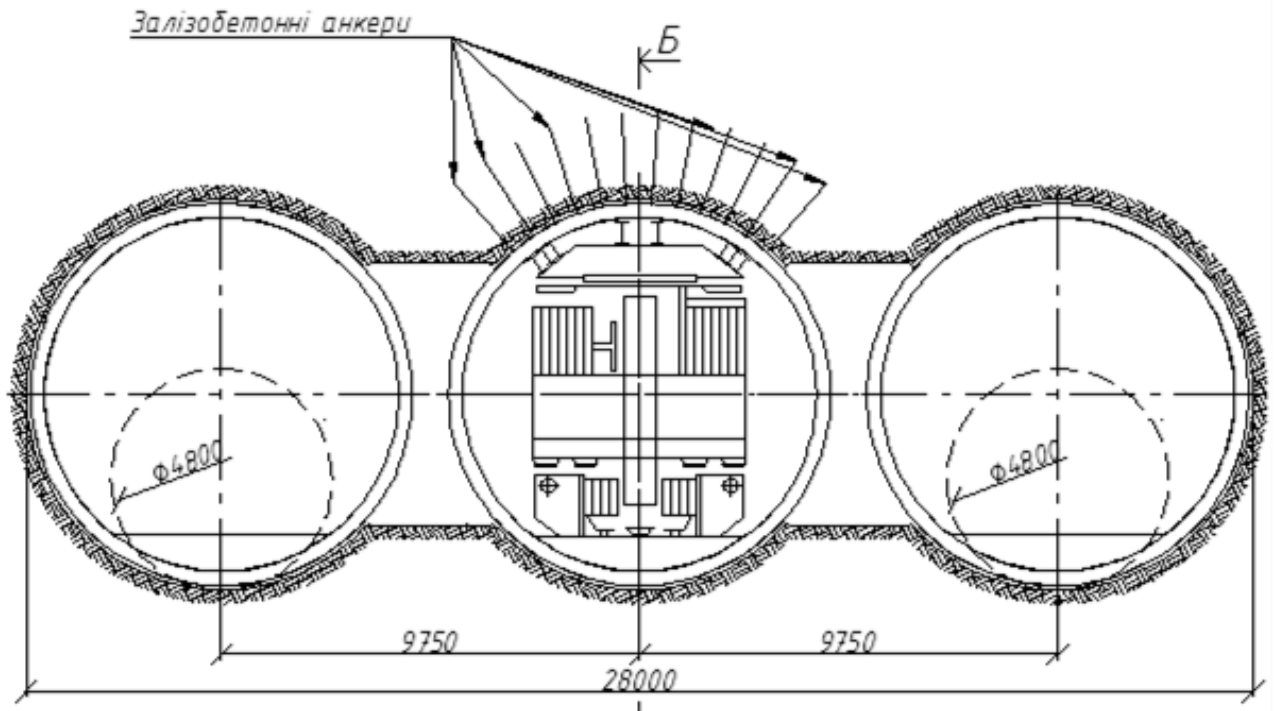


Рисунок 3.4 – Схема монтажу оправи в середньому тунелі

Нагнітання виконується розчинонагнітачами, встановленими безпосередньо на укладачі. Подача сухої суміші на робочий майданчик укладача здійснюється тельфером $Q=5$ т в вагонетках місткістю $1,5 \text{ м}^3$ або у спеціальних контейнерах.

Технологічна платформа зі стрілочним з'їздом пересувається одночасно з пересуванням укладача. Контрольне нагнітання цементного розчину 1:0 під тиском до 0,3 МПа виконується з мінімальною відстанню від останнього кільця безпосередньо з укладача. Первинно-контрольне нагнітання передбачається виконувати вище горизонтальної осі тунелю.

Повторне контрольне нагнітання цементного розчину 1:0, а потім і чеканка швів виконується зі спеціальної пересувної теліжки після завершення проходки станційних тунелів і оформлення проїомів. По мірі проходження тунелів встановлюються металеві стяжки. В цілях забезпечення надійної гідроізоляції тунелів передбачається 100 % заміна болтів і встановлення асбобітумних шайб після оформлення проїомів.

Провітрювання здійснюється за допомогою головної вентиляційної установки, розташованій на шахтній поверхні стовбуру. Для прискорення

привітрювання у верхній частині забою застосовується вентилятор-збуджувач, який подає повітря у забій по трубопроводу $L=40\dots60$ м. Загазоване повітря витягується в трубу діаметром 940 мм, кінець якої розташований за укладачем.

Трубопроводи стиснутого повітря, водопроводу та водовідливу нарощуються по мірі монтажу оправи, не доходячи до укладача. В призабійній зоні використовуються високонапорні шланги, кріплення труб до оправи на хомутах.

