

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Будівництво, архітектура та інфраструктура»
(назва факультету/ННЦ)

«Транспортна інфраструктура»
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

ОС «бакалавр»
(ступінь вищої освіти)

на тему: Розробка та обґрунтування технології проходки перегінного тунелю в міцних ґрунтах

за освітньою програмою «Мости і транспортні тунелі»

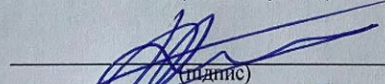
зі спеціальності: 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: МТ1911


(підпис студента)

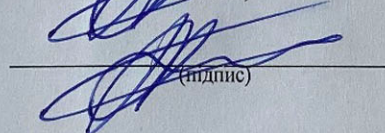
/ Артур ЦИМБАЛОВ /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:


(підпис)

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

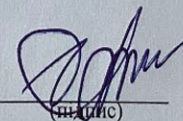
Нормоконтролер:


(підпис)

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

Консультант:

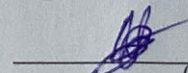
Охорона праці та безпека в
надзвичайних ситуаціях
(назва розділу)


(підпис)

/ зав. каф. Олег САБЛІН /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент


(підпис)

ЗАЯВА

Я, Цицбанов Артур Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

студента(ки) групи 1911 факультет «БАІ»
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(код та назва спеціальності)

освітньої програми «Мости і транспортні тунелі»
(назва освітньої програми)

освітнього ступеня бакалавр
(бакалавр, магістр)

заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:

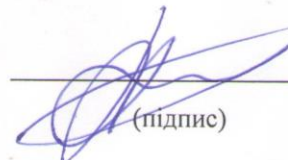
Розробка та обґрунтування технології проходки
перегітного тунелю в міцних ґрунтах

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання. Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомлений(а) з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

Студент(ка)  Цицбанов Артур Андрійович
(підпис) (прізвище, ім'я, по батькові)

Дата 18.06.2023

Керівник ВКР  Олександр Роман
(підпис) (прізвище, ім'я, по батькові)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій
Кафедра «Транспортна інфраструктура»

ДОВІДКА
про відсутність плагіату у випускній кваліфікаційній роботі

За результатами перевірки випускної кваліфікаційної роботи (ВКР)
здобувача вищої освіти освітнього ступеня (ОС) «бакалавр»

Цимбалова Артура Андрійовича

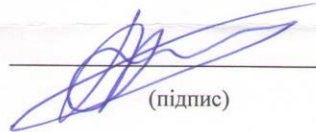
(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему:

Розробка та обґрунтування
технології проходки переднього
тунелю в міцних породах

в роботі не виявлено порушень академічної доброчесності.

Керівник ВКР


(підпис)

Олексій Прохор

(прізвище, ім'я, по батькові)

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Building, architecture and infrastructure

(faculty/TRC)

Transport infrastructure

(department)

Explanatory Note
to Master's Thesis

Bachelor

(higher education degree)

on the topic: Development and substantiation of the construction technology
for a running tunnel in strong soil

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: MT1911 / Artur TSYMBALOV /

(name, surname)

Scientific Supervisor: / Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /

(position, name, surname)

Normative controller : / Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /

(position, name, surname)

Supervisor
Occupational health
and safety in emergencies

(Chapter title heading)

/ Head of Dept. Oleh SABLIN /

(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Будівництво, архітектура та інфраструктура»

Кафедра: «Транспортна інфраструктура»

Рівень вищої освіти: «Бакалавр»

Освітня програма: «Мости і транспортні тунелі»

Спеціальність: 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортна інфраструктура»

Олексій ТЮТКІН

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата _____

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ОС «бакалавр»

(ступінь вищої освіти)

студенту Цимбалову Артуру Андрійовичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Розробка та обґрунтування технології проходки перегінного тунелю в міцних ґрунтах

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

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

затверджені наказом від «13» лютого 2023 р. № 157ст

2. Строк подання студентом роботи: «26» червня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Результати аналізу інженерно-геологічних умов (міцні ґрунти, м. Дніпро), конструкцій перегінного тунелю метрополітену та дані, що отримані під час пошуку в Internet.

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

Вступ. Розділ 1. Інженерно-геологічні умови будівництва. Розділ 2. Варіантне проєктування оправи перегінного тунелю. Розділ 3. Розрахунок оправи перегінного тунелю. Розділ 4. Технологія проходки перегінного тунелю в міцних ґрунтах. Розділ 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

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

Лист 1-2. Варіанти оправ перегінного тунелю. Лист 3. Технологія проходки перегінного тунелю. Лист 4. Бурова установка TAMROCK.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	зав. каф. О. І. Саблін		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Розділ 1. Інженерно-геологічні умови будівництва. Розділ 2. Варіантне проектування оправи перегінного тунелю.	01.05.2023 – 07.05.2023	
2	Розділ 3. Розрахунок оправи перегінного тунелю.	22.05.2023 – 28.05.2023	
3	Розділ 4. Технологія проходки перегінного тунелю в міцних ґрунтах. Розділ 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Оформлення ВКР.	12.06.2023 – 18.06.2023	
4	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	19.06.2023 – 25.06.2023	
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	26.06.2023	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	27.06.2023 – 30.06.2023	

Студент

(підпис)

Артур ЦИМБАЛОВ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Олексій ТЮТКІН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:

46 стор., 9 рис., 4 табл., 12 літературних джерел.

Об'єкт розробки – перегінний тунель, закладений в міцних ґрунтах.

Мета роботи – розробка та обґрунтування технології проходки перегінного тунелю в міцних ґрунтах.

Метод дослідження – метод розрахунку оправи О. Ю. Бугаєвої.

В бакалаврській роботі виконаний аналіз інженерно-геологічних умов будівництва. Розроблені варіанти оправи перегінного тунелю в міцних ґрунтах та проведено їх техніко-економічне обґрунтування.

Визначено гірський тиск та проведений розрахунок оправи перегінного тунелю в міцних ґрунтах за методом О. Ю. Бугаєвої. Перевірена міцність конструктивного елементу перегінного тунелю (залізобетонний блок, бетон В30).

Розроблена та обґрунтована технологія проходки перегінного тунелю в міцних ґрунтах. Наведені основні положення проходки на основі буровибухових робіт. Підібрано виробки для розміщення зарядів та способи їх буріння агрегатом TAMROCK. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: ПЕРЕГІННИЙ ТУНЕЛЬ, МЕТРОПОЛІТЕН, МІЦНИЙ ГРУНТ, БУРОВИБУХОВІ РОБОТИ, ТЕХНОЛОГІЯ СПОРУДЖЕННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ БУДІВНИЦТВА.....	9
РОЗДІЛ 2 ВАРІАНТНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ОПРАВИ	
ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ	11
2.1 Варіантне проєктування оправи перегінних тунелів в міцних ґрунтах	11
2.2 Обґрунтування вибору типу оправи.....	11
2.3 Визначення параметрів конструкції кругових оправ	12
2.4 Визначення ширини кільця та перевірка маси елемента	13
2.5 Визначення параметрів елементів оправи	13
2.6 Техніко-економічне обґрунтування варіантів оправи	15
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ОПРАВИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ.....	22
3.1 Розрахунок гірського тиску.....	22
3.2 Розрахунок зусиль в оправі за методом О. Ю. Бугаєвої	24
3.3 Перевірка елементів залізобетонної оправи на міцність	27
РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЯ ПРОХОДКИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ	
В МІЦНИХ ҐРУНТАХ.....	31
4.1 Основні положення проходки на основі буровибухових робіт.....	31
4.2 Основні відомості про буровибухові роботи	33
4.3 Виробки для розміщення зарядів та способи їх буріння	35
4.4 Циклограма для проходки тунелю	36
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА	
В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	38
5.1 Перелік основних робіт з проходки тунелю в міцних ґрунтах	38
5.2 Загальні положення охорони праці	40
5.3 Заходи безпеки під час вибухових робіт	42
ВИСНОВКИ.....	44
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	45

ВСТУП

Спорудження Дніпровського метрополітену можна розділити на два етапи: до 1995 року, коли перша черга була здана в експлуатацію, та після 2016 року, коли спорудження було поновлене. Наразі всі ми переживаємо третій етап, пов'язаний з війною РФ проти України, а саме консервацію спорудження Дніпровського метрополітену.

Спорудження в указані терміни відрізнялося значною інтенсивністю, причому на другому етапі це було пов'язане з тим, що змінився характер будівництва. Турецька компанія «ЛІМАК» базувалася на принципах Новоавстрійського способу спорудження тунелів і, відповідно, мала власні конструкції та технологію робіт, що йому відповідали. Проте не слід відкидати класичну технологію робіт, що дозволила в грудні 1995 року завершити першу чергу будівництва.

І класичний збірний спосіб, і Новоавстрійський спосіб спорудження тунелів, що ґрунтується на монолітному бетонуванні, своєю основою має вибуховий принцип руйнування міцних ґрунтів. Відповідно, технологією проходки є буровибухові роботи (БВР), яка потребує свого обґрунтування для різноманітних інженерно-геологічних умов, притаманних Дніпровському метрополітену (граніти різної міцності, зони дроблення, каолінізації і мілотінізації тощо).

Перегінні тунелі будь-якого метрополітену є найбільш протяжними горизонтальними підземними спорудами, тобто вони перетинають багато зон ґрунтів з різними характеристиками – від міцних ($f=6...12$ за шкалою професора М. М. Протод'яконова) до слабких і нестійких (каоліни з дресвою, $f=2...3$ за шкалою професора М. М. Протод'яконова). Новоавстрійський спосіб спорудження тунелів прилаштувався до таких змін шляхом розробки декількох типів кріплення. Застосована в кваліфікаційній роботі класична технологія проходки базується на одному типі кріплення, який потребує чіткого обґрунтування та розрахунку.

Для міцних ґрунтів основним методом є запропонований О. Ю. Бугаєвою метод сил, скоригований для умов пружного відпору. Окрім цього пасивного бокового тиску слід розрахувати вертикальний гірський тиск, а також врахувати гідростатичний, значення якого можуть бути доволі значними (це пояснюється потенційною наявністю тріщин).

