

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: Проект спорудження перегінного тунелю глибокого закладення,
що залягає в міцних породах

за освітньою програмою «Мости і транспортні тунелі»

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

Виконав: студент групи: МТ1911


(підпис студента)

/ Григорій КСЬОНДЗ /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:


(підпис)

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

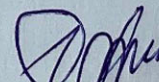
Нормоконтролер:


(підпис)

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

Консультант:

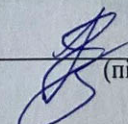
Охорона праці та безпека в
надзвичайних ситуаціях
(назва розділу)


(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, Ксенодз Григорій Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

студента(ки) групи МТ1911 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:

Проект спорудження перемного тунелю мисокого замкнення,
що знає в міських парках.

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)

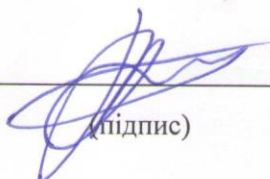

(підпис)

Ксенодз Григорій Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Дата 14.06.23

Керівник ВКР


(підпис)

Олександр Павло

(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

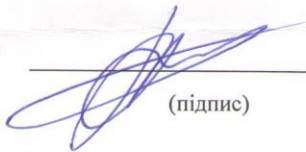
За результатами перевірки випускної кваліфікаційної роботи (ВКР)
здобувача вищої освіти освітнього ступеня (ОС) «бакалавр»

Ксенодза Григорія Михайловича
(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: просити надання першої
групи виборю звання, що зважає
в інших нормах

в роботі не виявлено порушень академічної доброчесності.

Керівник ВКР


(підпис)

Олександр Родик

(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: The construction project of a deep running tunnel,
that lies 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 / Hryhorii KSONDZ /
(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 Ксьондзу Григорію Михайловичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Проект спорудження перегінного тунелю глибокого закладення, що залягає в міцних породах

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 породи), 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. Варіанти оправи перегінного тунелю. Розділ 3. Розрахунок оправи перегінного тунелю. Розділ 4. Спорудження перегінного тунелю в міцних породах за допомогою БВР. Розділ 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

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

Лист 1. Варіанти оправ перегінного тунелю. Лист 2. Проект спорудження тунелю (бурові та вибухові роботи). Лист 3. Проект спорудження тунелю (монтаж оправи). Лист 4. Циклограма виконання робіт.

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. Варіанти оправи перегінного тунелю.	01.05.2023 – 07.05.2023	
2	Розділ 3. Статичний розрахунок оправи перегінного тунелю.	22.05.2023 – 28.05.2023	
3	Розділ 4. Спорудження перегінного тунелю в міцних породах за допомогою БВР. 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)

Григорій КСЬОНДЗ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Олексій ТЮТЬКІН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:

46 стор., 3 рис., 0 табл., 14 літературних джерел.

Об'єкт розробки – перегінний тунель глибокого закладення, що залягає в міцних породах.

Мета роботи – розробка проєкту спорудження перегінного тунелю глибокого закладення, що залягає в міцних породах.

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

В бакалаврській роботі проведено аналіз інженерно-геологічних умов будівництва. Розроблені варіанти оправи перегінного тунелю в міцних породах та виконане їх порівняння.

Визначено навантаження на оправу перегінного тунелю глибокого закладення, що залягає в міцних породах. Проведений розрахунок оправи перегінного тунелю в міцних породах за методом О. Ю. Бугаєвої. Обґрунтовано параметри міцності конструктивного елементу перегінного тунелю (чавунний тьобінг).

Розроблений проєкт спорудження перегінного тунелю глибокого закладення, що залягає в міцних породах. Виконано спрощений розрахунок паспорту буровибухових робіт. Розроблені положення руйнування породи, монтажу оправи і її гідроізоляції. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: МЕТРОПОЛІТЕН, ПЕРЕГІННИЙ ТУНЕЛЬ, МІЦНІ ПОРОДИ, БУРОВИБУХОВІ РОБОТИ, ПРОЄКТ СПОРУДЖЕННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ БУДІВНИЦТВА.....	9
РОЗДІЛ 2 ВАРІАНТИ ОПРАВИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ.....	11
2.1 Основні положення для вибору оправи перегінних тунелів в міцних породах	11
2.2 Конструкція оправи тунелю в міцних породах.....	15
2.3 Порівняння запропонованих варіантів оправи	16
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ОПРАВИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ.....	21
3.1 Визначення навантажень на оправу перегінного тунелю.....	21
3.2 Розрахунок оправи за методом О. Ю. Бугаєвої.....	23
3.3 Перевірка оправи на міцність для елементів оправи із чавуну	24
РОЗДІЛ 4 СПОРУДЖЕННЯ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ В МІЦНИХ ПОРОДАХ ЗА ДОПОМОГОЮ БВР.....	26
4.1 Спрощений розрахунок паспорту буровибухових робіт (БВР)	26
4.2 Машини, які використовуються для проходки БВР	29
4.3 Проєкт спорудження перегінного тунелю.....	30
4.3.1 Руйнування породи	30
4.3.2 Заряджання шпурів і підривання зарядів.....	31
4.3.3 Прибирання і транспортування ґрунту	33
4.3.4 Монтаж оправи	34
4.3.5 Первинне і контрольне нагнітання.....	35
4.4 Циклограма робіт	37
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	38
5.1 Загальні положення охорони праці	38
5.2 Обладнання для проходки перегінного тунелю.....	39
5.3 Основні положення безпеки робіт.....	39
5.4 Буріння шпурів	40
5.5 Заряджання та підривання.....	41
5.6 Прибирання породи	41
5.7 Пожежна безпека на робочих місцях	42
ВИСНОВКИ.....	44
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	45

ВСТУП

Основна концепція Дніпровського метрополітену була розроблена ще в кінці 1970-х рр. за участю вчених ДПТУ. На даний час будівництво двох станцій у центральній частині міста («Театральна» і «Центральна») припинено по причині вторгнення Російської Федерації в Україну. Також розгорталися роботи зі спорудження станції «Музейна», які було поновлено вже в 2016 році, після приєднання до робіт турецької фірми «Лімак».

До цих пір проєкт спорудження перегінних тунелів зберігався незмінним, базуючись на класичному розумінні збірного підземного будівництва із застосуванням оправ колового окреслення. Інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови Дніпровського метрополітену диктували застосування збірних оправ із залізобетону та чавуну. Це пояснювалося тим, що більша протяжність перегінних тунелів нараховується в міцних породах (сірі плагіограніти), які мають одну або декілька систем тріщин.

Основним способом руйнування такого типу порід є буровибуховий. Відомо, що для високого значення міцності за проф. Протод'яконовим можливо застосовувати спеціальні прохідницькі щити, однак для умов Дніпровського метрополітену було доведено, що їх застосування недоцільне. Також вирішальним фактором, після проведення консультацій та перемовин з фірмами, що виготовляють щити, стала їх вартість.

Відповідно, буровибуховий метод було прийнято як основний. Такий метод також є достатньо затратним, оскільки його застосування потребує потужних та ефективних бурових агрегатів. Так, для умов Дніпра були закуплені фінські бурові агрегати фірми Tamrock, які значно ефективніші, ніж вже існуючі радянські бурові агрегати СБУ. Таким чином, проєкт спорудження перегінних тунелів в міцних породах базується на буровибуховому методі, що реалізується за допомогою вискоефективних бурових агрегатів, та застосуванням зірної оправи з подальшою її гідроізоляцією. Залізобетонний варіант оправи був таким же розповсюдженим, як і чавунний.

Застосування чавунних тьобінгів в міцних породах обґрунтовується наявністю тріщин, які не так кардинально зменшують міцність плагіограніту (з 10 до 6...7 за шкалою проф. Протод'яконова), як дуже змінюють режим надходження підземних вод. Значні водопритоки та високий рівень підземних вод (до 50 метрів, тобто тиск складає 0,5 атм) потребують застосування саме чавунної оправи.

Наразі, до початку повномасштабного вторгнення РФ, в Дніпровському метрополітені застосовувався монолітний варіант оправи, що базується на стратегії Новоавстрійського методу спорудження тунелів (НАТМ). Однак, після консервації будівництва та виходу з нього компанії «Лімак», можливе повернення до збірного варіанту. Таким чином, проєкт спорудження перегінного тунелю глибокого закладення, що залягає в міцних породах, на основі буровибухового методу є актуальним.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка такого проєкту з обґрунтуванням положень руйнування, навантаження та транспортування породи, монтажу оправи і її гідроізоляції, а також розробкою основ охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

РОЗДІЛ 1

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ БУДІВНИЦТВА

В цілому клімат міста Дніпра є помірно-континентальним з м'якою зимою і теплим (в останні роки частіше спекотним) літом. Середньорічна температура повітря становить 8,5 °С, найнижча вона у січні (мінус 5,5 °С), найвища – у липні (плюс 21,3 °С).

Абсолютний мінімум температури повітря (мінус 38,2 °С) зафіксовано 11 січня 1940 р., абсолютний максимум (40,1 °С) – 10 серпня 1930 р.

У середньому за рік у м. Дніпрі випадає 513 мм атмосферних опадів, найменше їх у березні та жовтні, найбільше – у червні та липні.