3.4 Спорудження пройомів

Спорудження пройомів виконують одночасно не більш ніж на двох ділянках розташованих на протилежних сторонах і зміщених на один – два пройома. Грунт в межах пілону (між суміжними пройомами і оправами середнього і бокового тунелів) видаляють, заповнюючи бетоном простір, що звільнився [1, 9, 10].

Роботи виконують з пересувного риштування, яке встановлюють перед пройомом в середньому тунелі. Пройом починають розкривати, видаляючи лебідками вкладиші і середній верхній тьюбінг тимчасового заповнення. Через утворену в кільцях щілину по осі проходу розробляють до тьюбінгів бічного тунелю ходок, закріплюючи його штольневим кріпленням. Лонгарини встановлюють вище місця розташування листів металевої ізоляції на товщину оправи проходу і опирають кінцями на тьюбінги. Потім розкривають калоту на всю довжину пройому, встановлюючи чергові пари лонгарин та затягуючи кровлю марчеванами. По мірі розкриття калоти знімають ті які залишились тьюбінги тимчасового заповнення у верхній частині пройому спочатку в середній, а потім і в боковому тунелі.

У підготовленій калоті встановлюють і зварюють листи металевої опалубки, які зовні мають анкерну арматуру (для надійного зчеплення з бетоном), і бетонують верхню частину оправи пройому. Ці листи являються також гідроізоляцією пройомів. Після витримки бетону до набору проектної міцності з пройому видаляють інші тьюбінги тимчасового заповнення і розробляють

грунт спочатку середньої, а потім нижньої частини, після чого бетонують стіни та зворотне склепіння. На завершуючій стадії робіт виконують контрольне нагнітання цементного розчину і чеканку швів обрамлення.

Вкладання залізобетонних елементів платформи і стін підплатформених приміщень станції виконують краном вантажопідйомністю 7 т. На підплатформені стіни вкладають платформені коробкообразні блоки. Шви між блоками платформи заповнюють цементно-піщаним розчином і на них вкладають гідроізоляційний шар. Колійні стіни споруджують з тих же залізобетонних блоків, що і підплатформені. Ці блоки вкладають на цементно-піщаному розчині і прикріплюють до оправи станції за допомогою смугової або арматурної сталі, яка закладається у шви між блоками, це надає стіні стійкість.

Залізничну колію вкладають спеціальними укладачами на бетонну основу, яка влаштовується з монолітного бетону класу В10. Колія вкладається на коротиші довжиною 900 мм. Укладання шпал-коротишів ведуть по встановленій для однієї ланки рейок епюрі розташування шпал. Рейки використовують типу Р65, кріплення рейок до шпал окреме.

У слабостійких ґрунтах випереджаюча проходка передової штольні не виконується, а розробка верхньої частини на 3 чергових кільця ведеться класичним калотним способом. Довжина калоти в розробці 3...4 м. Тимчасове кріплення – системою з лонгарин і стійок з установленням дерев'яної затяжки. Напрямок розробки – від осі до п'ят. Кінці лонгарин зі сторони змонтованої оправи спираються на тубінги, а у лобу забою на дерев'яні стійки. Лоб затягується дошками. Нижня частина забою розробляється з відставанням уступу на рівні підосви у верхній частині довжиною не менш 1,5...2 м. Розробка нижньої частини виконується заходками на 1...2 кільця. Необхідність встановлення анкерного кріплення – по місцю. Шаг встановлення анкерів у поперечних рядах 0,8 м, а між рядами 0,8...1,2 м з урахуванням ступеню тріщинуватості і стійкості порід.

3.5 Обґрунтування спорудження пілонної станції Дніпровського метрополітену із застосуванням буровибухових робіт

Найбільш ефективним способом розробки скельних порід є їх підривання. Вибуховий спосіб достатньо дешевий, використовується у породах із широким діапазоном міцності та забезпечує високі швидкості проходки [6].

Цикл буровибухових робіт являє собою ряд послідовних операцій, здійснених для зруйнування забою на деяку глибину, яка називається глибиною заходки. Допоміжні роботи ведуться одночасно з основними і не впливають на тривалість циклу.

Вибір виду вибухової речовини та визначення її кількості, необхідної для підривання заходки, обумовлюються міцністю породи, вологістю виробки, глибиною заходки, необхідними розмірами кусків та економічними міркуваннями. В умовах даної кваліфікаційної роботи доцільно використовувати амоніт скельний та амоніт №6ЖВ.

Це пояснюється їх невисокою вартістю та безпекою у використанні; вони мають високу працездатність і бризантність та у пресованому стані мають щільність, що перевищує щільність динаміту; крім цього ці вибухові речовини є водостійкими.

Найбільш ефективний в умовах даної кваліфікаційної роботи буде шпуровий метод підривання з використанням центральних прямих врубів у передовій штольні та центральних клинових врубів в уступній частині тунелю. Такі вруби універсальні та забезпечують потрібний викид породи.

Існує декілька способів підривання.