Основними матеріалами для оправи, що буде запроєктована, є залізобетон та сірий чавун. Досвід спорудження перегінних тунелів в міцних ґрунтах (умови Дніпровського метрополітену) свідчить про те, що використання чавуну в умовах значних водопритоків (зони магістральних тріщин) є виправданим. Проте умови наданої бакалаврської роботи (міцний граніт, $f=12$ за шкалою професора М. М. Протод'яконова) дозволяє використання залізобетону із постановкою гумових ущільнювачів.

Оскільки в освітньо-професійній програмі ОС «бакалавр» ще не уведено детального курсу буровибухових робіт, то слід розробити основні положення проходки на їх основі, а саме підібрати виробки (шпури) та бурові агрегати, а також побудувати циклограму для циклу БВР.

Таким чином, задачею випускної роботи бакалавра є розробка та обґрунтування технології проходки перегінного тунелю в міцних ґрунтах з проведенням варіантного проєктування й техніко-економічного проєктування, розрахунку кільця та елементу оправи, визначення положень проходки та розробкою основ охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

РОЗДІЛ 1

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ БУДІВНИЦТВА

Тунелі слугують для подолання різних перепон і значно покращують експлуатаційні характеристики шляхів. Найбільше розповсюдження мають тунелі на шляхах зв'язку, до яких відносяться тунелі метрополітенів, залізничні, автодорожні, пішохідні. На відміну від інших інженерних споруд тунелі цілком знаходяться в земній корі. Тому їх конструкція і способи будівництва, вартість і строки виконання визначаються в основному геологічними і гідрогеологічними умовами, в яких будується тунель. З в'язку з цим велике значення для успішного будівництва мають інженерно-геологічні вишукування району, наміченого для будівництва тунелю. Результати цих вишукувань повинні дати відповіді на всі питання, що цікавлять будівельників, передбачити труднощі, які можуть виникнути під час будівництва і експлуатації тунелю, і рекомендувати найбільш вигідні в геологічному відношенні положення траси.

На поверхні землі за поздовжнім перерізом перегінного тунелю, що проєктується, знаходяться флювіогляціальні відкладення, які представлені піщано-гравелистою товщею з галькою, щебенем та валунами кристалічних порід з піщано-глинистим заповнювачем. За флювіогляціальними відкладеннями від поверхні землі залягають глини напівтверді з прошарками пісків глауконітових. Глина – пластична осадова гірська порода, що складається в основному з глинистих мінералів (каолініт, гідрослюди й ін.) розміром менше 0,01 мм. При зволоженні пластична, при нагріванні стає міцною і твердою. Глина може утримувати воду, що сприяє створенню водоносних шарів у ґрунті.

Після напівтвердих глин від поверхні землі залягають каоліни первинні з включенням дресви та щебеню. Каолін – глиниста порода, що складається головним чином з каолініту; володіє високою вогнетривкістю, низькою пластичністю і порівняно великими розмірами глинистих частинок.

Елювій – дресв'яно-щебеновий ґрунт з піщано-глинистим заповненням, водонасичений. Нижче елювію розташований граніт. Граніт – найпоширеніша в континентальній земній корі гірська порода, що утворилася в результаті повільного охолодження і затвердіння на великій глибині магматичного розплаву. За своїм складом граніти відносяться до полімінеральних порід, утворених декількома мінералами. Головні мінерали граніту – польовий шпат (35...40 %) і кварц (25...35 %). Кварц присутній у вигляді склоподібних тріщинуватих зерен. Різні види гранітів характеризуються різними типами кристалічної структури. Серед них зустрічаються грубозернисті з діаметром зерен більше 5 мм, середньозернисті із зернами від 5 до 2 мм в поперечнику, дрібнозернисті з діаметром зерен менше 2 мм.

У гранітів також позначені такі зони як: зони сильної та інтенсивної тріщинуватості, зони дроблення. Зони тріщинуватості розташовуються в місцях тектонічних розломів. Великі розломи земної кори є результатом зсуву тектонічних плит на їх стиках. У зонах активних розломів часто відбуваються землетруси як результат викиду енергії під час швидкого ковзання уздовж лінії розлому. Оскільки найчастіше розломи складаються не з єдиною тріщини або розриву, а з структурної зони однотипних тектонічних деформацій, які асоціюються з площиною розлому, тому такі зони називають зонами розлому.

У випускній кваліфікаційній роботі проектування тунелю відбувається у міцних гранітах з $f=12$. Характеристики граніту:

- питома вага $\gamma=26 \text{ кН/м}^3$;
- кут внутрішнього тертя $\varphi= 84^\circ$;
- коефіцієнт розпушення $k_p=2$;
- коефіцієнт пружного відпору $k = 100 \cdot 10^6 \text{ кН/м}^3$.

РОЗДІЛ 2

ВАРІАНТНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ОПРАВИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ

2.1 Варіантне проєктування оправи перегінних тунелів в міцних ґрунтах

Оправу для тунелів проєктують у вигляді замкнутої збірної конструкції з круговим окресленням. Внутрішній діаметр оправи транспортних тунелів визначається габаритами наближення будівель або конструкцій.

Внутрішній діаметр оправи перегінних тунелів метрополітену глибокого закладення приймають відповідно до габариту наближення будівель для метрополітенів 5,1 м (рис. 2.1). Внутрішній обрис перегінного тунелю збігається з обрисом габариту наближення будівель.

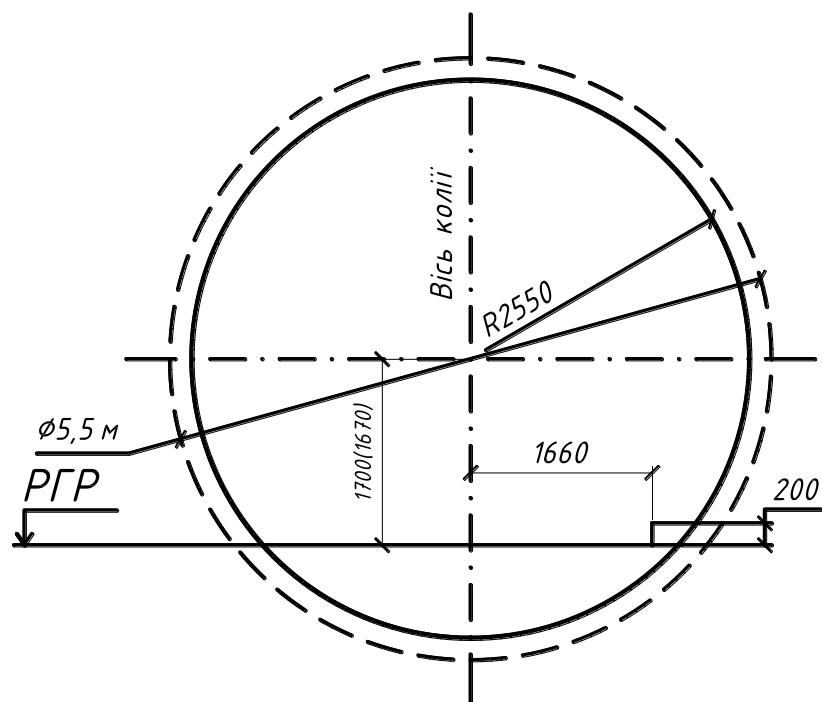


Рисунок 2.1 – Габарит наближення будівель для перегінного тунелю

2.2 Обґрунтування вибору типу оправи

На вибір типу оправи й визначення основних параметрів вирішальний вплив мають інженерно-геологічні й гідрогеологічні умови розташування тунелю.

У тріщинуватих, скельних, обводнених породах (граніти) з міцністю $f=12$

застосовуємо оправи із залізобетонних блоків суцільного поперечного перерізу з циліндричними опукло-ввігнутими стиками з наявністю лоткового блока, з перев'язкою кілець і без перев'язки кілець, та оправу з чавунних тюбінгів з плоскими стиками з наявністю лоткового блока, з перев'язкою кілець. Габарит: $D_{BH} = 5,1\text{м}$.

2.3 Визначення параметрів конструкції кругових оправ

У ході проєктування виконуємо порівняння в технічному та економічному відношенні трьох варіантів оправи. Для виготовлення залізобетонних блоків суцільного перерізу використовуємо бетон класу В30 та В40, а чавунні тюбінги виготовлюємо з чавуну марки СЧ-21-40.

Для визначення товщини блоків використовуємо формулу:

$$h = n \cdot \sqrt[3]{\frac{R_{BH}^2}{f}} \quad (2.1)$$

де R_{BH} – внутрішній радіус оправи, м; f – коефіцієнт міцності породи; n – емпіричний коефіцієнт.

Варіант 1. Кільце оправи із залізобетонних блоків суцільного поперечного перерізу має п'ять («л», «н», «з», «п», «с») типорозмірів блоків. Клас бетону В30, $n=10$.

$$h = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,55^2}{12}} = 8,1\text{см}$$

Приймаємо товщину залізобетонного блоку рівною 20 см.

Варіант 2. Кільце оправи із залізобетонних блоків суцільного поперечного перерізу має чотири («л», «н», «з», «с») типорозміри блоків. Клас бетону В40, $n=9$.

$$h = 9 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,55^2}{12}} = 7,3\text{см}$$

Приймаємо товщину залізобетонного блоку рівною 20 см.

Варіант 3. Кільце оправи із чавунних тюбінгів має п'ять («л», «н», «з», «п»,

«с») типорозмірів блоків. Для чавунних тюбінгів $n=7,5$.

$$h = 7,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,55^2}{12}} = 6,1 \text{ см}$$

Приймаємо товщину бортів чавунних тюбінгів рівною 20 см.