Відносна вологість повітря в середньому за рік становить 74 %, найменша вона (61 %) в серпні, найбільша (89 %) – у грудні.

Рельєф області хвилясто-рівнинний (висоти 100...200 м). На північному заході знаходиться Придніпровська височина (висота до 192 м), яка поступово знижується в південно-східному напрямку і обривається до долини Дніпра крутим уступом. На крайньому півдні височина поступово переходить у Причорноморську низовину. Лівобережна частина області зайнята Придніпровською низовиною, на крайньому південному сході області простягається Приазовська височина. Територія області розчленована глибокими долинами річок, балками і ярами.

Дніпропетровська область повністю розташована в межах басейну Дніпра. Довжина Дніпра в межах області складає 240 км. Річка представлена двома відокремленими ділянками течії, розмежованими територією Запорізької області. Він протікає по асиметричній долині з спадистими правим бортом та пологим лівим. Стік річки зарегульований каскадом Дніпровських водосховищ, а в межах Дніпропетровщини присутні три з них – південна частина Кам'янського та північна частина Дніпровського, а також є вихід до Каховського водосховища.

Область належить до водозабезпечених, однак такий стан досягається за

рахунок транзитного потоку вод Дніпра. Локальних водних ресурсів недостатньо. Тому в майбутньому область може зазнавати водо дефіциту, оскільки існуючі можливості збільшення водоспоживання практично вичерпані, оскільки збільшення обсягів забору води з Дніпра загрожує як екологічному стану річки, так і функціонуванню господарського комплексу місцевостей, розташованих нижче за течією.

Більша частина Дніпропетровської області розташована в межах гідрогеологічної провінції Українського щита, крайній північний схід – в межах Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну. Тому можливості видобутку підземних вод в регіоні обмежені. Однак існують перспективи знаходження нових запасів підземних вод у розломах Українського щита, які можуть бути використані, перш за все, для задоволення потреб населення у воді.

Основою для лотку слугує плагіограніт сірий, зеленувато-сірий, масивний, мілко- і середньозернистий, тріщинуватий.

Фізико-механічні характеристики плагіограніту:

- щільність $\gamma = 2,5 \text{ т/м}^3$;
- кут внутрішнього тертя $\varphi = 75^\circ$;
- коефіцієнт міцності за Протод'яконовим $f=7$.

Рівень підземних вод – 3,7...4,8 м. Глибина закладення перегінного тунелю – 45...46 м. Максимальна потужність скельних порід – 37...40 м. Скельні ґрунти представлені плагіогранітами переважно сильної тріщинуватості з окремими зонами дроблення, в яких можуть мати місце значні водопритоки. Слабка стійкість при проходці. Водовміщуюча товща прийнята до глибини 50 м, нижче якої залягають регіональні водоупори – монолітні граніти.

РОЗДІЛ 2

ВАРІАНТИ ОПРАВИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ

2.1 Основні положення для вибору оправи перегінних тунелів в міцних породах

Матеріали для тунельних оправ повинні бути міцними, вогнестійкими, в мінімальному ступені схильними до вивітрювання і корозії [1, 2].

Оправа є постійною конструкцією, що призначена для закріплення внутрішньої поверхні гірничої виробки і надання їй відповідного проєкту обрису. Оправа тунелю повинна сприймати гірничий тиск по контуру виробки (тиск оточуючих виробку порід), гідростатичний тиск підземних вод, тимчасові навантаження, що передаються з поверхні землі (при дрібному закладенні тунелю), сейсмічні дії та інші навантаження. Оправа є несучою конструкцією, вона повинна мати достатню міцність, стійкість і водонепроникність. Тому при виборі конструкції і матеріалів оправ тунелів метрополітенів враховуються: геологія і гідрогеологія ділянки будівництва, глибина закладання тунелів, габарит наближення споруд, кліматичні та сейсмічні умови, експлуатаційні вимоги, способи виконання робіт, трудомісткість зведення оправ і їх вартість.

Для спорудження оправи тунелів метрополітенів використовують збірні чавунні або залізобетонні елементи, а також монолітний бетон і залізобетон. Ці матеріали досить міцні і довговічні і дозволяють вести роботи індустріальними методами [6, 7].

Для перегінних тунелів широко застосовують збірні оправи із залізобетонних блоків, а в ускладнених гідрогеологічних умовах будівництва (при нестійких обводнених ґрунтах, великому гідростатичному напорі води і великому гірському тиску) – збірні оправи з чавунних тубінгів [9].

Оправи тунелів мілкового закладення, що споруджуються відкритим способом, виконують із збірних залізобетонних великорозмірних конструкцій.

Оправи з монолітного бетону та залізобетону влаштовують при спорудженні виробок великих поперечних розмірів – односклепінчастих станцій, камер

з'їздів, розтрубних ділянок. Для перегінних тунелів монолітний бетон застосовують для оправи, що зводяться з пресованого бетону.

Збірні оправи складаються з окремих елементів заводського виготовлення. Оправи кругового обрису складаються з ряду кілець, зібраних з окремих блоків або тюбінгів. Блоком називають елемент суцільного перетину з гладкими поверхнями, тюбінгом – елемент з ребристою внутрішньою поверхнею. Грані блоків і тюбінгів, за якими вони з'єднані в кільце (спрямовані паралельно осі тунелю), називають поздовжніми, або радіальними, а грані, що з'єднують окремі кільця між собою (перпендикулярні осі тунелю), – поперечними, або кільцевими (круговими) [8, 9].

Збірна чавунна оправа тунелю (рис. 2.1.) являє собою ряд з'єднаних в трубу широких кілець, кожне з яких зібрано з окремих елементів – тюбінгів (званих іноді сегментами).

Чавунний тюбінг має вигляд ребристої коробки, дно якої – спинка тюбінгу – виконано по круговій кривій, відповідної радіусу кільця оправи тунелю. Тюбінг має два радіальних (поздовжніх) борта, площа яких утворює поздовжні стики (шви) у готовій оправі, а також два кільцевих (поперечних) борта, які в готовій оправі утворюють кільцеві стики (шви). Краї бортів тюбінгу, звернені всередину кільця оправи, мають спеціальні виїмки – фальці, які при складанні оправи утворюють так звані карбувальні канавки. Усередині тюбінгу, між радіальними і кільцевими бортами, розташовані зміцнюючі перегородки – ребра жорсткості: кільцеве і 2...3 (залежно від конструкції тюбінгу) радіальних (вузький ключовий, або замковий, тюбінг радіальних ребер жорсткості не має). Болтові отвори в бортах тюбінгу служать для з'єднання суміжних тюбінгів в кільце, а кілець – в оправу тунелю. У спинці тюбінгу мається загвинчують металевої пробкою отвір для нагнітання за оправу спеціальних ущільнюючих і гідроізолюючих розчинів.

Кільце оправи збирають з тюбінгів різних типів (див. рис. 2.1). Нормальні тюбінги 1 мають радіально спрямовані поздовжні борти. Верхній ключовий (замикає) тюбінг 5, яким замикають кільце (зсередини тунелю) при його

складанні, має скошені поздовжні борти, що додають тюбінгу клиноподібну форму. Два тюбінгу 2, суміжних з ключовим, мають по одному скошеного борту. Тюбінги, що надходять із заводу, мають маркування: нормальні – Н, суміжні – С і ключові – К.

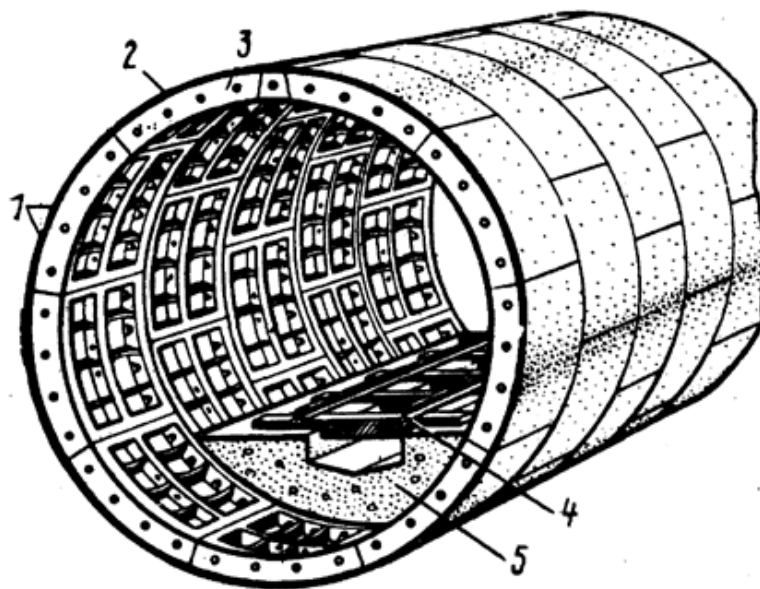


Рисунок 2.1 – Збірна тунельна оправа із чавунних тюбінгів:

- 1 – нормальні тюбінги Н; 2 – суміжні тюбінги С; 3 – замковий тюбінг З;
4 – колійний шлях; 5 – бетонна основа шляху

Число елементів в кільці залежить від його діаметру і конструкції оправи. Для перегінних тунелів метрополітену прийняті стандартні розміри кілець із чавунних тюбінгів: ширина (вимірюється уздовж тунелю) 1 м, зовнішній діаметр 5,5 м, внутрішній діаметр 5,1 м, висота бортів 0,2 м.

