

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

Факультет «Будівництво, архітектура та інфраструктура»

(назва факультету)

«Транспортна інфраструктура»

(повна назва кафедри)

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи

ОС «бакалавр»

(ступінь вищої освіти)

на тему: Розробка проекту безщитової проходки перегінного тунелю  
Дніпровського метрополітену

за освітньою програмою «Мости і транспортні тунелі»

зі спеціальності: 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: MT22160

(підпис студента)

/ Олександр МІЩУК /

(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)

/ проф. каф. Олег САБЛІН /

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент

(підпис)

Дніпро – 2025 рік

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

Building, architecture and infrastructure

(faculty)

Transport infrastructure

(department)

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

on the topic: Development of a project for the shieldless tunneling  
of the Dnipro Metro  
according to educational curriculum Bridges and vehicular traffic tunnels  
in the Specialization: 192 Building and civil engineering

(Specialization and its code )

Done by the student of the group: MT22160 / Oleksandr MISHCHUK /

(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)

/ Prof. of Dept. Oleh SABLIN /

(position, name, surname)

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

Факультет: «Будівництво, архітектура та інфраструктура»

Кафедра: «Транспортна інфраструктура»

Рівень вищої освіти: «Бакалавр»

Освітня програма: «Мости і транспортні тунелі»

Спеціальність: 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

(шифр та назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

«Транспортна інфраструктура»

\_\_\_\_\_ **Олексій ТЮТЬКІН**  
 (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата \_\_\_\_\_

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу

ОС «бакалавр»  
 (ступінь вищої освіти)

студенту Міщук Олександр Сергійовичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Розробка проєкту безщитової проходки перегінного тунелю Дніпровського метрополітену»

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

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

затверджені наказом від «03» березня 2023 р. № 329ст

2. Строк подання студентом роботи: «16» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Результати аналізу інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов Дніпровського метрополітену, конструкцій перегінного тунелю з різних матеріалів та дані, що отримані під час пошуку в Internet.

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

Вступ. Розділ 1. Аналіз інженерно-геологічних умов будівництва та варіантне проєктування оправи. Розділ 2. Розрахунок оправи перегінного тунелю. Розділ 3. Проєкт безщитової проходки перегінного тунелю Дніпровського метрополітену. Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

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

Лист 1. Інженерно-геологічний розріз. Лист 2 і 3. Варіанти оправи. Лист 3. Проєкт спорудження тунелю (монтаж оправи). Лист 4. Безщитова проходка тунелю. Лист 5. План будівельного майданчика.

## 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	Проф. каф. О. І. Саблін		

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Розділ 1. Аналіз інженерно-геологічних умов будівництва та варіантне проектування оправи. Розділ 2. Розрахунок оправи перегінного тунелю.	28.04.2025 – 04.05.2025	
2	Розділ 3. Проект безщитової проходки перегінного тунелю Дніпровського метрополітену.	19.05.2025 – 25.05.2025	
3	Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Оформлення ВКР.	09.06.2025 – 15.06.2025	
4	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	16.06.2025 – 22.06.2025	
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	23.06.2025	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	24.06.2025 – 29.06.2025	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Олександр МІЩУК

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Олексій ТЮТЬКІН

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:

49 стор., 3 рис., 3 табл., 11 літературних джерел.

**Об'єкт розробки** – перегінний тунель Дніпровського метрополітену.

**Мета роботи** – розробка проекту безщитової проходки перегінного тунелю Дніпровського метрополітену.

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

В випускній роботі проведено аналіз інженерно-геологічних умов будівництва (умови Дніпровського метрополітену). Проведене варіантне проектування перегінного тунелю в міцних породах та виконане техніко-економічне 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 елемента перегінного тунелю (залізобетонний блок).