2.4 Визначення ширини кільця та перевірка маси елемента

Ширина кільця визначає масу елемента, а отже, і вантажопідйомність механізму для монтажу оправи (чим більше ширина кільця, тим менше цей показник і тим менші витрати на будівництво тунелю). Ширину кільця призначаємо в залежності від внутрішнього діаметру та від характеристик породи, в якій проєктується тунель: $D_{\text{вн}} = 5,1 \text{ м}$, тріщинуватий, обводнений граніт з $f=12$. Ширину кільця приймаємо рівною 1м. В обмежених умовах тунелю вантажопідйомність також обмежена. За даними практики маса елемента для тунелів діаметром $4,5 < D_{\text{вн}} < 6,5 \text{ м}$ не повинна перевищувати 1,5...2,0 т. Для тунелю масу елемента приймаємо 1,8 т.

2.5 Визначення параметрів елементів оправи

Загальну кількість елементів у кільці приймаємо виходячи з такої умови: при $D_{\text{вн}} = 4,5 \dots 6,0 \text{ м}$ кількість елементів складає 7.

При $D_{\text{вн}} = 5,1 \text{ м}$ кількість елементів обираємо рівною 7.

Розбивку кільця на елементи виконуємо, виходячи із таких міркувань:

- усі нормальні елементи («н») мають однаковий центральний кут α_n ;
- центральний кут замкового елемента α_3 приймаємо рівним 6° ;
- центральний кут лоткового елемента α_l приймаємо рівним центральному куту нормального елемента α_n ;
- сума центральних кутів суміжного α_c та половини замкового елемента α_3 складає центральний кут нормального елемента:

$$\alpha_n = \alpha_c + \frac{\alpha_3}{2} \quad (2.2)$$

- перед розбивкою кільця на елементи, залежно від діаметра оправи,

кількість елементів у кільці прийняли рівним 7;

- довжина та маса відповідають вимогам, тому задаємося кутом замкового елемента рівним 6° ;

- перев'язку поздовжніх стиків проводять таким чином, що суміжні кільця повертаються одне відносно одного на половину кута нормального елемента;

- кільце має лотковий елемент, тоді для перев'язки поздовжніх стиків у кільце вводимо половинний елемент «п», який встановлюємо ліворуч від лоткового.

За умови, що оправу необхідно споруджувати в тріщинуватому граніті з $f=12$ в її конструкції буде присутній лотковий елемент.

Визначаємо кількість половин нормальних елементів при умовному розділенні (кількість елементів непарна):

$$n = N \cdot 2 + 1 \quad (2.3)$$

де N – кількість елементів в оправі тунелю.

$$n = 7 \cdot 2 + 1 = 15 \text{ шт.}$$

Визначаємо величину кута $\frac{\alpha_n}{2}$ (половинний елемент, який вводять для перев'язки кілець) :

$$\frac{\alpha_n}{2} = \frac{360^\circ}{n} = \alpha_n \quad (2.4)$$

$$\frac{\alpha_n}{2} = \frac{360^\circ}{15} = 24^\circ = \alpha_n$$

Величина кута нормального елемента складає α_n :

$$2\alpha_n = 2 \cdot 24^\circ = 48^\circ$$

Визначаємо величину кута суміжного елемента α_c (з формули 2.2):

$$\alpha_c = \alpha_n - \frac{\alpha_3}{2} = 48^\circ - \frac{6^\circ}{2} = 45^\circ$$

Величина кута лоткового елемента дорівнює величині нормального елемента: $\alpha_l = \alpha_n = 48^\circ$.

Розбивку кільця на кресленні починають після того, як вже намічено лотковий елемент, і відкладають кількість половин від нормального елемента ($\langle n \rangle / 2$).

Потім симетрично в обидва боки відкладаються значення кутів нормального елемента α_n . Верхню частину оправи розбивають на два суміжні («с») та один замковий («з») елементи. Якщо перев'язку в конструкції кільця з лотковим елементом не роблять, то необхідність в половинному елементі відпадає.

Кути елементів визначають з точністю до 1 '.

Величина кута нормального елемента для оправи з лотковим елементом без перев'язки кілець складає α_n :

$$\alpha_n = \frac{360^\circ}{7} = 51^\circ$$

Визначаємо величину кута суміжного елемента α_c (з формули 2.2):

$$\alpha_c = \frac{360^\circ - 5 \cdot 51^\circ - \alpha_z}{2} = \frac{360^\circ - 5 \cdot 51^\circ - 6^\circ}{2} = 49^\circ 30'$$

Величина кута лоткового елемента дорівнює величині нормального елемента: $\alpha_l = \alpha_n = 51^\circ$.

2.6 Техніко-економічне обґрунтування варіантів оправи

Після визначення параметрів трьох варіантів оправи виконується їх техніко-економічне обґрунтування з метою встановлення найбільш економічного за трудовитратами варіанта, який далі приймається для статичного розрахунку. Для цього для кожного з них виконується розрахунок об'ємів робіт зі спорудження одного метра тунелю.

Варіант 1. Залізобетонна оправа з суцільних блоків із бетону класу В30

Розробка породи (м³) (на 1 п.м). Об'єм визначається за формулою:

$$V_p = \frac{\pi \cdot D_{3B}^2}{4}, \quad (2.5)$$

де D_{3B} – зовнішній діаметр оправи.

$$V_p = \frac{\pi \cdot D_{3B}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 5,5^2}{4} = 23,8 \text{ м}^3$$

Об'єм розпушеної породи (м³) (на 1 п.м):

$$V_n = k_p \cdot V_p \quad , \quad (2.6)$$

де k_p – коефіцієнт розпушення для граніту становить 2.

$$V_n = k_p \cdot V_p = 2 \cdot 23,8 = 47,6 \text{ м}^3$$

Монтаж залізобетонної оправи (м³) (на 1 п. м):

$$V_k = \lambda \cdot \frac{\pi}{4} (D_{3B}^2 - D_{BH}^2) \quad , \quad (2.7)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує наявність порожнин у залізобетонному елементі (для суцільних блоків $\lambda = 1$); D_{BH} – внутрішній діаметр оправи.

$$V_k = \lambda \cdot \frac{\pi}{4} (D_{3B}^2 - D_{BH}^2) = 1 \cdot \frac{\pi}{4} (5,5^2 - 5,1^2) = 3,33 \text{ м}^3$$

Маса кільця залізобетонної оправи:

$$G_k = \gamma \cdot V_k \cdot l \quad , \quad (2.8)$$

де γ – питома вага залізобетону ($\gamma = 2,5 \text{ Т/м}^3$); l – ширина кільця.

$$G_k = \gamma \cdot V_k \cdot l = 2,5 \cdot 3,33 \cdot 1 = 8,33 \text{ т}$$

Нагнітання за оправу (м²) (на 1 п.м):

$$S_k = \pi \cdot D_{3B} \quad , \quad (2.9)$$

$$S_k = \pi \cdot D_{3B} = \pi \cdot 5,5 = 17,3 \text{ м}^2$$

Чеканення швів (на 1 п.м) (м²):

$$L_{\text{чш}} = \pi \cdot D_{BH} + n \quad , \quad (2.10)$$

де $n = 9$ – кількість поздовжніх швів у кільці.

$$L_{\text{чш}} = \pi \cdot D_{BH} + n = \pi \cdot 5,1 + 9 = 25 \text{ м.}$$

Таблиця 2.1

Розрахунок трудовитрат варіанта №1

№	Найменування робіт	Шифр	Од. виміру	Об'єм робіт	Трудовитрати, люд.-год.	
					На одиницю	На об'єм
1	Розробка породи	29-80-8	м ³	23,8	38,55	917,5
2	Навантаження породи	29-94-1	м ³	47,6	41,08	1955,4
3	Монтаж оправи	29-126-4	м ³	3,33	515,08	1715,2
4	Нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу	29-138-3	м ²	17,3	117,71	2036,4
5	Чеканення швів	29-145-1	м	25	159,58	3989,5
					Всього	10614

Варіант 2. Залізобетонна оправа з суцільних блоків із бетону класу В40

Розробка породи (м³) (на 1 п.м). Об'єм визначається за формулою:

$$V_p = \frac{\pi \cdot D_{3B}^2}{4} , \quad (2.11)$$

де D_{3B} – зовнішній діаметр оправи.

$$V_p = \frac{\pi \cdot D_{3B}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 5,5^2}{4} = 23,8 \text{ м}^3$$

Об'єм розпушеної породи (м³) (на 1 п.м):

$$V_n = k_p \cdot V_p , \quad (2.12)$$

де k_p – коефіцієнт розпушення для граніту становить 2.

$$V_n = k_p \cdot V_p = 2 \cdot 23,8 = 47,6 \text{ м}^3$$

Монтаж залізобетонної оправи (м^3) (на 1 п.м):

$$V_k = \lambda \cdot \frac{\pi}{4} (D_{3B}^2 - D_{BH}^2) \quad , \quad (2.13)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує наявність порожнин у залізобетонному елементі (для суцільних блоків $\lambda = 1$); D_{BH} – внутрішній діаметр оправи.

$$V_k = \lambda \cdot \frac{\pi}{4} (D_{3B}^2 - D_{BH}^2) = 1 \cdot \frac{\pi}{4} (5,5^2 - 5,1^2) = 3,33 \text{ м}^3$$

Маса кільця залізобетонної оправи:

$$G_k = \gamma \cdot V_k \cdot l \quad , \quad (2.14)$$

де γ – питома вага залізобетону ($\gamma = 2,5 \text{ Т/м}^3$); l – ширина кільця.

$$G_k = \gamma \cdot V_k \cdot l = 2,5 \cdot 3,33 \cdot 1 = 8,33 \text{ т}$$

Нагнітання за оправу (м^2) (на 1 п.м):

$$S_k = \pi \cdot D_{3B} \quad , \quad (2.15)$$

$$S_k = \pi \cdot D_{3B} = \pi \cdot 5,5 = 17,3 \text{ м}^2$$

Чеканення швів (на 1 п.м) (м^2):

$$L_{\text{чш}} = \pi \cdot D_{BH} + n \quad , \quad (2.16)$$

де $n = 8$ – кількість поздовжніх швів у кільці.