Розміри отворів для болтів, що скріплюють тюбінги, для полегшення складання прийняті на 4...6 мм більше діаметру болтів. Для оправ зовнішнім діаметром 5,5 м застосовують болти діаметром 27 мм і довжиною 120 мм, а для оправ зовнішнім діаметром 6 м – болти діаметром 30 мм і довжиною 130 мм.

На кривих ділянках колії (як у плані, так і в профілі) при складанні тюбінгового кілець тунелю застосовують чавунні клиновидні прокладки з отворами, які дозволяють збирати кільця змінної ширини [13].

Збірна залізобетонна оправа, так само як і чавунна, складається з ряду кілець. Кожне кільце збирають з окремих залізобетонних елементів (тюбінгів або блоків), які можуть бути суцільного або ребристого перетину. У першому випадку оправа має гладку внутрішню поверхню. Розміри кільця такої оправи аналогічні розмірам кільця оправи з чавунних тюбінгів [9, 11].

Оправа із залізобетонних блоків монтують без перев'язки швів. Сполучення блоків в кільці з елементів суцільного перерізу здійснюють по циліндричних поверхнях: в одному випадку вона опукла, в іншому – увігнута. Кільця один з одним в поздовжньому напрямку не з'єднують. Щоб уникнути осідань кілець лоткові блоки суміжних кілець з'єднують двома металевими штирями по кільцевому борту. Конструкція оправи з елементами ребристого перетину більш зручна для збірки. Кільцеві борти таких блоків мають отвори для установки монтажних шпильок, що забезпечують з'єднання монтованих кілець один з одним в поздовжньому напрямку.

Існує також конструкція залізобетонних тюбінгів з плоскими стиками і болтовими зв'язками.

Для виключення трудомістких робіт з очищення лотковою (нижньої) частини тунелю замість тюбінгу ставлять плоский залізобетонний лотковий блок з чавунною плитою.

При спорудженні тунелів зі збірних залізобетонних оправ на кривих ділянках застосовують спеціальні кутові кільця або залізобетонні кутові прокладки, що складаються з окремих елементів.

При традиційному способі спорудження тунелів збірні оправи можуть обжиматися нагнітанням піщано-цементного розчину в зазор між зовнішньою поверхнею оправи і внутрішньою поверхнею виробки, пройденої в породі.

У певних умовах (в стійких, що володіють достатньою міцністю ґрунтах) може бути застосований і інший спосіб – обтиснення оправи в ґрунт. Щільне притиснення блоків оправи до контуру виробки виключає процес первинного нагнітання, зменшує або виключає опади земної поверхні, покращує стійкість породного масиву. Для обтиснення оправи в породу необхідно, щоб виробка

мала правильний контур, що співпадає з зовнішнім контуром оправи. Такий контур виробки отримують при використанні прохідницьких механізованих щитів в щільних стійких ґрунтах.

Оправу збирають з блоків суцільного перетину з циліндричними стиками по поздовжніх бортах. Розтискати пристрої можуть розташовуватися у зводі, на горизонтальному діаметрі або в лотковому блоці. Розтискування блоків можна здійснювати за допомогою гідравлічних домкратів, важільних пристроїв або втискуванням клиновидного блоку. Закладення і фіксація стиків виробляються різними способами: заповненням зазорів монолітним бетоном, забиванням клинів, установкою вкладишів.

2.2 Конструкція оправи тунелю в міцних породах

В стійких півскельних і скельних породах ($f > 3,0$) при великих діаметрах тунелів ($D_{\text{вн}} \geq 7,0$ м) перевагу віддають оправі із залізобетонних тюбінгів або ребристих блоків. При $D_{\text{вн}} < 6,0 \dots 7,0$ м можливо застосування оправи із залізобетонних тюбінгів або блоків суцільного і ребристого поперечних перетинів [9].

При призначенні типу поперечного перетину елемента (тюбінги, ребристі блоки, блоки суцільного перетину) зважають на наступні міркування: 1) оправи із залізобетонних тюбінгів і ребристих блоків мають підвищену жорсткість і не вимагають при монтажі верхньої частини кільця підтримки висувними балками; 2) зменшена в місці оболонки товщина оправи з тюбінгів і ребристих блоків в поєднанні з більш низькою тріщиностійкістю цих оправ збільшує їхню водопроникність; 3) вихід бетону на виготовлення тюбінгів і ребристих блоків, а отже і їхня вага, менші, ніж блоків суцільного перетину, але потреба в металі вища через великі витрати арматури, наявність болтових зв'язків і закладних металевих деталей, які обрамляють отвори.

2.3 Порівняння запропонованих варіантів оправи

Для виготовлення залізобетонних блоків і тюбінгів застосовують бетон класу не нижче В30, а чавунні тюбінги відливають з чавуну марки СЧ-21-40.

Для визначення товщини блоків і висоти бортів тюбінгів слід скористатися емпіричною формулою [9]:

$$h = n \sqrt[3]{\frac{R_{\text{вн}}^2}{f}}, \text{ см} \quad (2.1)$$

де $R_{\text{вн}}$ – внутрішній радіус оправи в м; f – коефіцієнт міцності породи, за класифікацією проф. М. М. Протод'яконова; n – емпіричний коефіцієнт, який дорівнює:

$n=14$ – для блоків з бетону класу В30;

$n=13$ – для блоків з бетону класу В40;

$n=12$ – для блоків з бетону класу В50;

$n=10$ – для залізобетонних блоків з бетону класу В30;

$n=9$ – для залізобетонних блоків і тюбінгів з бетону класу В40;

$n=7,5$ – для чавунних тюбінгів і залізобетонних блоків і тюбінгів з бетону класу вище В50.

Незалежно від результатів розрахунку товщина оправи з залізобетонних блоків повинна бути не менше 15 см, а товщина бортів або оболонок залізобетонних тюбінгів – не менше 10 см. Розміри елементів оправи, отримані розрахунком, округляють до 5 см.

Розрахунок варіанту №1

Оправа з залізобетонних блоків (бетон класу В30) [3, 4].

$$h = n \cdot \sqrt[3]{\frac{R_{\text{вн}}^2}{f}} = 14 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,55^2}{7}} = 13,66 \text{ см}$$

Приймаємо $h = 20 \text{ см}$;

$R_{\text{вн}} = 2,55 \text{ м}$ – внутрішній радіус оправи;

$R_{3H} = 2,75\text{м}$ – зовнішній радіус оправи;

1) Розробка породи:

$$V_p = \frac{\pi D_{3H}^2}{4},$$

де D_{3H} – зовнішній діаметр оправи

$$V_p = \frac{3,14 \cdot 5,5^2}{4} = 25,5\text{м}^3$$

2) Навантаження породи:

$$V_n = k_p V_p,$$

де k_p – коефіцієнт розпушення

$$V_n = 2 \cdot 25,5 = 51\text{м}^3$$

3) Монтаж залізобетонної оправи:

$$V_k = \lambda \frac{\pi}{4} (D_{3H}^2 - D_{BH}^2),$$

де λ – коефіцієнт, який враховує наявність порожнин у залізобетонному елементі

$$V_k = 1 \cdot \frac{3,14}{4} (5,5^2 - 5,1^2) = 5,087\text{м}^3$$

Маса кільця чавунної оправи для визначення маси одного елемента і подальшого використання в статичному розрахунку:

$$G_k = \gamma V_k l,$$

де γ – питома вага залізобетону; l – ширина кільця

$$G_{\kappa} = 2,5 \cdot 5,087 \cdot 1 = 12,72 \text{ } m/M^3$$

4) Нагнітання за оправу:

$$S_{\kappa} = L_{\kappa} \cdot 1 = \pi D_{3H} ,$$

де L_{κ} – довжина дуги кільця по зовнішньому діаметру

$$S_{\kappa} = 3,14 \cdot 5,7 = 17,9 \text{ } M^2$$

5) Чекання швів (на один метр тунелю):

$$L_{ч.ш.} = L_{вн} + n \cdot 1 = \pi D_{вн} + n ,$$

де $L_{вн}$ – довжина кола оправы по внутрішньому діаметру; n – кількість поздовжніх швів у оправі

$$L_{ч.ш.} = 3,14 \cdot 5,1 + 8 = 24 \text{ } M$$

Розрахунок варіанту №2

Оправа із чавунних тюбінгів (СЧ–21–40) [3, 4].

$$h = n \cdot \sqrt[3]{\frac{R_{вн}^2}{f}} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,55^2}{7}} = 9,76 \text{ } см$$

Приймаємо $h = 20 \text{ } см$;

$R_{вн} = 2,55 \text{ } M$ – внутрішній радіус оправы;

$R_{3H} = 2,75 \text{ } M$ – зовнішній радіус оправы;