Розроблений проєкт безщитової проходки перегінного тунелю Дніпровського метрополітену. 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, БЕЗЩИТОВА ПРОХОДКА, БУРОВИБУХОВІ РОБОТИ, ПРОЄКТ СПОРУДЖЕННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 АНАЛІЗ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ БУДІВНИЦТВА ТА ВАРІАНТНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ОПРАВИ.....	9
1.1 Аналіз інженерно-геологічних умов будівництва .....	9
1.2 Варіантне проєктування оправи перегінного тунелю .....	11
1.2.1 Оправа із чавунних тюбінгів.....	12
1.2.2 Оправа із залізобетонних блоків.....	14
1.2.3 Оправа із залізобетонних блоків підвищеної водонепроникності.....	17
1.3 Техніко-економічне порівняння варіантів.....	20
2 РОЗРАХУНОК ОПРАВИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ.....	26
2.1 Визначення навантаження на перегінний тунель .....	26
2.2 Статичний розрахунок оправи.....	26
2.3 Визначення міцності елемента оправи .....	28
3 ПРОЄКТ БЕЗЩИТОВОЇ ПРОХОДКИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ ДНІПРОВСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ .....	29
3.1 Порядок виконання буровибухових робіт .....	29
3.2 Вибір типу вибухової речовини, засобів ініціювання і типу врубу.....	32
3.3 Спрощений розрахунок параметрів буровибухових робіт .....	32
3.4 Розрахунок електровозної відкатки .....	36
3.5 Монтаж оправи .....	38
3.6 Первинне нагнітання.....	39
3.7 Контрольне нагнітання .....	40
3.8 Чеканення швів.....	41
3.9 Циклограма робіт безщитової проходки .....	42
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	44
4.1 Вимоги безпеки під час проходки перегінного тунелю безщитовим методом .....	44
4.2 Буріння шпурів буровими установками .....	45
4.3 Підривання .....	45
4.4 Дії працівників в надзвичайних ситуаціях .....	47
ВИСНОВКИ.....	48
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	49

## ВСТУП

Дві відомі стратегії спорудження перегінного тунелю метрополітену – щитова й безщитова (еректорна) – мають і переваги й недоліки, тому вибір конкретної технології базується на низці факторів. Цими факторами є наявні інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови, наявність або відсутність можливості застосування тунелепрохідницького комплексу, відповідний умовам будівництва стан технології тощо. Для міцних порід, які наявні під час будівництва перегінного тунелю Дніпровського метрополітену вибір стратегії будівництва не є заздалегідь визначеним.

Для спорудження настільки протяжних підземних виробок, якими є перегінні тунелі, щитовий спосіб є дуже привабливим, оскільки довжина пройдених тунелів впливає на вартість одного погонного метру, зменшуючи її. З іншого боку, міцні породи м. Дніпра (плагіограніти різного рівня міцності та тріщинуватості) потребують особливих конфігурацій прохідницького щита, який в механізованому вигляді стає ТБМ – тунельною буровою машиною. Великим недоліком щитової проходки для перегінних тунелів, що залягають в міцних породах є обслуговування щита та щитового комплексу (часта зміна породоруйнуючого інструменту, складність керування щитом, проблеми із утворення пилу, що містить  $\text{SiO}_2$ , тощо).

Безщитова проходка з самого початку має значну перевагу, а саме для її реалізації не потрібен прохідницький щит, що значним чином позитивно впливає на загальну вартість проєкту, який значно дешевший за проєкт щитової проходки. Не викликає сумнівів те, що міцні породи (в м. Дніпрі їхня міцність за проф. Протод'яконовим коливається в межах  $f=4...10$ ) не потребують додаткового кріплення під час реалізації циклів проходки, а саме відсутність прохідницького щита не зменшує загальну ситуацію із безпекою робітників.

Під час реалізації проєкту безщитової проходки перегінного тунелю достатньо блокоукладальника (еректора) для того, щоб успішно виконати усі цикли спорудження. Способом руйнування породи для без щитової проходки

виступає буровибуховий (буропідривний), який має власні специфічні особливості реалізації (підвищену небезпеку під час проведення робіт, вплив вибуху на оточуючий масив та наявну і для щитового способу проблему пилопридушення).