$$L_{\text{чш}} = \pi \cdot D_{BH} + n = \pi \cdot 5,1 + 8 = 24 \text{ м.}$$

Таблиця 2.2

Розрахунок трудовитрат варіанта №2

№	Найменування робіт	Шифр	Од. виміру	Об'єм робіт	Трудовитрати, люд.-год.	
					На одиницю	На об'єм
1	Розробка породи	29-80-8	м ³	23,8	38,55	917,5
2	Навантаження породи	29-94-1	м ³	47,6	41,08	1955,4
3	Монтаж оправи	29-126-4	м ³	3,33	515,08	1715,2
4	Нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу	29-138-3	м ²	17,3	117,71	2036,4
5	Чекання швів	29-145-1	м	24	159,58	3829,9
					Всього	10454

Варіант 3. Оправа із чавунних тюбінгів (марка чавуну СЧ-21-40)

Розробка породи (м³) (на 1 п.м). Об'єм визначається за формулою:

$$V_p = \frac{\pi \cdot D_{3B}^2}{4} , \quad (2.17)$$

де D_{3B} – зовнішній діаметр оправи.

$$V_p = \frac{\pi \cdot D_{3B}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 5,5^2}{4} = 23,8 \text{ м}^3$$

Об'єм розпушеної породи (м³) (на 1 п.м):

$$V_n = k_p \cdot V_p , \quad (2.18)$$

де k_p – коефіцієнт розпушення для граніту становить 2.

$$V_n = k_p \cdot V_p = 2 \cdot 23,8 = 47,6 \text{ м}^3$$

Монтаж чавунної оправи (т) (на 1 п.м):

$$G_k = (0,24 \dots 0,30) \cdot \gamma_{\text{ч}} \cdot \frac{\pi}{4} (D_{\text{зв}}^2 - D_{\text{вн}}^2) , \quad (2.19)$$

де $\gamma_{\text{ч}}$ – питома вага чавуну ($\gamma_{\text{ч}} = 7,2 \text{ Т/м}^3$); для розрахунку приймаємо максимальне значення коефіцієнта, виходячи з того, що $D_{\text{зв}} < 8,0 \text{ м}$.

$$G_k = 0,30 \cdot 7,2 \cdot \frac{\pi}{4} (5,5^2 - 5,1^2) = 7,2 \text{ т}$$

Маса кільця чавунної оправи

$$G_{1k} = G_k \cdot l , \quad (2.20)$$

де l – ширина кільця, 1м.

$$G_{1k} = 7,2 \cdot 1 = 7,2 \text{ т}$$

Нагнітання за оправу (м²) (на 1 п.м):

$$S_k = \pi \cdot D_{\text{зв}} , \quad (2.21)$$

$$S_k = \pi \cdot D_{\text{зв}} = \pi \cdot 5,5 = 17,3 \text{ м}^2$$

Чеканення швів (на 1 п.м) (м²):

$$L_{\text{чш}} = \pi \cdot D_{\text{вн}} + n , \quad (2.22)$$

де $n = 9$ – кількість поздовжніх швів у кільці.

$$L_{\text{чш}} = \pi \cdot D_{\text{вн}} + n = \pi \cdot 5,1 + 9 = 25 \text{ м.}$$

Таблиця 2.3

Розрахунок трудовитрат варіанта №3

№	Найменування робіт	Шифр	Од. виміру	Об'єм робіт	Трудовитрати, люд.-год.	
					На одиницю	На об'єм
1	Розробка породи	29-80-8	м ³	23,8	38,55	917,5
2	Навантаження породи	29-94-1	м ³	47,6	41,08	1955,4
3	Монтаж оправи	29-126-4	т	7,2	515,08	3708,6
4	Нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу	29-138-3	м ²	17,3	117,71	2036,4
5	Чекання швів	29-145-1	м	25	159,58	3989,5
					Всього	12607

Висновок: після порівняння загальних трудовитрат за трьома варіантами більш економічним є варіант № 2 (залізобетонна оправа з суцільних блоків із бетону класу В40).

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ОПРАВИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ

3.1 Розрахунок гірського тиску

Визначаємо нормативний вертикальний гірський тиск:

$$q_B^H = \gamma \cdot h_1 , \quad (3.1)$$

де h_1 – висота склепіння обвалення (рис. 3.1) ; γ – питома вага, при $f=12$ $\gamma=26$ кН/м³.

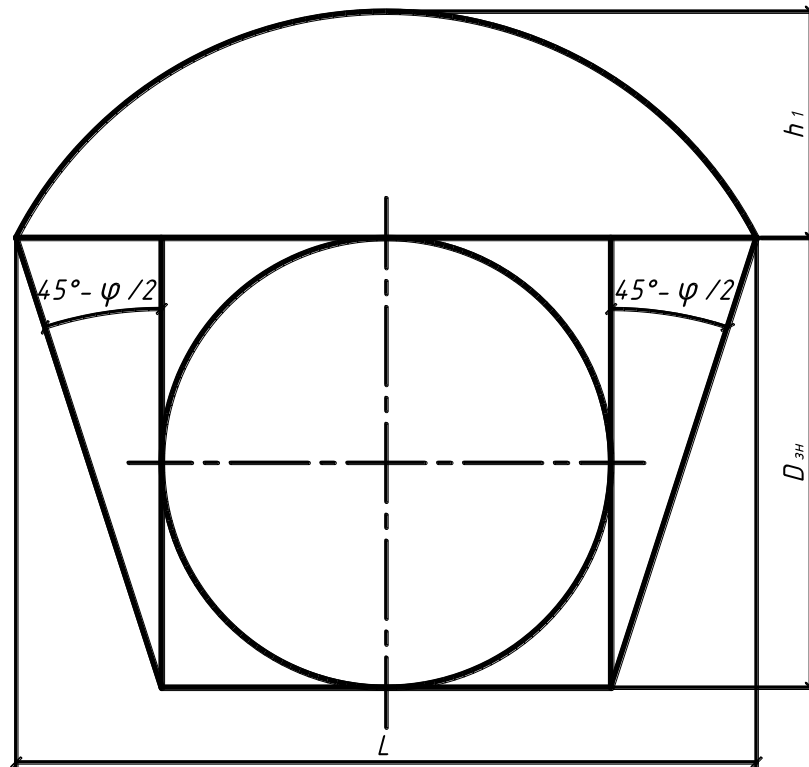


Рисунок 3.1 – Схема для визначення гірського тиску

$$h_1 = \frac{L}{2f} , \quad (3.2)$$

де L – ширина склепіння обвалення:

$$L = D_{3H} + 2 \cdot D_{3H} \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (3.3)$$

де φ – кут внутрішнього тертя, при $f=12$ $\varphi=84^\circ$.

$$L = 5,5 + 2 \cdot 5,5 \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{84^\circ}{2}\right) = 6,1 \text{ м}$$

$$h_1 = \frac{L}{2f} = \frac{6,1}{2 \cdot 12} = 0,25 \text{ м}$$

$$q_B^H = \gamma \cdot h_1 = 26 \cdot 0,25 = 6,5 \text{ кН/м}^2$$

Нормативна власна вага оправи:

$$p^H = \frac{P_k}{2\pi r}, \quad (3.4)$$

де P_k – вага оправи, r – середній радіус оправи,

$$P_k = G_k \cdot g, \quad (3.5)$$

$$r = \frac{R_{3H} + R_{BH}}{2}, \text{ м} \quad (3.6)$$

$$r = \frac{R_{3H} + R_{BH}}{2} = \frac{2,75 + 2,55}{2} = 2,65 \text{ м}$$

$$P_k = G_k \cdot g = 8,33 \cdot 9,81 = 81,72 \text{ кН/м}^2$$

$$p^H = \frac{P_k}{2\pi r} = \frac{81,72}{2 \cdot \pi \cdot 2,65} = 4,91 \text{ кН/м}.$$

Величину розрахункового навантаження визначаємо шляхом помноження нормативних навантажень на коефіцієнт перевантаження n .

$$p^p = p^H \cdot n = 4,91 \cdot 1,1 = 5,4 \text{ кН/м}, \quad (3.7)$$

$$q_B^p = n \cdot q_B^H = 1,5 \cdot 6,5 = 9,75 \text{ кН/м}^2. \quad (3.8)$$

3.2 Розрахунок зусиль в оправі за методом О. Ю. Бугаєвої

Оправу тунелів, які споруджують у стійких та міцних породах, слід визначати з урахуванням пружного відпору порід. У цьому випадку може бути рекомендований метод О.Ю. Бугаєвої (рис. 3.2).

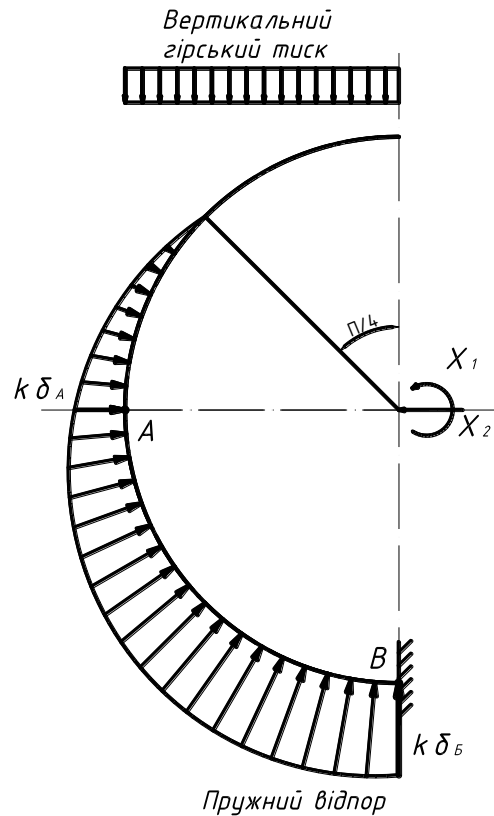


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема для методу О.Ю. Бугаєвої

Суть методу полягає в тому, що епюра пружного відпору породи передбачається відомою. Передбачувана епюра описується такими тригонометричними кривими, які виходять з нульових точок:

$$k\delta = -k\delta_A \cdot \cos 2\psi \text{ при } \frac{\pi}{4} \leq \psi \leq \frac{\pi}{2} \quad (3.9)$$

$$k\delta = k\delta_A \cdot \sin^2\psi + k\delta_B \cdot \cos^2\psi \text{ при } \frac{\pi}{2} \leq \psi \leq \pi, \quad (3.10)$$

k – коефіцієнт пружного відпору породи; δ – радіальне переміщення оправи в перерізі, нахиленому під кутом до вертикалі; δ_A, δ_B – невідомі переміщення перерізів А і В оправи відповідно (визначаються у процесі розрахунку).