1) Розробка породи:

$$V_p = \frac{\pi D_{3H}^2}{4} \quad (2.2)$$

де D_{3H} – зовнішній діаметр оправы

$$V_p = \frac{3,14 \cdot 5,5^2}{4} = 25,5 \text{ м}^3$$

2) Навантаження породи:

$$V_n = k_p V_p, \quad (2.3)$$

де k_p – коефіцієнт розпушення,

$$V_n = 2 \cdot 25,5 = 51 \text{ м}^3.$$

3) Монтаж чавунної оправи:

$$V_k = \lambda \frac{\pi}{4} (D_{zn}^2 - D_{вн}^2), \quad (2.4)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує наявність порожнин у чавунному елементі

$$V_k = 0,7 \cdot \frac{3,14}{4} (5,5^2 - 5,1^2) = 3,561 \text{ м}^3$$

Маса кільця чавунної оправи для визначення маси одного елемента і подальшого використання в статичному розрахунку:

$$G_k = \gamma V_k l, \quad (2.5)$$

де γ – питома вага чавуну; l – ширина кільця

$$G_k = 7,2 \cdot 3,561 \cdot 0,75 = 19,715 \text{ т/м}^3$$

4) Нагнітання за оправу:

$$S_k = L_k \cdot 1 = \pi D_{zn}, \quad (2.6)$$

де L_k – довжина дуги кільця по зовнішньому діаметру

$$S_k = 3,14 \cdot 5,7 = 17,9 \text{ м}^2$$

5) Чекання швів (на один метр тунелю):

$$L_{ч.ш.} = L_{вн} + n \cdot 1 = \pi D_{вн} + n, \quad (2.7)$$

де $L_{вн}$ – довжина кола оправи по внутрішньому діаметру; n – кількість поздовжніх швів у оправі

$$L_{ч.ш.} = 3,14 \cdot 5,1 + 8 = 24 \text{ м}$$

Висновок:

У нашому випадку тунель пролягає на глибині приблизно 45 м у сірому тріщинуватому плагіограніті з міцністю $f = 7$. Рівень підземних вод близько 3,7 – 4,8 м від поверхні землі. Здебільшого необхідно вибирати збірні оправи з залізобетону і бетону, і тільки в особливо важких геологічних умовах (наприклад, при дуже зволжених породах) може бути допущено застосування оправ з чавунних тюбінгів. Оскільки гідростатичний тиск на конструкцію майже рівний 0,4 МПа, то приймаємо оправу із залізобетонних блоків, але у зонах дроблення та дуже сильної і сильної тріщинуватості будемо використовувати оправу із чавунних тюбінгів.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ОПРАВИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ

3.1 Визначення навантажень на оправу перегінного тунелю

Статичний розрахунок оправи слід проводити для можливих несприятливих сполучень основних та додаткових навантажень [5, 14].

Для розрахунку вертикального гірського тиску у скельних ґрунтах використовують формулу проф. М. М. Протод'яконова

$$q_e^H = \gamma h_1 \quad (3.1)$$

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

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

де f – коефіцієнт міцності породи; h_1 і L – висота і ширина склепіння обвалення за проф. М. М. Протод'яконовим (рис. 3.1).

- 1) $f = 7$ – коефіцієнт міцності породи за Протод'яконовим;
- 2) $\varphi = 75$ – кут внутрішнього тертя;
- 3) $\gamma = 25 \text{ кН/м}^3$ – питома вага породи;
- 4) $D_{\text{зн}} = 5,5 \text{ м}$ – зовнішній діаметр тунелю.

Ширина склепіння:

$$L = 5,5 + 2 \cdot 5,5 \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{75}{2} \right) = 7,2 \text{ м}$$

Висота склепіння:

$$h_1 = \frac{7,2}{2 \cdot 7} = 0,514 \text{ м}$$

Тимчасове нормативне навантаження:

$$q_{\epsilon}^p = 25 \cdot 0,514 = 12,85 \text{ кН} / \text{м}^2$$

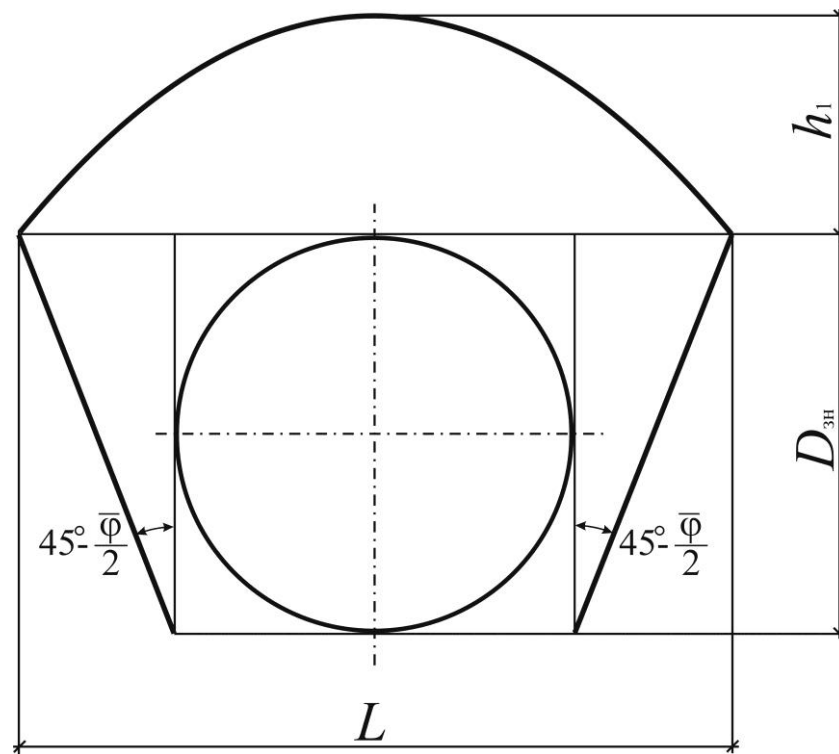


Рисунок 3.1 – Схема до визначення параметрів склепіння обвалення
за проф. М. М. Протод'яконовим

Відповідно до вимог ДБН [1] при розрахунку оправи за несучою здатністю величину розрахункових навантажень визначають шляхом множення нормативних навантажень на коефіцієнт перевантаження n ($n=1,5$).

$$q_{\epsilon}^p = n q_{\epsilon}^H, \quad (3.4)$$

$$q_{\epsilon}^p = 1,5 \cdot 12,85 = 19,275 \text{ кН} / \text{м}^2$$

Нормативна власна вага оправи визначається як:

$$p^H = \frac{G_{\kappa}}{2\pi r}, \quad (3.5)$$

де G_k – вага кільця оправи; $r = \frac{R_{вн} + R_{зн}}{2} = 2,65м$ – середній радіус оправи.

$$p^n = \frac{19,715}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,65} = 1,16 кН / м^2$$

Розрахункове значення власної ваги оправи визначається множенням на коефіцієнт перевантаження $p^p = np^n$; $p^p = 1,5 \cdot 1,16 = 1,74 кН / м^2$.

3.2 Розрахунок оправи 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 як найбільш простий, але за точністю результатів він не поступається іншим методам розрахунку

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

$$k\delta = -k\delta_A \cos 2\psi \text{ при } \frac{\pi}{4} \leq \psi \leq \frac{\pi}{2} \quad (3.6)$$

$$k\delta = k\delta_A \sin^2 \psi + k\delta_B \cos^2 \psi \text{ при } \frac{\pi}{2} \leq \psi \leq \pi \quad (3.7)$$

де k – коефіцієнт пружного відпору породи; δ – радіальне переміщення оправи в перерізі, нахилоного під кутом до вертикалі; δ_A, δ_B – невідомі переміщення перерізів А і В оправи відповідно

Канонічними рівняннями деформації такої системи є такі:

$$\begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \Delta_{1p} &= 0 \\ \delta_{22}X_2 + \Delta_{2p} &= 0 \end{aligned} \quad (3.8)$$

Розрахунок за методом О. Ю. Бугаєвої можна провести за допомогою файлу Excel for Windows – MOUB.xls, який розміщений у каталозі розрахункових програм TUNNEL.

Після розрахунку оправи у програмі EXCEL [9], отримали такі значення епюр (рис. 3.2).