До початку повномасштабної війни росії проти України фахівцями було доведено, що найекономічним є проєкт безщитової проходки перегінного тунелю, який виключає витрати на придбання або орендування прохідницького щита й щитового комплексу. Не торкаючись особливого проєкту турецької фірми «ЛІМАК», що базується на Новоавстрійському способу проходки тунелів, звичайний проєкт безщитової проходки тунелю колового окреслення має економічні та технологічні переваги (застосування відпрацьованої технології буровибухових робіт, використання збірної оправи, достатній рівень гідроізоляції тощо).

Звичайно, що проєкт безщитової проходки перегінного тунелю потребує детальної розробки й обґрунтування технологічних процесів для того, щоб максимально використати потенціал цього способу. Як вже було сказано вище, усестороннє вивчення інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов та варіантне проєктування оправ перегінного тунелю, що базується на результатах такого вивчення, є основою для подальшого розрахунку й розробки проєкту проходки.

Таким чином, зважаючи на відмічені особливості безщитової проходки, завданням випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього рівня «бакалавр» є розробка проєкту безщитової проходки перегінного тунелю з урахуванням умов Дніпровського метрополітену та результатами вже набутого досліду будівництва підземних об'єктів в м. Дніпро.

# 1 АНАЛІЗ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ БУДІВНИЦТВА ТА ВАРІАНТНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ОПРАВИ

## 1.1 Аналіз інженерно-геологічних умов будівництва

Основним завданням інженерно-геологічних вишукувань для обґрунтування проєктування і будівництва метрополітену є комплексне вивчення інженерно-геологічних умов району, що дозволяє правильно й економно запроектувати, побудувати і експлуатувати метрополітен. У результаті вишукувань повинна бути отримана інформація про будову та склад гірського масиву, про гідрогеологічну обстановку [1, 2].

На підставі аналізу матеріалів, отриманих при інженерно-геологічних вишукуваннях, вибирають глибину закладення метрополітену, способи будівництва, типи конструкцій і т. д. Від точності інженерно-геологічних даних залежить безпека людей, що працюють в забої, і збереження міських наземних будівель і комунікацій. Тому до якості вишукувань у метробудування пред'являють особливо високі вимоги.

Дослідженнями повинні бути встановлені наступні основні відомості:

- геологічна будова траси (види і склад гірських порід, характер залягання пластів, їх потужність і тріщинуватість);
- гідрогеологічні умови (наявність водоносних горизонтів, глибина залягання рівнів підземних вод, напрям і швидкість руху підземних вод, характеристика водопроникності порід, очікувані величини водопритоків води у виробки, температура і хімічний склад підземних вод);
- фізико-механічні властивості порід;
- можливість прояву при будівництві негативних процесів.

Вишукування виконують у три етапи. У початковому, підготовчому, періоді збирають, вивчають і узагальнюють фондові та літературні матеріали по району вишукувань і намічають програму робіт. Потім, на другому, польовому, етапі робіт за розробленою програмою ведуть інженерно-геологічну розвідку (буріння розвідувальних свердловин, геофізичні дослідження, проходку

розвідувальних виробок, лабораторні дослідження ґрунтів і підземних вод за зразками, відібраних в процесі буріння свердловин і проходки виробок). На третьому етапі обробляють матеріали розвідки, завершують лабораторні роботи і складають звіт про виконану роботу.