Канонічними рівняннями такої системи є:

$$\delta_{11} \cdot x_1 + \delta_{12} \cdot x_2 + \delta_{13} \cdot x_3 + \Delta_{1p} = 0 \quad (3.11)$$

$$\delta_{21} \cdot x_1 + \delta_{22} \cdot x_2 + \delta_{23} \cdot x_3 + \Delta_{2p} = 0 \quad (3.12)$$

$$\delta_{31} \cdot x_1 + \delta_{32} \cdot x_2 + \delta_{33} \cdot x_3 + \Delta_{3p} = 0 \quad (3.13)$$

При симетричному навантаженні $x_3 = 0$.

$$\delta_{11} \cdot x_1 + \delta_{12} \cdot x_2 + \Delta_{1p} = 0 \quad (3.14)$$

$$\delta_{21} \cdot x_1 + \delta_{22} \cdot x_2 + \Delta_{2p} = 0 \quad (3.15)$$

Для спрощення цієї системи невідомі x_1, x_2 переносять на абсолютно жорстку консоль у пружний центр системи, тому $\delta_{21} = \delta_{12} = 0$. Система канонічних рівнянь набуває вигляду:

$$\delta_{11} \cdot x_1 + \Delta_{1p} = 0 \quad (3.16)$$

$$\delta_{22} \cdot x_2 + \Delta_{2p} = 0 \quad (3.17)$$

Для оправи постійної жорсткості зусилля в перерізах (згинальний момент M і нормальна сила N) на одиницю ширини оправи можуть бути визначені за такими формулами:

Зусилля від гірського тиску:

$$M_q = q_B^p \cdot R_{3H} \cdot r (A \cdot m + B + C \cdot n(1 + m)) \quad (3.18)$$

$$N_q = q_B^p \cdot R_{3H} \cdot r (D \cdot m + F + G \cdot n(1 + m)) \quad (3.19)$$

де r – осьовий радіус оправи; A, B, C, D, F, G (табл. 2.4), m, n – коефіцієнти.

$$r = \frac{R_{BH} + R_{3H}}{2}$$

$$m = 2 - \frac{R_{3H}}{r} \quad (3.20)$$

$$n = \frac{1}{0.06416 + \frac{EI}{r^3 \cdot R_{3H} \cdot k \cdot b}} \quad (3.21)$$

де k – коефіцієнт пружного відпору, b – довжина тунелю при розрахунку ($b=1$ м), E – модуль пружності матеріалу, I – момент інерції перерізу блоку.

Проведемо розрахунок в табличному вигляді (табл. 3.1) і наведемо епюри моментів та нормальних сил (рис. 3.3).

Таблиця 3.1

Визначення зусиль в оправі від зовнішніх навантажень

α	Зусилля	q_B^p	q_p	Σ
0°	М	2,1	0,1	2,2
	N	45	12,35	57,35
45 °	М	-1,8	-0,31	-2,11
	N	67,4	15,2	82,6
90 °	М	0,5	0,4	0,9
	N	83,5	26,5	110
135 °	М	0,4	-0,9	-0,5
	N	83,7	36,86	120,6
180 °	М	-0,65	1,22	0,57
	N	87,78	40,5	125,28

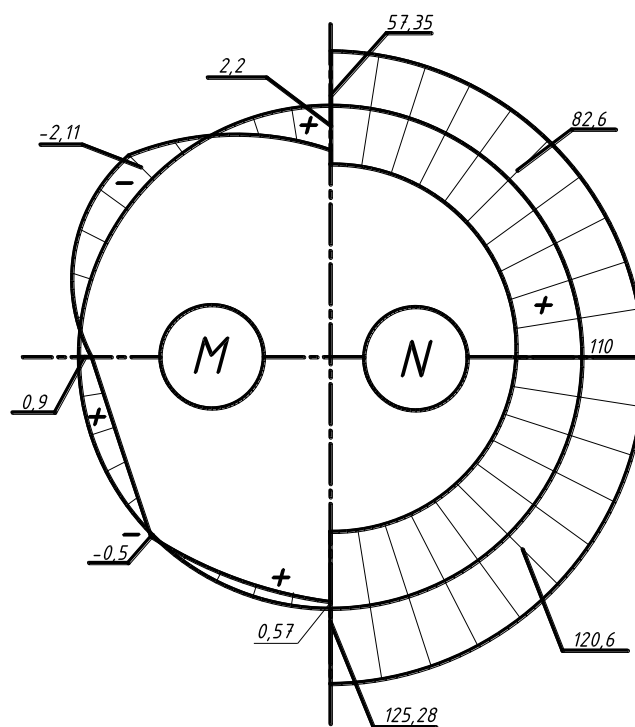


Рисунок 3.3 – Епюри моментів і нормальних сил

3.3 Перевірка елементів залізобетонної оправи на міцність

Перед проведенням перевірки оправи на міцність виконуємо її армування, виходячи із правила симетричного армування блока, тобто розміщення однакової кількості арматури в розтягнутій та стиснутій зонах. Таке розміщення пояснюється тим, що нормальний блок може бути змонтований як у зоні від'ємних, так і в зоні додатних моментів.

Для поздовжньої робочої арматури потрібно застосовуємо стержні діаметром не менше 12 мм і не більше 40 мм. Використовуємо арматуру класу А-III діаметром 36 мм. Мінімальна відстань у світлі між стержнями арматури повинна бути не менша діаметра стержня і не менша 25 мм. Відстань між стержнями арматури у світлі приймаємо рівною 36 мм. Найбільшу відстань між осями стержнів робочої арматури приймаємо рівною 1,5 товщини елемента (рис. 3.4-3.5).

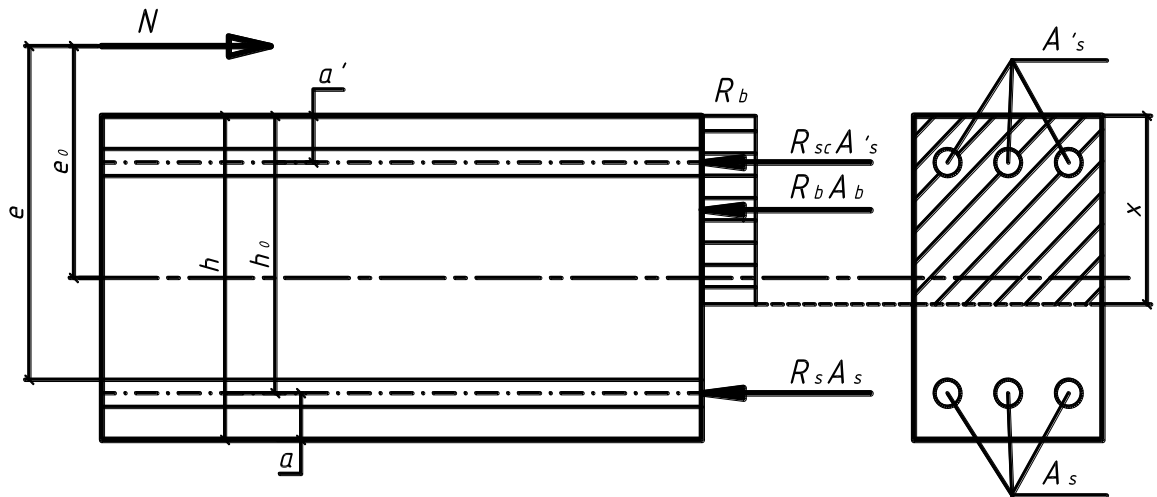


Рисунок 3.4 – Схема позначень для розрахунку на міцність

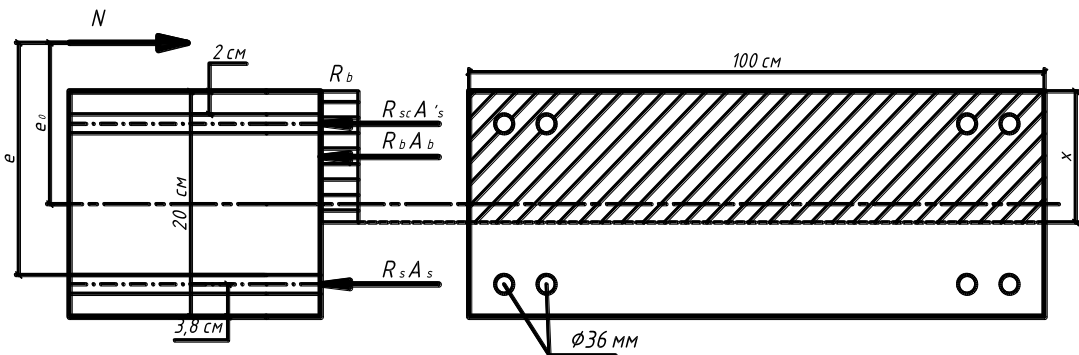


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема

Визначення поперечного перерізу блока:

$$A_b = b \cdot h \quad (3.22)$$

де b і h – ширина і товщина елемента оправи відповідно.