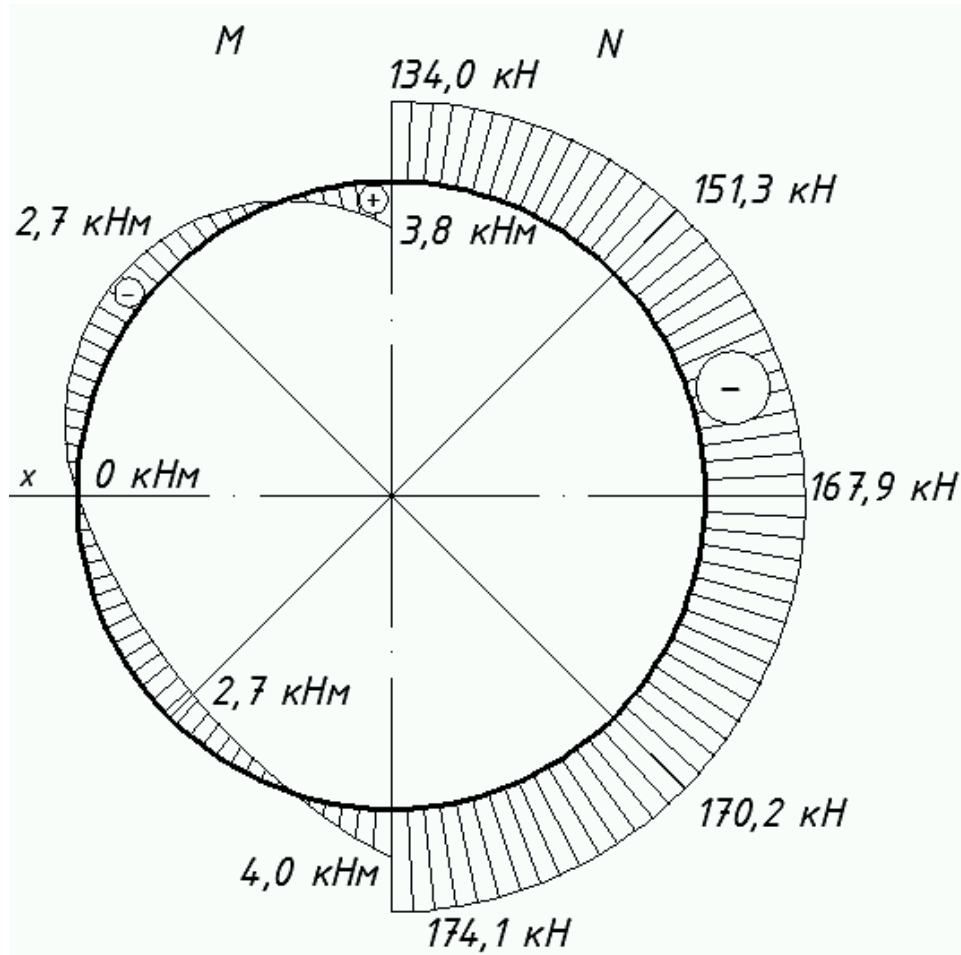


Рисунок 3.1 – Епюри згинальних моментів та нормальних сил

3.3 Перевірка оправи на міцність для елементів оправи із чавуну

Перевірку на міцність оправи із чавунних тюбінгів проводять за формулами [9]:

$$\frac{N}{F} \pm \frac{M \cdot y_{1,2}}{I} \leq R_c, \quad (3.9)$$

$$\frac{N}{F} \pm \frac{M \cdot y_{1,2}}{I} \leq R_u, \quad (3.10)$$

де $F = 0,085 \text{ м}^2$ – площа поперечного перетину чавунного тюбінга;
 $y_1 = -0,0588 \text{ м}$, $y_2 = 0,0412 \text{ м}$ – відстані від центра ваги перетину до відповідної
 грані перетину, що перевіряється; $R_c = 1800 \text{ МПа}$ та $R_u = 600 \text{ МПа}$ – розрахункові
 опори чавуну на стиск та розтяг відповідно.

Перевірка на стиск:

$$\frac{174,1}{0,085} - \frac{4,0 \cdot (-0,0588)}{0,0046} \leq 1800000$$

$$2178,5 \leq 1800000 \text{ умова виконана.}$$

Перевірка на розтяг:

$$\frac{174,1}{0,085} + \frac{4,0 \cdot 0,0412}{0,0046} \leq 60000$$

$$2162 \leq 60000 \text{ умова виконана, запас міцності приблизно 27 разів.}$$

РОЗДІЛ 4

СПОРУДЖЕННЯ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ В МІЦНИХ ПОРОДАХ ЗА ДОПОМОГОЮ БВР

4.1 Спрощений розрахунок паспорту буровибухових робіт (БВР)

Паспорт БВР – це основний технічний документ, який визначає основні параметри буровибухових робіт під час проходки підземних виробок і включає гірничо-геологічні характеристики умов проходки [10, 12].

Під час проходки підземних виробок найчастіше застосовують саме шпурові заряди, які, відповідно до призначення, поділяються на врубові, відбійні, контурні та підшовні (для виробок неколового обрису).

Врубів шпури слугують для утворення в забої площини оголення – так званого врубу, тому їх підривають першими.

Схеми розміщення врубових зарядів залежить від міцності та структури порід, а також від розмірів виробки. Під час проходки горизонтальних і слабопохилих виробок в однорідних породах без тріщин міцністю $f = 2 \dots 16$ застосовують центрально-вертикальний клиновий вруб – простий або посилений. Простий використовують у виробках площею до 40 м^2 при довжині шпурів до 1,7 м, посилений – у виробках більше 40 м^2 при довжині шпурів до 2...3,5 м у породах міцністю $f = 10 \dots 20$.

Приймаємо кількість врубових шпурів $N_{\text{вр}} = 4$, відстань між парами шпурів 45 см.

Для підривання плагіограніту тріщинуватого з міцністю $f = 7$ обираємо Амоніт №6 ЖВ.

Порядок і методика визначення параметрів БВР для звичайного підривання зарядів.

1) Визначення глибини заходки залежить від поперечного перерізу тунелю та коефіцієнту міцності породи [10].

$$l_{\text{зах}} = 2m$$

2) Приймається коефіцієнт використання шпурів, який коливається в межах 0,8...0,9 і для контурного підривання становить 0,85...0,9, а для звичайного – 0,8...0,85.

3) Визначення глибини комплекту відбійних шпурів l_k

$$l_k^s = \frac{l_{зax}}{\eta}, \quad (4.1)$$

$$l_k^s = \frac{2}{0,8} = 2,5 м$$

Визначення типу шпурових зарядів та їх конструкції, встановлення діаметру патронів ВР.

$d = 36 мм$ – діаметр патрону;

$m=300 г$ – маса заряду одного патрону;

$l = 300 мм$ – довжина патрону.

4) Визначення маси ВР q_1 (кг), яка припадає на 1 м довжини шпурів.

$$q_1 = \frac{k_{зан} \psi_0 \gamma}{l_n}, \quad (4.2)$$

де $k_{зан} = 0,65$ – коефіцієнт заповнення шпурів; $\psi_0 = 1,1$ – коефіцієнт ущільнення заряджання; $\gamma = 0,8 кг$; $l_n = 0,5 м$ – довжина патрона.

$$q_1 = \frac{0,65 \cdot 1,1 \cdot 0,8}{0,3} = 1,9 кг$$

5) Визначення питомих витрат ВР q за формулою ЦНПДСу

$$q_1 = \left(0,3\sqrt{f} + \frac{2}{\sqrt{S}} \right) c e \psi \omega \mu, \quad (4.3)$$

де S – площа поперечного перерізу виробки, m^2 ; $c=1$ – коефіцієнт, який враховує вплив діаметра заряду ВР; $e=1$ – коефіцієнт еквівалентних зарядів; $\psi=1,1$ – коефіцієнт щільності заряджання патронами; $\omega=0,85$ – коефіцієнт, який характеризує структуру і тріщинуватість порід; $\mu=1$ – для виробок до $50 m^2$

$$q = \left(0,3\sqrt{7} + \frac{2}{\sqrt{25,5}} \right) 1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot 1 = 1,05 \text{ кг} / m^3$$

6) Визначення загальної кількості шпурів N під час звичайного підривання:

$$N = \frac{P_k}{a_k} + \frac{12,7 \cdot q \cdot S'}{d^2 \cdot K_s \cdot \Delta K_\Delta} + \sqrt{S'} \quad (4.4)$$

де P_k – периметр виробки по лінії розміщення контурних шпурів, м; a_k – відстань між контурними шпурами, м; d – діаметр патрона ВР, см; K_s – коефіцієнт заповнення шпуру; Δ – зарядження вибухової речовини (питома вага); K_Δ – коефіцієнт ущільнення зарядів.

$$N = \frac{16,328}{0,6} + \frac{12,7 \cdot 1,05 \cdot 10,5}{3,6^2 \cdot 0,65 \cdot 1 \cdot 1,15} + \sqrt{10,5} = 49,67$$

Приймаємо 50 шпурів.

7) Визначення маси контурних зарядів:

$$q_k = l_k \cdot K_k \quad (4.5)$$

де l_k – довжина контурного шпуру, м; K_k – маса заряду на 1 пог.м контурного шпуру, приймається в межах 0,2...0,45 кг/м.

$$q_k = 2,35 \cdot 0,2 = 0,47 \text{ кг}$$

8) Визначення кількості ВР на цикл :

$$Q = q \cdot S \cdot l_{\text{зах}} \quad (4.6)$$

$$Q = 1,05 \cdot 2 \cdot 23,75 = 49,875 \text{ кг}$$

4.2 Машини, які використовуються для проходки БВР

Проходку тунелю без щита способом суцільного забою ведуть з розробкою ґрунту БВР [10, 11]. Оправу монтують механізованим укладальником. У технологічний процес входять наступні роботи: розробка забою, навантаження породи, монтаж тунельної оправи, первинне та контрольне нагнітання, гідроізоляція оправи, транспортування ґрунту і матеріалів. До забою повинні бути підведені стиснене повітря, технічна вода, силові та освітлювальні кабелі, вентиляційні труби.

У комплекс машин і механізмів для проходки тунелю способом суцільного забою входять:

1. Буровий агрегат TAMROCK.