Основним видом геологічної розвідки є буріння вертикальних розвідувальних свердловин з періодичним відбором проб ґрунтів, за якими визначають потужність пластів, їх чергування і міцність. Одночасно визначають водоносність шарів окремо для кожного шару. В процесі буріння свердловини описують ґрунтів та їх характеристику заносять в спеціальний буровий журнал. За даними записів складають геологічні колонки, що представляють собою графічне зображення розрізу свердловини. У геологічних колонках вказують чергування ґрунтів, що були перетнуті при бурінні свердловини, потужність їх пластів і горизонти (рівні) ґрунтових вод. Залежно від складності ґрунтових умов на 1 км траси лінії метрополітену бурять від 15 до 20 свердловин, що розташовуються в шаховому порядку щодо майбутньої осі траси. На підставі геологічних колонок, отриманих за результатами буріння свердловин, розташованих уздовж траси метрополітену, складають геологічний розріз, який представляє графічне зображення геологічних і гідрогеологічних умов, в яких буде вестися будівництво. На основі даних буріння свердловин побудований інженерно-геологічний розріз місцевості і визначені всі необхідні характеристики ґрунтів. Ґрунти даної місцевості залягають шарами.

1 шар. Насипний ґрунт – асфальт, бетон із щебенево-шлаковою підготовкою, суглинок чорний, жовто-бурий від твердої до м'якопластичної консистенції з уламками цегли. Даний шар ґрунту частково природного, частково антропогенного походження, потужність шару до 1 м.

2 шар. Ґрунтово-рослинний шар – супісок чорний твердий. Даний шар представлений невеликою лінзою і залишився внаслідок недбалого очищення території при попередньому надземному будівництві.

3 шар. Суглинок, сірувато-жовтий, зеленувато-сірий, твердий, нерівномірно записочений; супісок сірувато-жовтий твердий і пластичний с шарами

пилуватого піску. Залягає лінзою під попереднім шаром.

4 шар. Пісок кварцовий світло-сірий, світло-жовтий, мілкий із лінзами супіску і різнозернистого піску. Залягає шаром по всій розвідувальній території. Потужність шару від 3 до 5 м.

5 шар. Пісок різнозернистий, водонасичений, із включеннями гравію кристалічних порід вмістом 20...40 % та гніздами глинистого матеріалу. Потужність шару 4...5 м.

6 шар. Глина глауконітова зеленувато-сіра різної ступені записоченості, напівтверда, з лінзами і прошарками піску глауконітового і супіску. Потужність шару 1...2 м.

7 шар. Уламкова зона кори вивітрювання скельних порід, жорстково-щербенисті ґрунти з піщано-глинистим заповненням до 30...40 %, неоднорідні. Даний ґрунт представлений на лівій частині профілю, потужність шару становить приблизно 6...8 метрів.

8 шар. Уламкова зона вивітрювання скельних порід, щебенево-брилові ґрунти із піщано-глинистим заповненням 30...40 %, неоднорідні. Потужність шару 1...3 м.

9 шар. Плагіограніт сірий, зеленувато-сірий, масивний мілко- і середньозернистий, тріщинуватий,  $f=7$ .

Плагіограніт – плутонічна гірська порода кислого складу нормального ряду із сімейства гранітів, складена калієвим польовим шпатом (до 10 %), плагіоклазом N 10...40 (45...65 %), кварцом (25...40 %) і кольоровими мінералами (3...10 %) – біотитом (мусковітом), роговою обманкою. Останній шар вибраний основою для прокладення перегінного тунелю, що по всій висоті знаходиться в одному шарі.

## **1.2 Варіантне проєктування оправи перегінного тунелю**

Внутрішній діаметр перегінних тунелів кругового окреслення приймають рівним 5,1 м. Дозволяється зменшення внутрішнього діаметра облицювання тунелів на 50...100 мм. В такому випадку внутрішнє окреслення оправи

розташовується в допустимих межах лінії габариту, що встановлений для даного виду транспорту.

### **1.2.1 Оправа із чавунних тьобінгів**

Інженерно-геологічні умови м. Дніпра вимагають точних рішень у виборі типу оправи. Значний гідростатичний тиск і велика вивітрілість і тріщинуватість порід є причиною значного водо притоку в тунель. Для високого рівня герметизації тунелю можна вибрати у якості оправи чавунні тьобінги (в даний час при будівництві метрополітену вони також використовуються) [7, 8].