$$A_b = 100 \cdot 20 = 2000 \text{ см}^2$$

Попереднє визначення площі арматури:

$$A_s^{\text{сум}} = \mu \cdot A_b \quad (3.23)$$

де μ – коефіцієнт армування, приймається $\mu=0,015 - 0,03$; $\mu=0,02$

$$A_s^{\text{сум}} = 0,02 \cdot 2000 = 40 \text{ см}^2$$

Площа поперечного перерізу одного стержня становить:

$$A_{1\text{ст}} = \pi \cdot r_{\text{ст}}^2 \quad (3.24)$$

де $r_{\text{ст}}$ – радіус стержня арматури. Приймаємо діаметр стержнів $d = 36 \text{ мм}$

$$A_{1\text{ст}} = \pi \cdot 1,8^2 = 5,65 \text{ см}^2$$

Визначення кількості стержнів робочої арматури:

$$n = \frac{A_s^{\text{сум}}}{A_{1\text{ст}}} \quad (3.25)$$

$$n = \frac{40}{5,65} = 7,1 \text{ . Приймаємо кількість стержнів } n = 8.$$

Фактична площа арматури становить:

$$A_s^{\text{факт}} = A_s + A_s' = n \cdot A_{1\text{ст}} \quad (3.26)$$

$$A_s^{\text{факт}} = 8 \cdot 5,65 = 45,2 \text{ см}^2$$

Площа розтягнутої A_s та стиснутої A_s' арматури:

$$A_s = A_s' = \frac{A_s^{\text{факт}}}{2} \quad (3.27)$$

$$A_s = A_s' = \frac{45,2}{2} = 22,6 \text{ см}^2$$

Визначення ексцентриситету нормальної сили e_0 відносно геометричної осі центру ваги перерізу елемента:

$$e_0 = \frac{M}{N} \quad (3.28)$$

$$e_0 = \frac{220}{57,35} = 3,84 \text{ см}$$

Перевірка на міцність:

$$N \cdot e \leq R_b \cdot b \cdot x(h_0 - 0,5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A_s^{\wedge}(h_0 - a^{\wedge}) \quad (3.29)$$

де N – поздовжня сила в перерізі, який перевіряється; e – ексцентриситет нормальної сили N відносно центра розтягнутої арматури:

$$e = e_0 + \frac{h}{2} - a \quad (3.30)$$

(геометричний параметр $a^{\wedge}=a$ = товщина захисного шару + радіус арматури
 $=2+1,8=3,8$ см; $h=20$ см)

$$e = 3,84 + \frac{20}{2} - 3,8 = 10,04 \text{ см};$$

R_b – розрахунковий опір бетону на стиск, $R_b = 22$ МПа для бетону класу В40; b – ширина елемента, $b = 100$ см; x – висота стиснутої зони бетону; h_0 – геометричний параметр перерізу – висота перерізу від верхньої фібри до половини розтягнутої арматури; R_{sc} – розрахунковий опір арматури на стиск; $A_s^{\wedge}$ – площа стиснутої арматури.

Ширина стиснутої зони:

$$x = \frac{N + R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A_s^{\wedge}}{R_b \cdot b} = \frac{N}{R_b \cdot b} \quad (3.31)$$

$$x = \frac{57,35}{2,2 \cdot 100} = 0,26 \text{ см}$$

$$57,35 \cdot 10,04 \leq 2,2 \cdot 100 \cdot 0,26(16,2 - 0,5 \cdot 0,26) + 36,5 \cdot 22,6(16,2 - 3,8)$$

$$575,8 < 11147,96$$

Проведена перевірка залізобетонного елемента на міцність виконується.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНОЛОГІЯ ПРОХОДКИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ В МІЦНИХ ҐРУНТАХ

4.1 Основні положення проходки на основі буровибухових робіт

Проходка перегінних тунелів закритим способом може здійснюватися: звичайними немеханізованими щитами, механізованими щитами, а також без щитів з розробкою забійки на повний профіль, зі спеціально обладнаними укладальниками тунельної оправи, а також при подоланні зон нестійких і водоносних ґрунтів, з використанням спеціальних способів робіт у поєднанні з проходкою щитами.

Спосіб проходки перегінного тунелю встановлюється технічним проектом в залежності від інженерно-геологічних умов, глибини закладення, протяжності тунелю та місцевих умов будівництва (характеру забудови, наземних споруд, поверховості будівель, їх стану, заселеності), а також особливих умов (сейсмічності, газовиділення тощо). При виборі способу розробки ґрунтів в тунельному забої враховуються труднощі її розробки в залежності від коефіцієнта міцності за М. М. Протод'яконовим.

Будівництво перегінного тунелю буде відбуватись в міцних, тріщинуватих та обводнених ґрунтах. Ґрунти: граніт з коефіцієнтом міцності за професором М. М. Протод'яконовим $f=12$. Перегінний тунель буде споруджуватися в скельних породах, для руйнування яких необхідна велика кількість енергії. Основним видом такої енергії є енергія вибухових речовин (ВР). Під час виконання вибухових робіт застосовується спеціальна технологія, яка передбачає буріння в скельних ґрунтах спеціальних вибухових виробок – шпурів, у яких розташовуються заряди, вибух яких призводить до руйнування і дроблення ґрунту. При спорудженні перегінного тунелю передбачається використання буровибухового методу проходки. Цей метод проходки буде використовуватись з застосуванням сучасних механізмів, обладнання та транспортними засобами (рис. 4.1, 4.2).

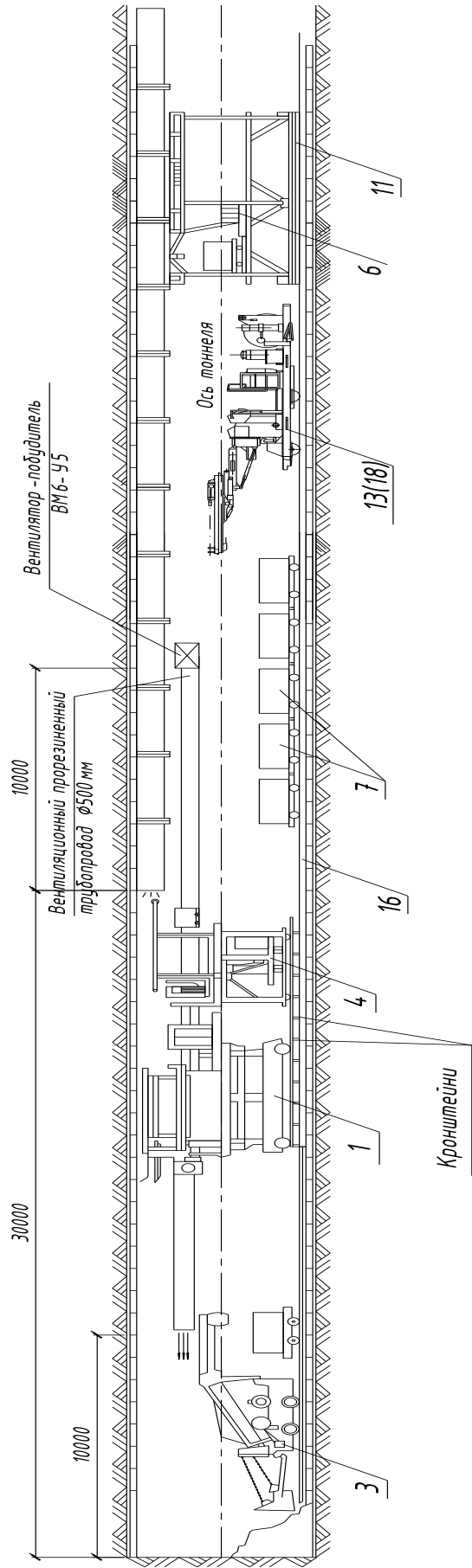


Рис. 3.1. Обладнання для проходки переднього тунелю : 1 - блококладальник УТК-2; 2 - прохідницький комплекс КП-13; 3 - породонавантажувача машина 1ППН-5; 4 - візок для першого нагнітання ; 6 - розчинонагнітач НБ-4; 7 - вагонетка глуха ; 11 - візок для чеканки та нагнітання ; 13 - буроа установка ТАМРОСК; 18 - буроа установка УБШ-227

План (1:100)

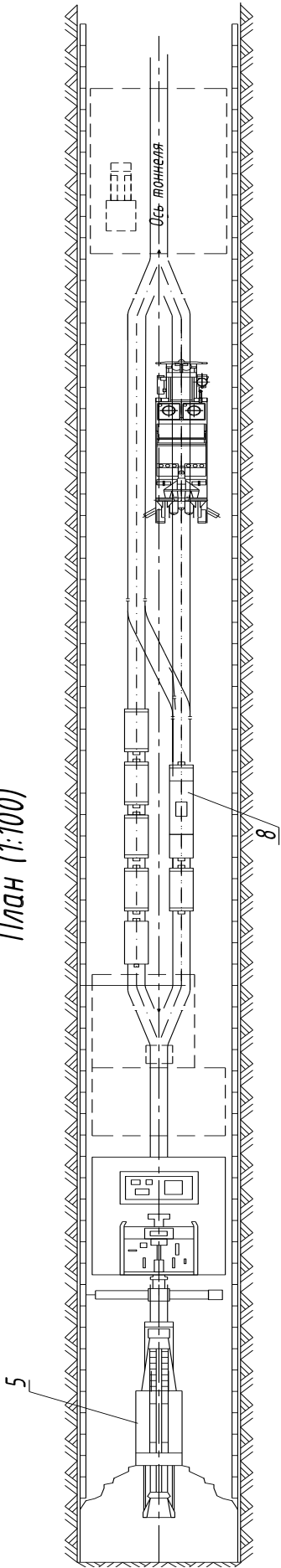


Рис. 3.2. Обладнання для проходки переднього тунелю (на плані): 5 - розчинонагнітач С-334; 8 - електровоз К-10

Більшість транспортних тунелів споруджується в скельних породах, для руйнування яких необхідна велика кількість енергії. Основним видом такої енергії є енергія вибухових речовин (ВР). Під час виконання вибухових робіт застосовується спеціальна технологія, яка передбачає буріння в скельних ґрунтах спеціальних вибухових виробок – шпурів або свердловин, у яких розташовуються заряди, вибух яких призводить до руйнування і дроблення ґрунту.

Частка буровибухових робіт (БВР) під час підземної розробки ґрунту становить до 85...90 %, що пов'язано з універсальністю цього способу й високою продуктивністю руйнування масиву за рахунок енергії ВР. Буровибуховий спосіб використовується в прогресивних технологіях будівництва підземних споруд різного призначення.

4.2 Основні відомості про буровибухові роботи

Буровибухові роботи – це комплекс бурових і вибухових робіт, які виконуються з метою раціонального й безпечного руйнування скельних ґрунтів за допомогою енергії вибуху.