2. Укладальник збірної оправи ТУ-1 Гп з гідравлічним приводом важеля, обладнання якого складається з змонтованого на рамі механізму крокуючого ходу, висувної арки, важеля із захопленням для елементів оправи і приводом обертання важеля, гідро- та електрообладнання, сходів, огорожі. З боку забою на укладачі змонтовані решітки для захисту обладнання і запобігання розльоту шматків породи при вибуху. Важіль укладальника телескопічного типу може здійснювати рухи в обидві сторони і висуватися вперед. Укладальник забезпечує доступ до верхньої частини забою. Система висувних платформ, що перекриває нижню частину забою, дозволяє одночасно вести буріння у верхній частині забою і робити навантаження породи в нижній частині машиною 1ППН-5 в вагонетки з глухим кузовом. Прохідники, що працюють на верхньому ярусі укладальника, знаходяться під захистом висувних козирків. Нижню частину забою після збирання з неї породи обурюють з підосви.

3. Породонавантажувальна машина ППН-5 має електричний привід, вона

переміщається і працює на рейковому шляху. Машина складається з корпусу з поздовжнім транспортером і ковшовим пристроєм зі стрілою, яка разом з ковшем може повертатися як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах. Під виступаючою за межі машини хвостовою частиною конвеєра поміщається вагонетка, поєднана для рівномірного завантаження з висувним зчіпним пристроєм. Можливість підйому конвеєра на кут до 25 град. дозволяє вести вантаження в вагонетки різної висоти і місткості. Для пилоподавлення машина обладнана зрошувальною системою.

4. Візок для первинного нагнітання.
5. Пересувна платформа зі стрілочним переводом.
6. Транспортні засоби (вагонетки, блоко- і тюбінговозки та електровози).

4.3 Проєкт спорудження перегінного тунелю

4.3.1 Руйнування породи

Прохідницький цикл починається, як правило, з розмітки в забої місць розташування шпурів, виконуваної у відповідності зі схемою в паспорті буровибухових робіт [10, 11].

До початку розмітки і буріння шпурів забій підземної виробки оглядають і приводять в безпечний стан шляхом ретельної оборки. Породу, що видає при простукуванні характерний глухий звук і породу відбивають і видаляють. Видаляють також шматки породи, навислі на оправу або прохідницьке обладнання.

Забій перевіряється також підривиком на відсутність зарядів («відмов») і залишків ВР в «стаканах». Категорично забороняється розбурювати «стакани», так як в них можуть бути залишки ВР. При виявленні в забої «відмови» – прохідник повинен повідомити про це особу технічного нагляду і припинити роботу в забої.

Для забезпечення необхідного ефекту підривання і правильного окреслювання виробки перед бурінням необхідно особливо ретельно виконувати розмітку шпурів у забої, особливо врубів і контурних. При

розмітці шпурів використовують механічні (шаблони, рулетки та ін.) і оптичні (проекційні) пристрої. Після закінчення розмітки прохідники приступають до обурювання забою бурового агрегату TAMROCK. Після закінчення буріння шпуру на задану глибину його ретельно продувають стисненим повітрям через металеву трубку діаметром 15-20 мм, що вводиться в шпур поступово на всю його глибину.

Контролює відповідність пробурених шпурів паспорту БВР змінний інженер, гірничий майстер або підрильник.

4.3.2 Заряджання шпурів і підривання зарядів

Доставка вибухових матеріалів (ВМ) до забою здійснюється вручну або рейковим транспортом. До доставки ВР до місця робіт допускаються тільки проінструктовані робітники. Доставка дозволяється під наглядом майстра-підрильника. ВР переносять в заводській упаковці в справних сумках або касетах. При цьому ВР і СР поміщають в окремі сумки (касети). Детонатори і бойовики переносять тільки підрильники [10, 11].

При доставці ВМ електровозом попереду і ззаду складу зміцнюють розпізнавальні знаки.

При спуску ВР в кліті або в бадді допускається одночасно перебувати тільки підрильнику і підношувачу.

До заряджання шпурів всі особи, не пов'язані з виробництвом вибухових робіт, видаляються в безпечне місце, виставляються пости охорони. Якщо застосовується електропідривання, необхідно знеструмити укладальники оправи, щити.

Бурову установку, породонавантажувальну машину і т. д. видаляють від забою на безпечну відстань. Осередки щита, звернені до забою, окремі елементи щита або укладальника тунельної оправи захищають спеціальними пристосуваннями (стулками, захисними решітками) від ударів шматків породи, які розлітаються під час вибуху.

Після обурювання забою зарядну машину і ВР доставляють в забій. У забої

пневмозарядниками оглядають, підключають до магістралі стиснутого повітря, перевіряють його роботу на холостому ходу, продувають зарядну трубку, виконують заземлення зарядника. Переконавшись у справності пневмозарядника, його заповнюють вибуховою речовиною, вводять в шпур зарядну трубку і за допомогою стиснутого повітря подають необхідну кількість ВР. Після закінчення заряджання всіх шпурів пневмозарядниками, продувають стисненим повітрям, видаляючи залишки ВВ, промивають водою, відключають від мережі стисненого повітря і прибирають із забою.

З метою підвищення безпеки підривних робіт і ефекту вибуху, а також запобігання викиду ВР зі шпурів застосовують забійку – матеріал, яким закладають не заповнених зарядом частина шпуру. Без забійки газу, що утворюються при вибуху, вириваються з шпуру в атмосферу виробки, не зробивши корисної роботи з руйнування масиву породи. Довжина забійки повинна бути не менше $1/3$ загальної довжини шпуру.

Як матеріал забійки застосовують пісок, глину, воду. Кращим матеріалом для забійки вважають суміш однієї частини глини і трьох частин піску. Зазвичай матеріал для забійки шпурів готують у вигляді пижів (коротких циліндрів) діаметром, дещо меншим діаметра шпуру.

При проходці застосовується електричний спосіб підривання з використанням запобіжних електродетонаторів сповільненої дії (зі ступенем сповільнення 25 мс).

Вибухову мережу монтують після закінчення заряджання і набійки шпурів і виведення людей із забою. Ця робота вимагає від підривника великої обережності.

Змінний інженер і підривник перевіряють правильність заряджання шпурів і монтажу вибухової мережі, після чого із спеціального укриття проводиться підривання.

При вибухових роботах подаються звукові сигнали:

- перший сигнал – попереджувальний (один тривалий); при цьому всі люди, не зайняті заряджанням і підриванням, повинні віддалитися за межі

небезпечної зони, біля її кордонів виставляються пости охорони;

- другий сигнал – бойовий (два тривалих), після нього підрильники включають струм і видаляються в укриття;

- третій сигнал – відбій (три коротких) – подається після огляду місця вибуху і означає закінчення вибухових робіт.

Допуск робітників до місця вибуху дозволяється особою технічного нагляду, відповідальним за ведення вибухових робіт в даній зміні.

Провітрювання забою починають негайно після вибуху. Кінці вентиляційних труб необхідно своєчасно нарощувати так, щоб відстань їх від забою була у допустимих межах.

4.3.3 Прибирання і транспортування ґрунту

Після огляду і оборки забою приступають до прибирання ґрунту. Прибирання підірваного ґрунту є однією з найбільш трудомістких операцій, яка складає до 40% усіх трудовитрат прохідницького циклу. Причому організація робіт по навантаженню і транспортуванню ґрунту складає єдиний виробничий процес. Вибір машин та обладнання для навантаження і транспортування багато в чому визначається розмірами тунелю, залежить від запланованої швидкості прохідки та механічних характеристик ґрунту.

Для прибирання ґрунту використовується породонавантажувальна машина періодичної дії на рейковому ході зі ступінчастим навантаженням ППН-5. При навантаженні породи в забої виробництво будь-яких інших робіт в зоні дії машини забороняється. Навантажений ґрунт через транспортер потрапляє до вагонетки, яка знаходиться за вантажною машиною.

Найбільшого поширення у тунелебудуванні отримав рейковий транспорт періодичної дії. У цьому випадку транспортування ґрунту та матеріалів здійснюється в вагонетках по рейковому тимчасовому шляху вузької колії за допомогою електровозної відкатки.

Електровозна відкатка являється основним видом транспорту, який використовується при будівництві протяжних тунелів. Рейковий шлях

складається із рейок, шпал, та скріплень. Для влаштування рейкового шляху при електричній тязі слід в основному використовувати рейки типу Р24.

В горизонтальних виробках рекомендується укласти два вузькоколіїшні шляхи з улаштуванням через 200...300 м односторонніх або перехресних стрілочних переводів або з'їздів.

Для перевезення ґрунту використовується вагонетка глуха. Розвантаження глухих неперекидних вагонеток виконується на поверхні в кругових перекидачах у вигляді циліндричних барабанів, які обертаються навколо поздовжньої осі. У таких перекидачах вагонетки автоматично закріплюються, після чого барабан повертається на 360 град. (повний оборот), і ґрунт висипається в бункер [10, 11].