Збірні оправи складаються з окремих елементів заводського виготовлення. Оправи кругового обриси складаються з ряду кілець, зібраних з окремих тьобінгів. Тьобінгом називається елемент з ребристою внутрішньою поверхнею. Грані блоків і тьобінгів, 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).

Тьобінг має два радіальних (поздовжніх) борта, площа яких утворює поздовжні стики (шви) у готовій оправі, а також два кільцевих (поперечних) борти, які в готовій оправі утворюють кільцеві стики (шви). Краї бортів тьобінга, звернені всередину кільця оправи, мають спеціальні виїмки – фальці, які при складанні оправи утворюють так звані карбувальні канавки. Усередині тьобінга, між радіальними і кільцевими бортами, розташовані зміцнюючі перегородки – ребра жорсткості: кільцеве і 2-3 (залежно від конструкції тьобінга) радіальних (вузький ключовою, або замковий, тьобінг радіальних ребер жорсткості не має). Болтові отвори в бортах тьобінга необхідні для з'єднання суміжних тьобінгів в кільце, а кілець – в оправу тунелю. У спинці тьобінга розташовується отвір для нагнітання за оправу спеціальних ущільнюючих і гідроізолюючих розчинів.

Для попереднього визначення товщини бортів тьобінга можна користуватися

емпіричною формулою:

$$h = n \cdot \sqrt[3]{\frac{R_{вн}^2}{f}};$$

де  $R_a = 5,10(\text{м})$  внутрішній радіус оправи;  $f = 7$  – коефіцієнт міцності породи, за класифікацією М.М. Протодьяконова;  $n = 7,5$  – для чавунних тьобінгів;

$$h = 7,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,55^2}{7}} = 7,3 \approx 10 \text{ м};$$

Ширина кільця визначає масу елемента, а отже, і вантажопідйомність механізму для монтажу оправи. Але чим більша ширина кільця, тим менше цей показник і тим менші витрати на будівництво тунелю. При даних розмірах тунелю і даних інженерно-геологічних умовах оптимальною буде ширина оправи 1 м.

При даному поперечному розмірі тунелю оптимально розбити кільце оправи на 7 елементів. Оправа буде складатися із трьох типорозмірів елементів: нормальні, суміжні, замковий.

Центральний кут нормального елемента визначається за формулою:

$$\alpha_i = \frac{360^\circ}{n};$$

$n$  – кількість суміжних і нормальних елементів в оправі.

$$\alpha_i = \frac{360^\circ}{7} = 51,43^\circ \approx 51^\circ;$$

Центральний кут замкового елемента приймаємо рівним  $\alpha_c = 7^\circ$ .

Отже центральний кут суміжного тьобінга буде дорівнювати:

$$\alpha_{\dot{n}} = \frac{360^{\circ} - \alpha_i(n-2) - \alpha_c}{2};$$

$$\alpha_{\dot{n}} = \frac{360^{\circ} - 51^{\circ}(7-2) - 7^{\circ}}{2} = 49^{\circ}.$$

Кільце оправи із чавунних тьобінгів після розбиття на елементи зображено на рис. 1.1.