Бурові роботи – процес утворення допоміжних циліндричних вибухових виробок (шпурів або свердловин) для розміщення в них підготовленого заряду ВР.

Вибухові роботи – сукупність технологічних операцій з підготовки та виконання вибухових робіт: доставка вибухових матеріалів, заряджання й забійка шпурів або свердловин із встановленням у них детонаторів (бойовиків), монтаж підривної мережі та її ініціювання (підривання).

Забійка – заповнення вільної від заряду (приблизно 1/3 від довжини) частини шпуру або свердловини інертним матеріалом, який має здатність чинити опір високому тиску газів, що утворюються під час вибуху й підвищують ефективність підривання. Як забійки використовують пісок, глину, воду (гідрозабійка).

Вибухом прийнято називати надзвичайно швидке хімічне перетворення

речовин або сумішей, що супроводжується виділенням великої кількості тепла й газів, здатних виконувати механічну роботу з руйнування та переміщення гірської породи.

Для збудження вибуху зарядів ВР використовують електродетонатори (ЕД), капсуль-детонатори (КД), детонаційні шнури (ДШ), проміжні детонатори (ПД) або вогнепровідний шнур (ВШ). За часом сповільнення розрізняють раптовий, короткосповільнений, сповільнений вибухи.

Вибуховими речовинами (ВР) називаються такі хімічні сполуки та механічні суміші, які здатні під впливом певного зовнішнього впливу (удару, іскри) перетворюватися з великою швидкістю в газоподібні продукти з утворенням великої кількості тепла, що нагріває гази до високої температури. Вибухові речовини, призначені для виробництва вибухових робіт, називаються промисловими ВР. За своїм фізичним станом промислові ВР можуть бути твердими (амоніт) або рідкими (нітрогліцерин). У гірничій справі застосовують тільки тверді ВР.

Патрон-бойовик – це патрон ВР із уведеними в нього КД, ЕД, ДШ або із прив'язаною до цього патрона ВР тротиловою шашкою. Від патрона-бойовика детонація передається всій масі ВР в шпурі або свердловині.

Електричне підривання – спосіб ініціювання зарядів за допомогою ЕД, з'єднаних в електричну мережу.

Вибухові матеріали – сукупність ВР і засобів ініціювання (ЗІ).

Якість вибухових робіт характеризується коефіцієнтом використання шпuru (КВШ), коефіцієнтом перебору перерізу, мірою дроблення породи, компактністю штабеля відбитої гірської маси.

Під час проходки тунелів буровибуховим способом потрібно забезпечити: задану форму й розміри поперечного перерізу виробок; рівномірне дроблення породи і її кучне розташування біля лоба забою, що сприяє підвищенню продуктивності навантаження; високий коефіцієнт використання шпурів η , що дає можливість передбаченого паспортом БВР просування забою.

Буровибуховий спосіб руйнування ґрунтового масиву використовується під

час проходки тунелів способом суцільного й уступного забою та способом опертого склепіння для порід середньої й високої міцності.

Спосіб суцільного забою застосовують у скельних породах з коефіцієнтом міцності $f > 7$, якщо висота виробки менше 10 м.

4.3 Виробки для розміщення зарядів та способи їх буріння

Для розміщення зарядів під час проходки тунелів та інших виробок застосовують шпури і свердловини. Шпури – це циліндричні виробки довжиною до 5 м і діаметром до 75 мм; свердловини мають довжину більше 5 м і діаметр більше 75 мм.

Шпури і свердловини утворюють за допомогою буріння, у процесі якого скельна порода руйнується на дрібні частини, які потім видаляють.

Буріння шпурів є одним з основних трудомістких процесів у буровибуховому способі проходки тунелів. Тривалість і трудомісткість буріння може складати 20...35% від загальних показників прохідницького циклу. Тому в ході вирішення питань механізації прохідницьких робіт особливе значення має правильний вибір способу буріння й підбір обладнання для буріння, які б забезпечували мінімальні витрати часу і праці, а також оптимальні умови проходки.

Способи буріння шпурів і свердловин за характером руйнування породи та енергії, яка використовується, поділяються на три групи: механічні, теплофізичні й комбіновані. Найбільш поширеним є механічний спосіб буріння, який передбачає руйнування породи за допомогою різців або коронок. За характером руйнування породи під час буріння розрізняють чотири способи буріння – обертальний, обертально-ударний, ударно-обертальний та ударний.

При обертальному бурінні різець під дією крутильного моменту обертається навколо осі й одночасно подається на забій під впливом осьової сили. Ударні навантаження при цьому способі відсутні. Буріння здійснюється під впливом різання й роздавлювання ґрунту. Різання виконується за рахунок зусиль, які перевищують міцність породи. Видалення продуктів руйнування із шпурів та

свердловин здійснюється за допомогою гвинтових штанг і шнеків із використанням води й стисненого повітря.

До обертального буріння відносять буріння різцями за допомогою ручних та колонкових свердел, буріння алмазним інструментом, дробове буріння. Обертальне буріння використовують у слабких ґрунтах та породах середньої міцності (із коефіцієнтом міцності $f=1,5\ldots4$).

При обертально-ударному бурінні силовий вплив інструмента на породу складається з крутильного моменту, ударного імпульсу та осьової сили. Таке буріння здійснюється за рахунок удару інструмента по забою та сколювання породи під час обертання. Цей спосіб відзначається великою продуктивністю й застосовується для буріння шпурів і свердловин у ґрунтах міцністю $f=5\ldots14$. Буріння виконується за допомогою колонкових перфораторів, які змонтовані на самохідних бурових машинах.

При ударно-обертальному бурінні руйнування ґрунту здійснюється за рахунок ударного навантаження, а осьова сила та крутильний момент повинні бути достатніми, щоб зрізати породу тонкими стрічками й зачищати шпури. Цей спосіб реалізують у важких бурових машинах типу НКР-100М та інших для буріння свердловин у породах міцністю $f=2\ldots18$.

Ударне, або ударно-поворотне, буріння характеризується значним ударним імпульсом, незначним осьовим зусиллям і малим крутильним моментом. Після кожного удару перфоратора коронка відколює від забою частину породи й повертається на кут $10\ldots 15^\circ$ для нанесення по забою нового удару. Цей спосіб застосовується для буріння шпурів у породах значної міцності ($f=6\ldots20$), у тому числі й абразивних.

4.4 Циклограма для проходки тунелю

Для буріння шпурів у граніті з міцністю $f=12$ буде використовуватись ударно-обертальне буріння. При виробництві буровибухових робіт повинні забезпечуватися темпи проходки, передбачені циклограмою. Для побудови циклограми визначаємо об'єми прохідницьких робіт на заходку 3 м.

N	Назва роботи	Число робочих у зміні	Тривалість робіт	Перша зміна						Друга зміна						Третя зміна					
				1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	Розробка породи на заходку і прибирання: 1) буріння шпурів і підбивання 2) провітрювання 3) перевірка бурового інструменту 4) прибирання ґрунту	4	9,9 1,1 1,0					4													
								9,9						0							
														1,0	4						
															1,0						
2	Монтаж оправи	3	4															3			
3	Нагнітання цем.-піщаного розчину	3	7								3										
											5				2						
4	Чеканення швів	9	9									2				2					
												5				4					
5	Допоміжні роботи					5										1	4			6	
						5												5			

Рис. 5.2. ЦИКЛОГРАМА

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Перелік основних робіт з проходки тунелю в міцних ґрунтах

До складу проекту організації будівництва тунелів крім даних, зазначених в «Інструкції з розробки проектів організації будівництва і проектів виконання робіт для будівництва лінійних об'єктів транспорту і зв'язку і для підземних гірських виробок при будівництві шахт і кар'єрів», включаються також:

- розташування на загальній схемі ліній і споруд метрополітену із ситуаційним планом місцевості ділянок підземних і відкритих робіт, будівельних майданчиків та місць відвалів ґрунту;
- розстановка застосовуваних механізмів по ділянках, терміни експлуатації і режим їх роботи для кожного виду спеціальних способів робіт (стабілізація і штучне закріплення ґрунтів, пониження рівня ґрунтових вод, проходка під стисненим повітрям тощо), обсяги виконання цих робіт в ув'язці з графіком виробництва тунельних робіт;
- узгоджені з експлуатуючими організаціями проектні рішення інженерних заходів щодо забезпечення збереження наземних і підземних будівель і споруд, перетину автомобільних і залізничних доріг;
- пояснювальна записка з обґрунтуванням прийнятих розрізів на трасі по осі кожного тунелю з характеристиками ґрунтів і ґрунтових вод від поверхні до рівня нижче лотка тунелю не менше ніж на 5 м відповідно до вимог «Інструкції з інженерно-геологічних вишукувань».

Роботи зі спорудження перегінних тунелів без проектів виконання робіт не допускаються.

Спосіб проходки перегінного тунелю встановлюється технічним проектом в залежності від інженерно-геологічних умов, глибини закладення, протяжності тунелю та місцевих умов будівництва (характеру забудови, наземних споруд, поверховості будівель, їх стану, заселеності), а також особливих умов (сейсмічності, газовиділення та ін..). При виборі способу розробки ґрунтів в

тунельному забої враховуються труднощі їх розробки в залежності від коефіцієнта міцності за М. М. Протод'яконовим.

Виробництво робіт по спорудженню перегінних тунелів складається з наступних технологічних процесів при закритому способі робіт: розробка ґрунту (методом БВР), тимчасове кріплення, спорудження збірної оправи, первинне нагнітання за оправу, гідроізоляція швів та отворів в збірній обробці з контрольним нагнітанням.

Технологічна схема проходки перегінних тунелів в скельних породах середньої стійкості передбачає наступну послідовність робіт в кожній наступній заходці:

1. Оббурювання забою за допомогою самохідної бурової установки TAMROCK.

2. Проводиться заряджання, підривання та провітрювання забою. Виконується огляд та оборка покрівлі від навислих шматків породи з майданчиків блокоукладальника.

3. Проводиться відвантаження підірваної породи за допомогою породонавантажувальної машини 1ППН-5 в глухі вагонетки ємністю 1,6 м³.