Останнім часом широко використовується електричний спосіб підривання, який, пристосовується до даних умов будівництва, буде найбільш ефективним, оскільки перевага даного способу полягає у регулюванні черговості та необхідного уповільнення при великій кількості шпурів і значних розмірах виробки. Крім того, електричне підривання використовується, як більш безпечне. Для такого підривання використовуються електродетонатори миттєвої дії, такі як: ЕД-8-Ж, ЕД-8-Е, ЕД-8-ПС; короткоуповільненої дії: ЕДКЗ-

ПМ-25, ЕДКЗ-ПМ-50, ЕДКЗ-ПМ-75 із уповільненням 25, 50, 75 мілісекунд відповідно.

Обравши спосіб підривання вираховуємо необхідні параметри ефективної проходки тунелю нижче приведеним чином.

Вірний вибір параметрів буровибухових робіт забезпечує якісне руйнування породи при мінімальних об'ємах буріння, відповідність форм виробки проєктним показникам із мінімальними переборами породи, рівномірне розташування породи з її мінімальними розкладаннями від забою.

Ефективність вибухових робіт у значній мірі залежить від вірного визначення питомої витрати вибухової речовини.

Боковий та середній станційні тунелі

Передова штольня («пілот-тунель»)

Передова штольня діаметром 5,1 м дозволяє ослабити поверхню для виконання більш ефективного вибуху (рис. 3.5) [6].

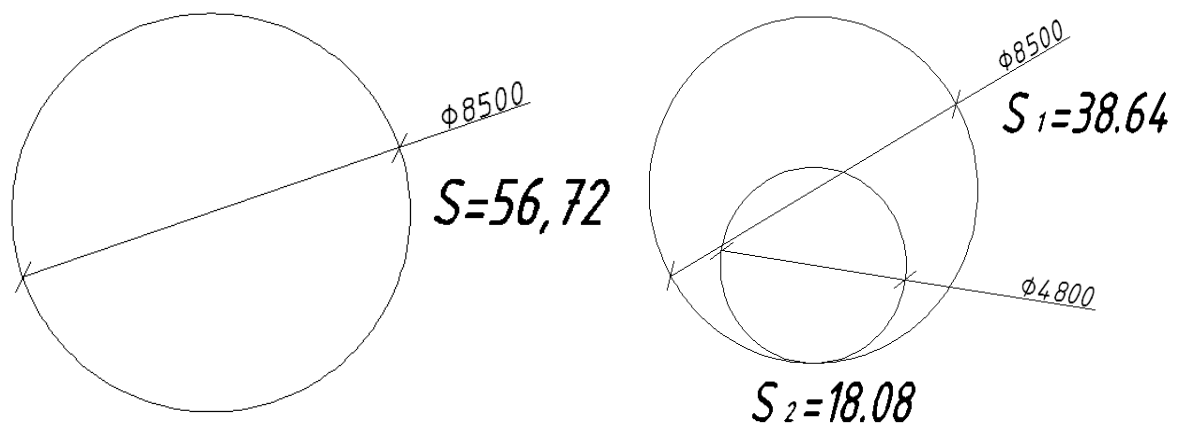


Рисунок 3.5 – Проектний переріз бокового тунелю і положення передової штольні («пілот-тунелю»)

$$q = \left(0,3 \cdot \sqrt{f} + \frac{2}{\sqrt{S}}\right) \cdot e \cdot \psi \cdot W \text{ кг/м}^3;$$

q – кількість вибухової речовини на цикл:

$$Q = q \cdot S \cdot \omega \text{ кг},$$

де f – коефіцієнт міцності породи, $f=8$; S – проектна площа перерізу, $S=18,08$ м²; e – коефіцієнт працездатності вибухової речовини, $e=1$; ψ – коефіцієнт впливу щільності зарядження $\psi=1,1$; ω – прийнята глибина заходки на цикл $\omega=1,5$ м; W – коефіцієнт структури і тріщинуватості скельних ґрунтів, $W=1,4$.

Знаючи необхідні для розрахунку дані визначаємо питому витрату та кількість вибухової речовини на цикл:

$$q = (0,3\sqrt{8} + \frac{2}{\sqrt{18,08}}) \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,4 = 2,03 \text{ кг/м}^3,$$

$$Q = 2,03 \cdot 18,08 \cdot 1,5 = 55,05 \text{ кг}.$$

Оскільки порода руйнується не по всій довжині шпуру, треба визначити необхідну довжину комплексу відбійних і контурних шпурів l_k . Для цього скористаємось формулою:

$$l_k = \frac{\omega}{\eta} = \frac{1,5}{0,85} = 1,8 \text{ м},$$

де: η – коефіцієнт використання шпуру, який у горизонтальних виробках складає $\eta=0,85$.