4.3.4 Монтаж оправи

Після прибирання ґрунту приступають до складання кілець чавунної або залізобетонної оправи тунелю за допомогою механізованого укладальника. У розробленому ґрунті і закріпленому просторі (заходці) збирають чергове кільце оправи тунелю. Для цього укладальник пересувають вперед і встановлюють так, щоб його важіль перебував посередині заходки. Тюбінг або блок на візку подають до важеля укладальника і за допомогою спеціального захоплення кріплять до нього. Приєднаний тюбінг знімають важелем з візка і, обертаючи важіль вліво або вправо змінюючи його довжину, встановлюють тюбінг в потрібне місце [10, 11].

Сполучені площини збірних елементів перед укладанням очищають від бруду, криги, снігу. Оброблені поверхні чавунних тюбінгів очищають від машинного масла, яким їх покривають при транспортуванні. Нижні тюбінги або лоткові залізобетонні блоки укладають з особливою ретельністю.

При укладанні перших (лоткових) чавунних тюбінгів для центрування болтових отворів на кільцевій площині першого встановлюваного тюбінгу і отворів в тюбінгу раніше укладеного кільця в крайні болтові отвори забивають два конічних стрижня (оправлення). Після цього встановлюють і затягують

болтові отвори центрують за допомогою трьох оправок, забитих в болтові отвори на круговому і поздовжньому бортах тюбінгу. Подальшу установку тюбінгів ведуть по черзі з обох сторін кільця, використовуючи спеціальні інструменти і пристосування (оправлення, гайкові ключі, що підтримують пристрої). При необхідності тюбінги підклинюють дерев'яними клинами.

Для скріплення чавунних тюбінгів болти встановлюють відразу з гідроізоляційними або поліетиленовими шайбами. При гідроізоляційних роботах болти з плоскими шайбами знімають і встановлюють замість них болти з сферичними або пластмасовими шайбами.

Елементи збірних залізобетонних оправ укладають по черзі з кожного боку від лоткового блоку. У спеціальні отвори по поздовжніх бортах блоків вставляють фіксують шпильки. У ребристу залізобетонну оправу по кругових бортах встановлюють стяжні болти. Верхні блоки при монтажі спирають на висувні балки укладальника оправи та підклинюють дерев'яними клинами.

Після закінчення зборки кожного кільця, до пересування укладальника тунельною оправи, а також після його проходу, перевіряють правильність складання кільця шляхом вимірів його по вертикальному і горизонтальному діаметрам, а також по двом діаметрам, розташованим під кутом 45 град. до горизонту. Дані про вимірювання діаметрів кільця вносять у відомість укладання кілець тунельної оправи. Еліптичність (відхилення діаметрів) кілець, що вийшли за блокоукладальник, не повинна перевищувати 50 мм. Для збереження геометричних розмірів кільця оправи тунелю в допустимих межах пустоти за оправою закладають породу, потім проводять первинне нагнітання піщано-цементного розчину. Відставання нагнітання від забою не повинно перевищувати трьох кілець.

4.3.5 Первинне і контрольне нагнітання

Первинне нагнітання проводять з метою заповнення пустот в контактні оправи з поверхнею виробки, що утворилися в результаті вивалів, обвалень, нещільної забутовки. Заповнення порожнеч забезпечує спільну роботу оправи

та навколишнього ґрунту, сприяє рівномірному розподілу гірського тиску на оправу, підвищує її водонепроникність, а також запобігає скупченню води за оправою, яка при замерзанні її руйнує.

Нагнітання за оправу ведеться цементно-піщаним розчином складу 1:2 послідовно від низу до верху по кільцю в спеціальні отвори в спинках блоків по обидві сторони від вертикальної осі оправи тунелю. Відставання нагнітання від забою не повинне перевищувати трьох кілець.

Розчин для нагнітання готують у розчиномішалках безпосередньо на місці робіт. Матеріали для приготування розчину транспортують в заводській упаковці в закритих контейнерах з внутрішніми перегородками для розділення складових або в вагонетках з розділовими стінками. Приготований розчин подають за оправу по розчиноводу насосами механічної дії С – 8685. Можуть бути використані і розчинонагнітувачі СО-85, за допомогою яких розчин і готують, і транспортують по розчиноводу за оправу.

Розчиновід приєднують до оправи за допомогою ін'єктора, що закріплюється в попередньо пробуреної свердловині. Роботи з нагнітання ведуть на ділянках до 30 м, використовуючи інвентарні пересувні візки, оснащені розчинонасосами, розчиномішалками, і обладнанням для підйому контейнерів і вагонів з розчином або сухою сумішшю.

Після закінчення нагнітання розчину за стіни тунельної оправи приступають до нагнітання за склепінну частину.

Первинне нагнітання припиняють при настанні «відказу» або появі розчину в вищерозташованих свердловин.

Контрольне нагнітання виконують для заповнення найдрібніших тріщин і пустот, які утворилися в результаті твердіння і усадки розчину первинного нагнітання. Нагнітання виконують цементним молоком, використовуючи ті ж розчинонасоси, що і при первинному нагнітанні, або гідравлічний насос. Свердловини для контрольного нагнітання бурять між свердловинами для первинного нагнітання таким чином, щоб свердловина, пройшовши бетон оправи і шар первинного нагнітання, увійшла в ґрунт. Контрольне нагнітання

виконують до тих пір, поки не припиниться поглинання розчину при максимально допустимому тиску.

Порядок провадження робіт по контрольному нагнітанні такий же, як і для первинного нагнітання.

Після закінчення робіт по нагнітання виконують гідроізоляцію свердловин. Для цього гирлі свердловин на глибину не менше 50 мм очищають від розчину, продувають, промивають водою, потім зачеканюють ущільнюючим складом.

4.4 Циклограма робіт

Найменування робіт	Одиниці вимірюв.	Об'єм робіт	Трудовитрати		Час виробничого процесу, ч											
			на один.	на об'єм	I зміна						II зміна					
					1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Подача бурового агрегату	-	-	-	0,5	0,5											
Буріння шпурів	п.м.	126	0,02	2,25		2,25										
Зарядження шпурів	шт	50	0,06	3			2	1,5								
Підривання і провітрювання забоя	-	-	-	0,5					0,5							
Огляд і оборка забоя	-	-	-	0,5					0,5							
Навантаження ґрунту	0,5	51	0,045	2,25					3	0,5						
Монтаж оправи	0,5	5,1	3,26	16,6							4	4,15				
Нагнітання розчину	0,5	17,9	1,17	21	5	2,75										5
Допоміжні роботи	-	-	-	-	2		5	7	4		3				2	

Після проведеної розробки проєкту спорудження перегінного тунелю, побудовано циклограму робіт для повного циклу [9].

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Загальні положення охорони праці

1. Ведення БВР поблизу підземних та наземних споруд необхідно здійснювати за проєктом, узгодженим з власником таких споруд.

2. Під час проходки стволів шахт у міських умовах і за наявності великого припливу води ПБ дозволяється виготовляти на першому від забою ствола помості або на спеціально улаштованому помості.

3. Заряджання шпурів і монтаж підривної мережі на висоті більше ніж 2 м дозволяється проводити тільки з помостів, що примикають до забою, або з висувних майданчиків укладальників тунельного кріплення та щитів.

4. Під час проходки тунелів із застосуванням електричного підривання до початку заряджання все прохідницьке устаткування повинно бути знеструмлене.

Забороняється виготовлення ПБ безпосередньо на майданчиках укладальника тунельного кріплення або щита.

5. Під час розсікання верхніх штолень забороняється одночасне підривання в протилежних забоях.

6. Заряджання повинно здійснюватися підривниками в присутності посадової особи зміни, відповідальної за безпеку ведення робіт у зміні (на дільниці).

7. Під час одиночного вогневого підривання в щитовому забої заряджання та підривання дозволяється проводити одночасно не більше ніж у двох суміжних ярусах.

Під час ведення підривних робіт на одному горизонтальному ярусі дозволяється підривати за один прийом заряди не більше ніж у 10 шпурах. На двох горизонтальних ярусах кількість шпурових зарядів, що одночасно підриваються, не повинна перевищувати восьми.

5.2 Обладнання для проходки перегінного тунелю

1) Буріння шпурів:

- самохідна бурильна установка (буровий агрегат TAMROCK);
- перфоратор ручний;
- перфоратор телескопний;
- верстат для заточування коронок.

2) Прибирання породи:

- породонавантажувальна машина ППН-5.

3) Заряджання та підривання:

- автомобіль ГАЗ-330232-288С;
- машинка вибухова КПМ-3;
- вибухова станція;
- прилад для перевірки вибухової мережі ВІС-1.

5.3 Основні положення безпеки робіт

1) Перед початком заряджання шпурів при веденні вибухових робіт у підземних виробках необхідно забезпечити провітрювання забою, прибрати раніше підірвану в забої гірську масу, вивести людей, не пов'язаних з виконанням вибухових робіт, за межі небезпечної зони, в місця, визначені паспортом буровзривних робіт, при цьому повинні бути забезпечені безпечні умови роботи підричника.

2) Забороняється ведення вибухових робіт на відстані менше 30 м від складу вибухових матеріалів, дільничного пункту, роздавальної камери, а також знаходження людей в перерахованих місцях зберігання вибухових матеріалів при вибухових роботах, що проводяться на відстані ближче 100 м від них. Зазначене відстань визначається від місця підривання до найближчої камери (комірки) з вибуховими матеріалами.