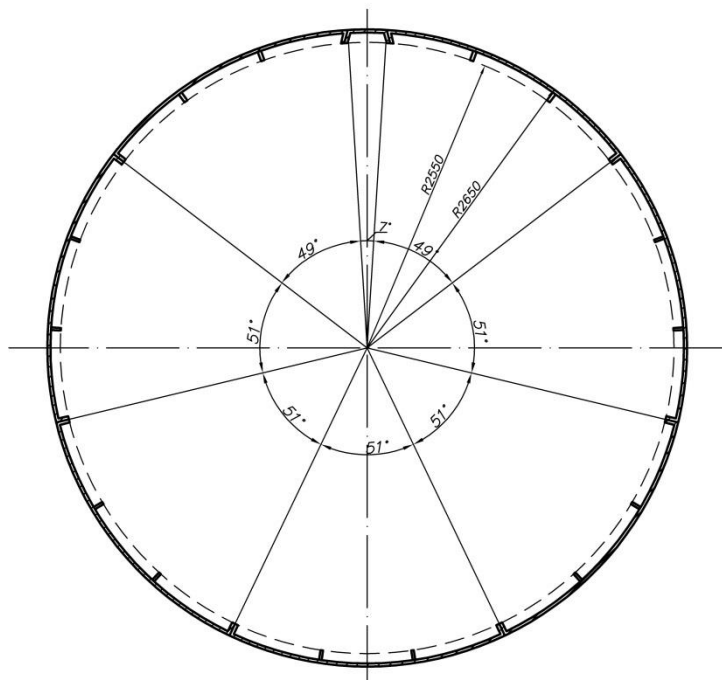


Рисунок 1.1 – Оправа із чавунних тьобінгів

### 1.2.2 Оправа із залізобетонних блоків

Удосконалення збірних кругових тунельних оправ з метою заміни дефіцитного і дорогого чавуну на більш економічно ефективний залізобетон при спорудженні тунелів у відносно сприятливих інженерно-геологічних і гідрогеологічних умовах у світовій практиці тунелебудування почалося з 50-х років минулого сторіччя.

Основними проблемами в заміні чавуну на залізобетон в несучих конструкціях тунелів і метрополітенів виявилися:

- забезпечення довговічності і міцності конструкцій;
- забезпечення водонепроникності тунелів.

Обидві проблеми пов'язані з проблемою підвищення тріщиностійкості збірних оправ, оскільки остання визначає корозію арматури, руйнування і довговічність бетону, а також водопроникність оправи.

Створення водонепроникних залізобетонних оправ на технологічній основі, освоєваних у свій час методів формування виробів з жорстких бетонних сумішей, очікуваного результату не дало. Оправи з гідроізоляційним покриттям, які не мають зчеплення з бетоном (полімерні екрани), зважаючи на різницю коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів екрану і бетону і порівняно низьку міцність екранів на розтяг при низьких температурах опинилися також неприйнятними. При нетріщиностійких блоках і гідроізолюючих покриттях, що адгезовані з бетоном, не виявилось прийняттого за ціною матеріалу для покриття, що має високу розтяжність і не руйнується в місцях розкриття тріщин.

Тільки в міру створення сучасної технології приготування бетонів, розвитку індустріальної бази для виготовлення збірних залізобетонних виробів з дуже малими допусками і використання для герметизації стиків між елементами оправи прокладок з еластомерів, були створені німецькою фірмою «Вайсс унд Фрайтаг», канадською фірмою «Ловат» та ін. Збірні залізобетонні оправи підвищеної водонепроникності, що дозволили перевести залізобетонні оправи кругового обрису в новий, значно вищий клас конструкцій. На різних етапах вдосконалення залізобетонних кругових оправ було розроблено та впроваджено безліч типів конструкцій, частина з яких використовується і в даний час при будівництві тунелів і метрополітенів навіть і в недостатньо сприятливих інженерно-геологічних умовах. Конструкції таких оправ зведені до двох основних типів: оправи із залізобетонних тубінгів і із залізобетонних блоків.

Для попереднього визначення товщини блока можна користуватися емпіричною формулою:

$$h = n \cdot \sqrt[3]{\frac{R_{\text{ен}}^2}{f}};$$

де  $R_a = 5,10(\text{м})$  внутрішній радіус оправи;  $f = 7$  – коефіцієнт міцності породи, за класифікацією М.М. Протодьяконова;  $n = 10$  – для залізобетонних блоків;

$$h = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,55^2}{7}} = 9,8 \approx 15 \text{ см};$$

З умови підвищення водонепроникності тіла блоку товщину було збільшено до 15 см. Ширина кільця визначає масу елемента, а отже, і вантажопідйомність механізму для монтажу оправи. Але чим більша ширина кільця, тим менше цей показник і тим менші витрати на будівництво тунелю. При даних розмірах тунелю і даних інженерно-геологічних умовах оптимальною буде ширина оправи 1 м.