Для складання схеми розташування шпурів визначаємо кількість шпурових зарядів. Загальна кількість шпурів визначається із виразу:

$$N = N_{\epsilon} + N_{\text{від}} \text{ шт.}$$

де: N_{ϵ} , $N_{\text{від}}$ – кількість врубових і відбійних шпурів відповідно. В наданому розрахунку контурні і підшовві шпури відсутні, але в нижній частині

передової штольні для більш гладкого підривання відстань між відбійними шпурами приймається рівною відстані між контурними шпурами: a_k – відстань між контурними шпурами, $a_k = 0,5$ м.

Користуючись формулою Покровського визначимо врубів та відбійні шпури [6]:

$$N_{\text{від}} = \frac{12,7 \cdot q \cdot S}{d^2 \cdot K_3 \cdot \Delta \cdot K_{\Delta}} + \sqrt{S'} \text{ шт.},$$

де d – діаметр патрона вибухової речовини, $d=3,6$ см; K_3 – коефіцієнт заповнення шпуру, $K_3=0,6$; Δ – щільність заряджання вибухової речовини, $\Delta = 1,45$; K_{Δ} – коефіцієнт ущільнення заряду, $K_{\Delta}=1,05$; S' – площа ядра перерізу тунелю, оскільки контурних та підшовових шпурів немає, вона дорівнює площі передової виробки.

Знаючи необхідні показники, визначаємо суму врубів та відбійних шпурів:

$$N_{\text{від}} = \frac{12,7 \cdot 2,03 \cdot 18,08}{3,6^2 \cdot 0,6 \cdot 1,45 \cdot 1,05} + \sqrt{18,08} = 43,62 = 44 \text{ шт.}$$

Тоді загальна кількість становить:

$$N = N_e + N_{\text{від}} = 4 + 44 = 48 \text{ шт.}$$

Оскільки заряд складається з патронів вагою 200 та 300 г, розрахункову масу одного заряду округляють до 0,1 кг.

Середня маса заряду інших шпурів:

$$q_{\text{cp}} = \frac{Q}{N} = \frac{55,05}{48} = 1,15 \text{ кг.}$$

Маса заряду врубового шпуру:

$$q_{\epsilon} = 1,2 \cdot q_{cp} = 1,2 \cdot 1,15 = 1,38 \text{ кг},$$

Маса всіх врубових зарядів:

$$Q_{\epsilon} = q_{\epsilon} \cdot N_{\epsilon} = 1,38 \cdot 4 = 5,52 \text{ кг},$$

Маса зарядів відбійних шпурів:

$$Q_{від} = q_{cp} \cdot N_{від} = 1,15 \cdot 44 = 50,6 \text{ кг}.$$

Загальна маса вибухової речовини на цикл:

$$Q_{\epsilon p} = Q_{\epsilon} + Q_{від} = 5,52 + 50,6 = 56,12 \text{ кг},$$

Уточнена питома витрата вибухової речовини на цикл:

$$q_o = \frac{Q_{\epsilon p}}{S \cdot \omega} = \frac{56,12}{18,08 \cdot 1,5} = 2,07 \text{ кг/м}^3,$$

Вихід породи за вибух (у масиві):

$$V = S \cdot \omega = 18,08 \cdot 1,5 = 27,12 \text{ м}^3,$$

Загальна кількість шпурометрів на цикл:

$$L_m = N \cdot l_{ш} = 48 \cdot 1,5 = 72 \text{ м}.$$

Розрахункові дані заносимо у таблицю умов і показників підривання та таблицю шпурових зарядів.

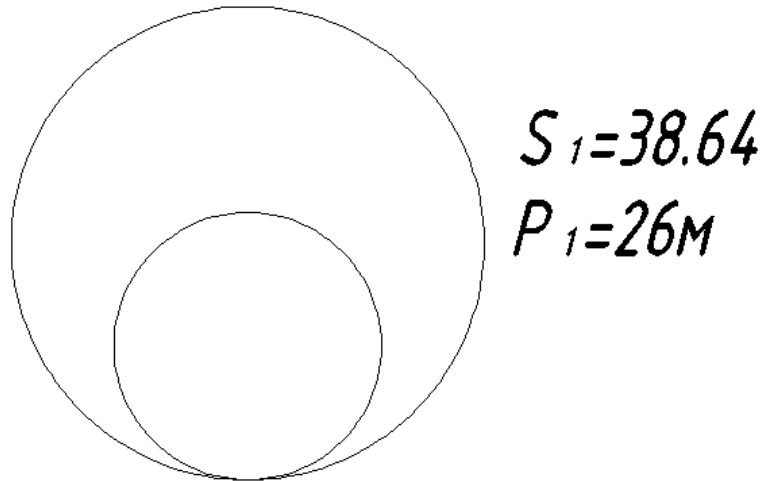


Рисунок 3.6 – Уступна частина бокового тунелю

$$q = \left(0,3 \cdot \sqrt{f} + \frac{2}{\sqrt{S}}\right) e \cdot \psi \cdot W \quad \text{кг/м}^3,$$

q – кількість вибухової речовини на цикл:

$$Q = q \cdot S \cdot \omega \quad \text{кг},$$

де f – коефіцієнт міцності породи, $f=8$; S – проектна площа перерізу, $S=38,64$ м²; e – коефіцієнт працездатності вибухової речовини, $e=1$; ψ – коефіцієнт впливу щільності зарядження $\psi=1,1$; ω – прийнята глибина заходки на цикл $\omega=1,5$ м.