3) Забороняється підривання зарядів, якщо на відстані менше 20 м від місця їх закладання знаходяться неприбрана відбита гірська маса, вагонетки або предмети, захаращують виробки більш ніж на 1/3 площі її поперечного

перерізу, при відсутності вільних проходів.

4) Перед допуском людей у виробку (забій) після підривних робіт вміст отруйних продуктів вибуху не повинно перевищувати 0,008 % за об'ємом у перерахунку на умовний оксид вуглецю. Таке розрідження шкідливих газів повинне досягатися не більш ніж за 30 хв. після підривання зарядів.

При перевірці достатності розрідження шкідливих продуктів вибуху 1 л діоксиду азоту слід приймати еквівалентним 6,5 л оксиду вуглецю.

5) Забороняється виготовлення патронів-бойовиків безпосередньо на майданчиках укладальника тунельною оправи або щита.

6) Забороняється розміщувати в одному шпурі вибухові речовини різних класів чи різних найменувань і при суцільному заряді – більш одного патрона-бойовика.

5.4 Буріння шпурів

До самостійної роботи на буровій установці допускаються особи, які пройшли навчання з управління установкою.

Перед початком роботи необхідно перевірити:

- стан кріплення покрівлі та боків виробки;
- справність пневматичних і гідравлічних рукавів, надійність їх з'єднання і страховку;
- пульти управління гідравлікою бурової установки;
- справність перфоратора;
- рівень масла в маслобаку, в редукторах;
- випробувати роботу маніпуляторів і ходової частини бурової установки;
- наявність бурового інструменту відповідної довжини;
- відзначені чи пробками «простріли».

При бурінні прохідник повинен:

- постійно стежити за безпечним станом виробки;
- періодично зупиняти перфоратор, оглядати виробку, при необхідності проводити додаткову оборку заколовши;

– дотримуватися паспорту БВР.

Забороняється:

- забурюватися в простріли;
- виробляти паралельно з бурінням шпурів будь-які роботи;
- знаходитися в зоні дії маніпуляторів бурової установки;
- проводити ремонтні роботи при наявності тиску стисненого повітря на буровому механізмі.

5.5 Зарядження та підривання

Перед зарядкою підричник повинен перевірити:

- знеструмити всі електроустановки та кабелі, що знаходяться в небезпечній зоні;
- відставання кріплення згідно паспорту кріплення;
- відставання вентиляційних трубопроводів від забою згідно з проектом провітрювання;
- відповідність обурювання забою паспорту БВР;
- справність джерел струму;
- стійкість покрівлі і стін виробки;
- виставлення постів охорони;
- вихід людей із забою або небезпечної зони.

Зарядження шпурів на висоті більше 1,2 м виробляти з дерев'яних сходів.

Забороняється використовувати ВР не за призначенням і передавати іншим особам.

Забороняється залишати ВР без нагляду, розкидання в забої, зберігання за кріпленням.

5.6 Прибирання породи

До роботи з прибирання породи допускаються особи, які пройшли спеціальну підготовку і мають посвідчення на право керування породонавантажувальною машиною.

Перед початком роботи перевірити справність і працездатність всіх вузлів навантажувальної машини або екскаватора:

- гальма;
- рульове управління, (пульт керування);
- освітлення;
- наявність і рівень мастила і палива;
- наявність каталізатора і води.

При прибиранні породи:

- постійно стежити за станом покрівлі і стін виробки і виробляти оборку заколовши на ділянках, звільнених від підірваної породи;
- негабаритні шматки породи обробляти вручну;
- при зупинці машини (екскаватора) опустити ківш на підшву виробки, заглушити машину і поставити на гальмо стоянки.

Забороняється:

- працювати на несправній машині;
- знаходження людей в забої і в зоні дії навантажувальної машини;
- передавати управління іншій особі без дозволу особи змінного нагляду;
- виконувати ремонтні роботи при працюючому двигуні.

5.7 Пожежна безпека на робочих місцях

Промивати і чистити бурильні та відбійні молотки дозволяється тільки у спеціально відведених місцях на будівельному майданчику, забезпечених протипожежними засобами.

Мастильні, обтиральні матеріали і газ повинні зберігатися в закритих металевих посудинах в кількостях, що визначаються механіком дільниці, але не понад добової потреби в кожному з видів матеріалів.

Місце установки ящика змінного зберігання вибухових матеріалів повинно бути обладнане вогнегасником і ящиком з піском.

Біля portalу повинен знаходитися пожежний щит з протипожежним інвентарем.

Виробляти в підземних виробках зварювальні та газополум'яні роботи, а також застосування паяльних ламп повинно здійснюватися відповідно до «Інструкції по виробництву зварювальних та газополум'яних робіт у підземних виробках».

Зберігання та транспортування балонів з газами здійснюється тільки з нагвинченими на їхні горловини запобіжними ковпаками. При транспортуванні балонів не допускати поштовхів і ударів.

До місця зварювальних робіт балони доставляються на спеціальних візках, ношах. Перенесення балонів на плечах і руках забороняється.

Всі займисті матеріали повинні бути видалені на відстань не менше 20 м від місця виробництва зварювальних робіт.

У місцях виконання зварювальних робіт повинні знаходитися не менше двох вогнегасників ВВЦ-5, або вагонетка з запасом води не менше 1 м³ і ящика з піском

Зварювальні роботи в підземних виробках і надшахтних будівлях повинні проводитися відповідно до «Інструкції по виробництву зварювальних та газополум'яних робіт у підземних виробках і надшахтних будівлях», (додаток 8 «ЕПБ при розробці рудних, нерудних і розсипних родовищ підземним способом»).

Після закінчення зварювальних і газополумєневих робіт місце зварювання та різання повинно перебувати під наглядом осіб технічного нагляду або спеціально виділеного і проінструктованого особи не менше 2 годин.

До відання зварювальних робіт в гірничих виробках і надшахтних будівлях допускаються тільки зварювальники, мають посвідчення на право виробництва зварювальних робіт у шахтах і пройшли спеціальний інструктаж з техніки безпеки.

ВИСНОВКИ

1. В бакалаврській роботі виконано аналіз інженерно-геологічних умов будівництва (умови м. Дніпра). На основі аналізу можна зробити висновок, що у місці будівництва наявні міцні породи, зокрема плагіограніт (міцність за проф. Протод'яконовим $f=7$).

2. На основі аналізу інженерно-геологічних розроблені варіанти оправи перегінного тунелю в міцних породах та виконане їх порівняння, з якого випливає те, що найбільш адекватною умовам м. Дніпра (міцні породи при наявності значних водопритоків) є чавунна оправа.

3. Визначено навантаження на оправу перегінного тунелю глибокого закладення, що залягає в міцних породах. Проведений розрахунок оправи перегінного тунелю в міцних породах за методом О. Ю. Бугаєвої.

4. Обґрунтовано параметри міцності конструктивного елементу перегінного тунелю (чавунний тюбінг). Умова міцності чавунного тюбінгу оправи як елементу, що працює в умовах стиснення з вигином, виконана, запас міцності – понад 27 разів.

5. Розроблений проєкт спорудження перегінного тунелю глибокого закладення, що залягає в міцних породах. Виконано спрощений розрахунок паспорту буровибухових робіт. Розроблені положення руйнування, навантаження та транспортування породи, монтажу оправи і її гідроізоляції. 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. ДСТУ Б Д.2.2-29:2012 Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Тунелі та метрополітени (Збірник 29) (ДБН Д.2.2-29-99, MOD) [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. – 271 с.
5. ДБН В.2.3-7-2010. Споруди транспорту. Метрополітени [Текст]. – Київ: ДП «Укравхбудінформ», 2011. – 195 с.
6. Заворицкий, В. И. Проектирование подземных транспортных сооружений [Текст] / В. И. Заворицкий. – Київ: Будівельник, 1975. – 204 с.
7. Кауфман, Л. Л. Строительство тоннелей. Часть I. [Текст] / Л.Л. Кауфман, Н.И. Кулдыркаев, Б.А. Лысиков. – Донецк: Норд-Прес, 2006. – 360 с.
8. Лысиков Б. А. Использование подземного пространства [Текст] / Б.А. Лысиков, А.А. Калюхин. – Донецк: Вебер, 2008. – 416 с.
9. Петренко, В. Д. Методичні вказівки для курсового проектування «Спорудження тунелів щитовим способом» [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, О. Л. Тютюкін, В. П. Купрій; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во «Нова ідеологія», 2010. – 56 с.
10. 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.
11. Петренко, В. И. Современные технологии строительства

метрополитенов в Украине [Текст] / В. И. Петренко, В. Д. Петренко, А. Л. Тюткин. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – 252 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. Тюткин А. Л. Исследование напряженно-деформированного состояния обделки перегонного тоннеля с учетом передвижения щита / Материалы междунар. научн.-техн. конф. «Новые технологии подземного строительства и добычи полезных ископаемых», 11-13 апреля 2008 г., г. Алчевск. – Алчевск: Изд-во ДонГТУ, 2008. – С. 133-139.

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