4. Після підривання та відвантаження породи проводиться монтаж залізобетонної оправи блокоукладальником УТК-2 або КП-13.

Первинне нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу проводиться за кожне змонтоване кільце.

Цикл повторюється у межах однієї заходки (3 м – 3 кільця оправи).

В середньостійких породах за умовами гірничопрохідницьких робіт допускається відставання оправи від забою 1...2 м з врахуванням фактичної стійкості порід.

Щоб уникнути наднормативних переборів породи передбачається метод підривання контурних зарядів в забої.

Підривання ведеться з використанням короткоуповільненого та уповільненого способів підривання.

При перетині зон дроблення, мілонітизації та каолінізації, а також зон

сильної та інтенсивної тріщинуватості відставання оправи від забою не допускається.

Розробку забою буровибуховим способом ведуть за встановленим паспортом. Буріння шпурів виконується буровою установкою TAMROCK або УБШ-227 з рясною промивкою чистою водою для запобігання пилоутворення в забійній зоні.

Відкатка вагонеток за межами блокоукладальника та візка для первинного нагнітання проводиться електровозами типу К-10.

При самокатному ухилі (більше 0,01) транспортування навантажених породою вагонеток виконується двома електровозами – один в голові, а другий в кінці поїзду.

Подача блоків виконується на спеціальних візках – блоковозках, а піску та сухої цементно-піщаної суміші – в опрокидних вагонетках ємкістю 1,1 м³ або в спеціальних контейнерах.

Первинне нагнітання проводиться розчинонагнітачами СО-126, встановленими на рухомому візку прохідницького комплексу.

Контрольне нагнітання цементного розчину за оправу виконується з відставанням від забою до 100...120 м насосами НБ-4.

Пересування укладальника виконується за допомогою гідроциліндрів, захоплення яких заводяться за оправу останнього змонтованого кільця.

Вагонетки або контейнери з сухою сумішшю для первинного нагнітання подаються на верхній майданчик візка за допомогою тельферного підйомника.

В процесі монтажу залізобетонних блоків вони підтримуються упорами, змонтованими на висувних балках блокоукладальника.

За наявності зазорів між оправою та породою встановлюються тимчасові розпірки за місцем. Напрямок монтажу оправи – від лотка до замку.

5.2 Загальні положення охорони праці

З метою підтримання безпечності та ефективності бурових робіт необхідно:

- перед початком буріння проводити обробку покрівлі виробки й поверхні

забою з подальшою розміткою шпурів згідно з паспортом БВР;

- при забурюванні шпурів штангу бурового інструмента необхідно підтримувати спеціальними пристроями;
- не допускати присутності людей в зоні маніпуляторів;
- використовувати раціональні режими буріння із врахуванням інженерно-геологічних умов;
- суворо дотримуватися строків профілактичного ремонту бурового обладнання в процесі експлуатації.

У разі виконання бурових робіт у забої кожний бурильник повинен уважно стежити за режимом роботи бурового обладнання й не допускати відхилень, які можуть бути пов'язані із зміною інженерно-геологічних умов, до яких відносять: збільшення або зниження швидкості буріння; зміну зусиль подачі бура на забій або його заклинювання; проскакування буру в порожнину; появу або посилення притоку води із шпурів до виробки; зміну кольору води або викидів із шпуру мулу або піску. Якщо помітили такі ознаки, слід повідомити начальника ділянки (майстра), який приймає рішення по конкретному випадку. Особливу увагу слід звертати на такі явища під час проходки виробок у зонах геологічних порушень. Для уточнення стану рекомендується бурити розвідувальні свердловини довжиною не менше 3 м. Роботи виконують під керівництвом працівника служби технічного нагляду.

До початку буріння шпурів забій повинен бути приведений в безпечний стан шляхом оборки ґрунтів. Буріння шпурів на висоті більше 1,5 м від підосви виробки дозволяється виконувати із спеціальних риштувань, підмостків або бурових рам.

Для захисту очей від пилу, бурильник повинен використовувати захисні окуляри із склом, що не б'ється. З метою безпечного виконання робіт під час забурювання шпурів застосовуються короткі забурники довжиною 0,5...0,8 м. Без забурника можна бурити лише за допомогою самохідних бурових установок. Звільнювати бури, що заклинило, дозволяється буровим ключем або спеціальними пристроями.

До роботи на бурових станках або установках допускаються особи, які мають посвідчення на право управління відповідним механізмом і пройшли стажування та вивчили інструкції з експлуатації і правила охорони праці. Забороняється працювати на несправному обладнанні.

Забороняється бурити в залишені після буріння частини шпурів («стакани»).

У разі роботи на самохідних установках забороняється перебувати під піднятим маніпулятором і автоподавачем, а також між забоєм та установкою. Переміщення бурових установок із одного забою в інший дозволяється тільки в транспортному положенні.

5.3 Заходи безпеки під час вибухових робіт

Виконуючи вибухові роботи, необхідно дотримуватися правил безпеки під час підготовки ВР, підривання зарядів і огляду результатів підривання.

ВМ не дозволяється кидати, кантувати, у процесі роботи з ними забороняється палити, користуватися вогнепальною зброєю. Сірники та запальнички дозволяється при собі мати лише підривникам.

Підготовлені до вибуху заряди повинні бути обов'язково підірвані. В одному шпурі дозволяється використати лише один патрон-бойовик, який обережно розміщують в пробуреній порожнині. Якщо бойовик, що застряг у шпурі, витягнути неможливо, то заряджання припиняють і підривають його разом із рештою.

Заряджання на висоті більш 2 м необхідно виконувати з риштувань або полків. Забійка шпурів інертним матеріалом повинна виконуватися невеликими порціями із максимальною обережністю. Підривати шпури без забійки заборонено.

Під час виконання вибухових робіт обов'язковими є звукові сигнали, які подають у такому порядку.

Перший сигнал – запобіжний (один довгий). Подається перед початком заряджання. Після заряджання монтують і перевіряють електропідривну мережу. Люди виводяться на безпечну відстань – не менше 150 м від забою при

тунелі без збійок та поворотів.

Другий сигнал – бойовий (два довгих). Після цього сигналу підричник виконує підривання.

Третій – відбій (три коротких). Сигнал подається після огляду місця підривання і сповіщає про завершення підривних робіт.

При виявленні відмови (або при підозрі на неї) на земній поверхні підричник повинен виставити відмітний знак у не підірваного заряду, а в підземних умовах захрестити забій виробки і в обох випадках повідомити про це особу технічного нагляду.

Заряди, що не підірвалися, необхідно терміново підірвати за допомогою зарядів, які розташовують в паралельно пробурених шпурах на відстані не ближче 30 см від шпуру із зарядом, що відмовив.

Після підривання і провітрювання забій слід привести в безпечний стан шляхом обстукування та оббирання шматків ґрунту, що нависають. Оббирання здійснюють металевими штангами або відбійними молотками з робочих майданчиків або платформ.

ВИСНОВКИ

1. В випускній кваліфікаційній роботі бакалавра виконаний аналіз інженерно-геологічних умов будівництва (умови Дніпровського метрополітену). На основі аналізу можна зробити висновок, що у місці будівництва наявні міцні ґрунти, зокрема граніт (міцність за проф. Протод'яконовим $f=12$).

2. Розроблені варіанти оправи перегінного тунелю в міцних ґрунтах (Варіант 1. Залізобетонна оправа з суцільних блоків із бетону класу В30; Варіант 2. Залізобетонна оправа з суцільних блоків із бетону класу В40; Варіант 3. Оправа із чавунних тюбінгів (марка чавуну СЧ-21-40)) та проведене їх техніко-економічне обґрунтування, з якого зроблено висновок, що найбільш відповідною умовам міцних ґрунтів є Варіант 2.

3. Визначено гірський тиск, параметри пружного відпору, власна вага кільця оправи та проведений розрахунок оправи перегінного тунелю в міцних ґрунтах за методом О. Ю. Бугаєвої. Отримано силові фактори та побудовано епюри згинальних моментів та нормальних сил.

4. На основі силових факторів перевірена міцність конструктивного елемента перегінного тунелю (залізобетонний блок, бетон В30). Умова міцності залізобетонного блоку виконана.

5. Розроблена та обґрунтована технологія проходки перегінного тунелю в міцних ґрунтах. Наведені основні положення проходки на основі буровибухових робіт, побудовано циклограму. Підібрано виробки для розміщення зарядів та способи їх буріння агрегатом TAMROCK. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Айвазов, Ю. М. Проектування метрополітенів (у 3-х частинах). Навчальний 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 – 133 с.
3. ДБН Д.1.1-1-2000 Правила визначення вартості будівництва [Текст]. – Київ: Держбуд України, 2003. – 148 с.
4. ДБН В.2.3-7-2010. Споруди транспорту. Метрополітени [Текст]. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2011. – 195 с.
5. Заворицкий, В. И. Проектирование подземных транспортных сооружений [Текст] / В. И. Заворицкий. – Київ: Будівельник, 1975. – 204 с.
6. Петренко, В. Д. Методичні вказівки для курсового проектування «Спорудження тунелів щитовим способом» [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, О. Л. Тютькін, В. П. Купрій; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во «Нова ідеологія», 2010. – 56 с.
7. 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. Тютькін; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во «Нова ідеологія», 2011. – 29 с.
8. Петренко, В. Д. Моніторинг деформацій оправи Сирецько-Печерської лінії Київського метрополітену та заходи щодо їх зменшення [Текст] / В. Д. Петренко, О. Л. Тютькін, Є. Ю. Кулаженко, В. І. Петренко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2017. – №11. – С. 42-51.
9. Петренко, В. И. Современные технологии строительства метрополитенов в Украине [Текст] / В. И. Петренко, В. Д. Петренко, А. Л. Тютькин. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – 252 с.
10. Петренко В. И. Опыт освоения подземного пространства

государственной корпорацией «Укрметротоннельстрой» [Текст] / Сб. научн. трудов НГАУ. – Днепропетровск : НГАУ, 1997. – С. 125-128

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

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