Знаючи необхідні для розрахунку дані визначаємо питому витрату та кількість вибухової речовини на цикл:

$$q = \left(0,3\sqrt{8} + \frac{2}{\sqrt{38,64}}\right) \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,4 = 1,8 \quad \text{кг/м}^3,$$

$$Q = 1,8 \cdot 38,64 \cdot 1,5 = 104,33 \text{ кг.}$$

Оскільки порода руйнується не по всій довжині шпуру, треба визначити необхідну довжину комплексу відбійних і контурних шпурів l_k . Для цього скористаємось формулою:

$$l_k = \frac{\omega}{\eta} = \frac{1,5}{0,85} = 1,8 \text{ м,}$$

де: η – коефіцієнт використання шпуру, який у горизонтальних виробках складає $\eta=0,85$.

Для складання схеми розташування шпурів визначаємо кількість шпурових зарядів. Загальна кількість шпурів визначається із виразу:

$$N = N_{від} + N_k \text{ шт.}$$

де: $N_{від}$, N_k – кількість відбійних, контурних шпурів. Оскільки передова штольня є значною поверхнею оголення, то врубіві шпури відсутні, як і підшвові.

Згідно з прийнятими нормами кількість контурних шпурів можна визначити за формулами:

$$N_k = \frac{P_k}{a_k} \text{ шт.,}$$

де: P_k – периметр виробки по лінії розташування контурних шпурів, a_k – відстань між контурними шпурами,

$$a_{\kappa} = 0,5 \text{ м.}$$

Тоді:

$$N_{\kappa} = \frac{26}{0,5} = 52 \text{ шт.}$$

Користуючись формулою Покровського визначимо відбійні шпури [6]:

$$N_{\text{від}} = \frac{12,7 \cdot q \cdot S}{d^2 \cdot K_3 \cdot \Delta \cdot K_{\Delta}} + \sqrt{S'} \text{ шт,}$$

де: d – діаметр патрона вибухової речовини, $d=3,6$ см;

K_3 – коефіцієнт заповнення шпуру, $K_3=0,6$;

Δ – щільність заряджання вибухової речовини, $\Delta =1,45$;

K_{Δ} – коефіцієнт ущільнення заряду, $K_{\Delta}=1,05$;

S' – площа ядра перерізу тунелю.

Для визначення площі ядра тунелю визначимо площу, що необхідно висадити контурними та підшововими зарядами, скориставшись формулою:

$$S_{\kappa} = (N_{\kappa} - 1) \cdot a_{\kappa} \cdot (\omega_{\kappa} + 0,1) \text{ м}^2,$$

$$\omega_{\kappa} = \frac{a_{\kappa}}{m}$$

де: ω_{κ} – лінія найменшого опору контурних зарядів;

m – коефіцієнт зближення зарядів, $m=0,8$;

тоді:

$$\omega_{\kappa} = \frac{a_{\kappa}}{m} = \frac{0,5}{0,8} = 0,625 \text{ м,}$$

$$S_{\kappa} = (N_{\kappa} - 1) \cdot a_{\kappa} \cdot (\omega_{\kappa} + 0,1) = (52 - 1) \cdot 0,5 \cdot (0,625 + 0,1) = 18,49 \text{ м}^2.$$

Визначаємо площу ядра перерізу тунелю:

$$S' = S - S_{\kappa} = 38,64 - 18,49 = 20,15 \text{ м}^2.$$

Знаючи необхідні показники, визначаємо суму врубових та відбійних шпурів:

$$N_{\text{від}} = \frac{12,7 \cdot 1,8 \cdot 38,64}{3,6^2 \cdot 0,6 \cdot 1,45 \cdot 1,05} + \sqrt{20,15} = 79,09 = 80 \text{ шт.}$$

Тоді загальна кількість становить:

$$N = N_{\text{від}} + N_{\kappa} = 80 + 52 = 132 \text{ шт.}$$

Оскільки заряд складається з патронів вагою 200 та 300 г, розрахункову масу одного заряду округляють до 0,1 кг.

Масу контурного і підшовового зарядів визначають із виразу:

$$q_{\kappa} = k_3 \cdot l_{\text{ш}} = 0,6 \cdot 1,5 = 0,9 \text{ кг,}$$

Масу всіх контурних зарядів:

$$Q_{\kappa} = q_{\kappa} \cdot N_{\kappa} = 0,9 \cdot 52 = 46,8 \text{ кг,}$$

Середня маса зряду інших шпурів:

$$q_{cp} = \frac{Q - Q_k}{N - N_k} = \frac{104,33 - 46,8}{132 - 52} = 0,72 \text{ кг},$$

Маса заряду врубового шпуру:

$$q_e = 1,2 \cdot q_{cp} = 1,2 \cdot 0,72 = 0,864 \text{ кг},$$

Маса зарядів відбійних шпурів:

$$Q_{від} = q_{cp} \cdot N_{від} = 0,72 \cdot 80 = 57,6 \text{ кг}.$$

Загальна маса вибухової речовини на цикл:

$$Q_{ep} = Q_k + Q_{від} = 46,8 + 57,6 = 104,4 \text{ кг},$$

Уточнена питома витрата вибухової речовини:

$$q_o = \frac{Q_{ep}}{S \cdot \omega} = \frac{104,4}{38,64 \cdot 1,5} = 1,8 \text{ кг/м}^3,$$

Вихід породи за вибух (у масиві):

$$V = S \cdot \omega = 38,64 \cdot 1,5 = 57,96 \text{ м}^3,$$

Загальна кількість шпурометрів на цикл:

$$L_m = N \cdot l_{ш} = 132 \cdot 1,5 = 198 \text{ м}.$$

Розрахункові дані заносимо у таблицю умов і показників підривання (табл. 3.1) та таблиці шпурових зарядів (табл. 3.2 та 3.3).

Таблиця 3.1 – Умови і показники підривання

Умови і показники підривання	Одиниця вимірювання	Кількість для штольні	Кількість для уступу
Площа поперечного перерізу виробки в проходці	м ²	18,68	38,64
Коефіцієнт міцності породи за Протод'яконовим	–	8	8
Глибина заходки, $l_{зах.}$	м	1,5	1,5
Коефіцієнт використання шпурів, η	–	0,85	0,85
Довжина комплектів шпурів	–	–	–
відбійних	м	1,8	–
контурних та врубових	м	1,5	1,5
Загальна кількість шпурів у забої	шт.	48	132
У тому числі:			
врубових	шт.	4	–
відбійних	шт.	44	80
контурних	шт.	–	52
Питома витрата ВР, q	кг/м ³	2,07	1,8
Витрати ВР на заходку, Q	кг	56,12	104,4
Вихід породи за один вибух	м ³	27,12	57,96
Загальна кількість шпурометрів за цикл	м	72	198
Вихід шпурометрів на м ³ породи	м/м ³	2,65	3,41

Таблиця 3.2 – Шпурові заряди для штольні

Номери шпурів	Назва шпурів	Довжина, м	Кут нахилу, град	Час сповільнення, мс	Маса заряду, кг/шт	Кількість шпурів, шт.	Маса ВР, кг	Вид ВР
1-4	Врубові	1,8	70	0	1,34	4	5,4	Амоніт №6 ЖВ
5-10	Відбійні	1,5	90	25	1,12	6	6,72	Амоніт №6 ЖВ
11-23	Відбійні	1,5	90	50	1,12	13	14,56	Амоніт №6 ЖВ
24-48	Відбійні	1,5	90	75	1,12	25	12,32	Амоніт №6 ЖВ

Таблиця 3.3 – Шпурові заряди для верхнього уступу

Номери шпурів	Назва шпурів	Довжина, м	Кут нахилу, град	Час сповільнення, мс	Маса заряду, кг/шт	Кількість шпурів, шт.	Маса ВР, кг	Вид ВР
49-54	Відбійні	1,8	90	0	0,8	6	4,8	Амоніт №6 ЖВ
55-63	Відбійні	1,8	90	25	0,8	9	7,2	Амоніт №6 ЖВ
64-78	Відбійні	1,8	90	50	0,8	15	12	Амоніт №6 ЖВ
79-100	Відбійні	1,8	90	75	0,8	22	17,6	Амоніт №6 ЖВ
101-128	Відбійні	1,8	90	100	0,8	28	22,4	Амоніт №6 ЖВ
129-180	Контурні	1,5	80	125	0,9	52	40,5	Амоніт №6 ЖВ

3.6 Розрахунок вентиляції при буровибухових роботах

При буровибуховому способі проходки тунелів присутнє виділення газів та інших шкідливих компонентів. Крім того, споживання людьми кисню з повітря в обмеженому об'ємі тунелю, витрачання його на технологічні та окисненні процеси призводять до поступового зменшення його сполук, що небезпечно для працюючих. Тому організований штучний або природній обмін повітря при проходці та експлуатації тунелю є обов'язковим для створення безпечних і нормальних умов в ньому [6, 7].

При виконанні БВР приймається схема приточно-витяжної вентиляції, яка розраховується за формулою А.І. Ксенофонтової. Кількість повітря необхідного для подачі в забій визначається по допустимості концентрації окису вуглецю (0,008 %), через 30 хв. після вибуху.

Необхідна кількість повітря:

$$Q = \frac{6}{t} \cdot \sqrt{A \cdot S \cdot (75 + A)} \quad \text{м}^3 / \text{хв};$$

$$Q = \frac{6}{30} \cdot \sqrt{104,4 \cdot 38,64 \cdot (75 + 104,4)} = 170,14 \quad \text{м}^3 / \text{хв};$$

де t – час провітрювання, $t=30$ хв.; A – витрати вибухової речовини за один вибух (при розширенні проектного перерізу до 8,5 м, $A=104,4$; S – площа забою, приймається максимальною (при розширенні проектного перерізу до 8,5 м; $S=38,63 \text{ м}^2$).

Нижче наведений розрахунок вентиляції за допомогою програми Ventilation.xls. За допомогою номограми для визначення швидкості повітря через вихідний отвір вентилятора приймаємо 27 м.

Таблиця 3.4 – Розрахунок вентиляції при виконанні робіт

	Григорій Ксьондз
Введіть довжину дільниці L (не більше 200 м), м	98,25
Введіть діаметр оправи D , м	8,5
Введіть максимальну кількість працівників N , чоловік	17
Введіть діаметр труб для вентиляції d , м	0,6
Введіть довжину ланки труби m , м	2,5
Площина перерізу виробки S , м ²	56,72
Кількість повітря (БВР) QП , м ³	102,00
Швидкість руху V , м/с (порівняти із VП)	0,03
Потрібна швидкість руху VП , м/с	0,25
Потрібна кількість повітря Q , м ³ /с	14,18
Розрахункова продуктивність вентилятора Qв , м ³ /с	14,53
Коефіцієнт доставки η	1,02
Аеродинамічний опір трубопроводу R , кіломюргів	2,46
Введіть коефіцієнт аеродинамічного опору α	0,0003
Статичний напір вентилятору h , мм. вод. ст. (даПа)	507,64
Площа вихідного отвору вентилятору Fв , м ²	0,73
Введіть швидкість повітря Vв (за номограмою), м/с	20

З характеристик вентиляторів приймаємо вентилятор СВМ-4м.

Продуктивність – 65...130 м³/хв;

Площа вихідного отвору – 0,6 м²;

Діаметр робочого колеса – 400 мм;

Маса – 80 кг.

3.7 Розрахунок електровозної відкатки породи

Відкатка породи здійснюється вагонетками типу Главтунельметробуду із

глухим кузовом, ємністю $1,5 \text{ м}^3$, потяг вагонеток формується і пересувається за допомогою контактної електровоза – 10 КР-2 [6, 7].

1. Кількість вагонеток визначається за формулою:

$$n = \frac{V_n}{N_g \cdot \kappa}, \quad (\text{шт})$$

$$V_n = S \cdot l_{\text{зах.}}$$

$$V_n = 38,64 \cdot 1,5 = 57,96 \text{ м}^3$$

де n – потрібна кількість вагонеток; V_n – об'єм породи, що розробляється за один цикл; N_g – об'єм вагонетки; κ – коефіцієнт заповнення вагонетки породою (приймається рівним 0,8, тобто 80 % вагонетки вважаються заповненими).

$$n = \frac{57,96}{1,5 \cdot 0,8} = 48,3 \text{ шт.}$$

Приймаємо $n = 63$ шт.

2. Визначаємо кількість вагонеток, яку може потягти електровоз з умови зрушення:

$$z(G + G_o) \leq \frac{F_T}{W_{on} + W_i + W_{TP}} - P_c;$$

$$G = N_g \cdot \gamma_{\text{зр.}} \cdot \kappa$$

$$G = 1,5 \cdot 26 \cdot 2 = 78$$

де z – кількість вагонеток;

F_T – тяга електровозу;

W_{on} – опір зрушення вагонеток з місця;

W_i – опір ухилу перегінного тунелю, по якому реалізується відкатка (співпадає із значенням ухилу в проміле);

W_{TP} – опір руху потягу із ґрунтом при зрушенні з місця;

P_c – загальна вага електровозу, в тоннах;

G – вага породи у вагонетці;

G_o – вага порожньої вагонетки.

$$z(7,8 + 0,76) \leq \frac{1700}{12 + 3 + 5,5} - 10;$$

$$z \cdot 8,56 \leq 72,93$$

$$z \leq 8,8$$

Приймаємо $z = 8$ шт.

3. Визначаємо кількість вагонеток, яку може зупинити електровоз з умови руху вниз:

$$z(G + G_o) \leq \frac{1000 \cdot \psi \cdot P_c}{110a_T + W_i - W_{TP}} - P_c;$$

де ψ – коефіцієнт зчеплення ведучих коліс з рейками;

a_T – коефіцієнт опору при умові руху вниз;

W_{TP} – опір руху потягу із ґрунтом при умові руху вниз.

$$z(7,8 + 0,76) \leq \frac{1000 \cdot 0,24 \cdot 10}{110 \cdot 0,4 + 3 - 6} - 10 ;$$

$$z \cdot 8,56 \leq 48,54$$

$$z \leq 5,8$$

Приймаємо $z=5$ шт.

4. Визначаємо необхідну кількість потягів, для відкатки породи:

$$N = \frac{n_e}{z};$$

де N – необхідна кількість потягів;

n_e – кількість вагонів, необхідних для відкатки породи;

z – кількість вагонеток на один електровоз.

$$n = \frac{5}{6} = 0,83;$$

Приймаємо 2 електровози, один з яких – запасний.

ВИСНОВКИ

1. Виконано аналіз інженерно-геологічних умов будівництва й визначено, що геологічна ситуація закладення пілонної станції в м. Дніпрі представлена плагіогранітами сірими, темно-сірими, дрібно-середньозернистими, а скельний масив порушено тектонічними зонами різноманітного характеру, напрямку і потужності.

2. Виконане визначення основних розмірів станційної конструкції, проведене варіантне проектування та техніко-економічне порівняння варіантів, на основі якого обрано варіант № 2 з чавунних тюбінгів, оскільки трудовитрати на його спорудження є мінімальними, також цей варіант задовольняє інженерно-геологічним умовам.

3. Розроблена скінченно-елементна модель пілонної станції в просторовій постановці. На її основі реалізоване математичне моделювання станційної конструкції та виконане обґрунтування параметрів кріплення.

4. Під час обґрунтування параметрів кріплення при варіації ширини пройому визначено параметри напруженого стану пілонної станції, отримані для чавунної оправи запаси міцності дорівнюють не менше 3...19 (і більше), що свідчить про значну їх міцність, стійкість, надійність та довговічність в процесі експлуатації.

5. Обґрунтовано спорудження пілонної станції Дніпровського метрополітену із застосуванням буровибухових робіт, проведено розрахунок вентиляції при буровибухових роботах і розрахунок електровозної відкатки породи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Айвазов, Ю. М. Проектування метрополітенів (у 3-х частинах). Начальний посібник. Частина 1 [Текст] / Ю. М. Айвазов. – Київ: НТУ, 2006. – 166 с.
2. Гайко, Г. І. Конструкції кріплення підземних споруд: Навчальний посібник [Текст] / Г. І. Гайко. – Алчевськ: Дон ДНУ, 2006 – 133с.
3. ДБН Д.2.2.-29-99 Ресурсні елементні кошторисні норми. Збірка 29. Тунелі та метрополітени [Текст]. – Київ: Держбуд України, 2006. – 271 с.
4. ДБН В.2.3-7-2010. Споруди транспорту. Метрополітени [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 195 с.
5. Петренко, В. Д. Методичні вказівки для курсового та дипломного проектування «Математичне моделювання підземних споруд на основі методу скінченних елементів. Ч. 1. Structure CAD for Windows (SCAD)» [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, О. Л. Тютюкін, В. П. Купрій. – Дніпропетровськ : Нова ідеологія, 2010. – 56 с.
6. Петренко, В. Д. Методичні вказівки для курсового та дипломного проектування «Проектування буровибухових робіт під час будівництва тунелів» [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, О. Л. Тютюкін; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во «Нова ідеологія», 2011. – 29 с.
7. Петренко, В. Д. Методичні вказівки до курсового й дипломного проектування «Станція метрополітену глибокого закладення (конструкції та спорудження)» [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, О. Л. Тютюкін, Д. В. Тютюкін. – Д.: Нова ідеологія, 2015. – 30 с.
8. Петренко, В. І. Розрахунок трисклепінчастих станцій метрополітену глибокого закладення [Текст] / В. І. Петренко, В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004. – 176 с.
9. Петренко, В. И. Современные технологии строительства метрополитенов в Украине [Текст] / В. И. Петренко, В. Д. Петренко,

А. Л. Тютюкин. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2005. – 252 с.

10. Петренко, В. І. Станції метрополітену: конструкції та спорудження [Текст]: навчальний посібник / В. І. Петренко, В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін. – Д.: Вид-во «Нова ідеологія», 2012. – 164 с.

11. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Киев : Сталь, 2002. – 600 с.

12. Самедов, А. М. Будівництво міських підземних споруд: навч. посіб. [Текст] / А. М. Самедов, В. Г. Кравець. – Київ: НТУУ «КПІ», 2011. – 400 с.

13. Тютюкін, О. Л. Теоретичні основи комплексного аналізу тунельних конструкцій [Текст] / О. Л. Тютюкін. – Дніпро : Журфонд, 2020. – 260 с.

14. SCAD для пользователя [Текст] / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. В. Перельмутер и др. – Киев : ВВП «Компас», 2000. – 332 с.