При даному поперечному розмірі тунелю оптимально розбити кільце оправи на 7 елементів. Оправа буде складатися із трьох типорозмірів елементів: нормальні, суміжні, замковий.

Центральний кут нормального елемента визначається за формулою:

$$\alpha_i = \frac{360^\circ}{n};$$

$n$  – кількість суміжних і нормальних елементів в оправі.

$$\alpha_i = \frac{360^\circ}{7} = 51,43^\circ \approx 51^\circ;$$

Центральний кут замкового елемента приймаємо рівним  $\alpha_\zeta = 7^\circ$ .

Отже центральний кут суміжного блоку буде дорівнювати:

$$\alpha_{ii} = \frac{360^\circ - \alpha_i(n-2) - \alpha_\zeta}{2};$$

$$\alpha_{ii} = \frac{360^\circ - 51^\circ(7-2) - 7^\circ}{2} = 49^\circ.$$



діаметром  $D_{\text{вн}} = 5,1$  м. Слід мати на увазі, що застосування універсальних кілець призводить до необхідності використання індивідуальної опалубки для виготовлення кожного блоку, що входить до складу кільця оправи.

У разі дуже складних гідрогеологічних умов, крім того, з внутрішньої сторони бічних поверхонь блоків збережений паз, що утворить після монтажу суміжних елементів чеканочні канавку, що дозволяє у випадку протікання води створювати другий ущільнення шляхом заповнення її герметизуючим складом.

Для підвищення водонепроникності оправи застосовуємо стандартні залізобетонні блоки залізобетонної оправи підвищеної водонепроникності  $D_{\text{вн}} = 5,1$  м. Кільце розглянутої оправи складається з чотирьох типорозмірів блоків: стандартних, суміжного лівого і суміжного правого і клиновидного замкового. Товщина кільця оправи в порівнянні з її прототипом зменшена з 350 мм до 300 мм.

У поздовжніх і поперечних бортах стандартного блоку є отвори для установки зв'язків. По бічних кільцевих поверхонь з одного боку передбачений паз, а з іншого боку гребінь для шпонкового сполучення кілець між собою.

Поздовжні стики між стандартними блоками прийняті плоского типу з анкерними болтами. Клиновидний замковий блок сполучається з суміжним шпонковим стиком, що сприяє фіксації його положення при замиканні кільця вдавлюванням замкового блоку.

Кільцеві стики оправи виконані зі шпильками діаметром 20 мм. Отвори для шпильок розташовані з кільцевих бортах блоків з постійним кроком і забезпечені пластмасовими дюбелями, в які вдавлюються шпильки при монтажі оправи.

Прикріплення важеля блокоукладальника здійснюється за допомогою спеціального отвору із закладною металевою деталлю.

Такий тип оправи поставлений на масове виробництво, тож використовуємо вже готові блоки без визначення товщини елемента. Товщина блоків індустриального виробництва становить 300 мм.

Центральний кут нормального елемента визначається за формулою:

$$\alpha_i = \frac{360^0}{n};$$

$n$  – кількість суміжних і нормальних і лоткових елементів в оправі.

$$\alpha_i = \frac{360^0}{7} = 51,43^0 \approx 51^0;$$

Центральний кут замкового елемента приймаємо рівним  $\alpha_\zeta = 7^0$ .

Отже центральний кут суміжного блоку буде дорівнювати:

$$\alpha_{ii} = \frac{360^0 - \alpha_i(n-2) - \alpha_\zeta}{2};$$

$$\alpha_{ii} = \frac{360^0 - 51^0(7-2) - 7^0}{2} = 49^0.$$

Кільце оправы із залізобетонних блоків після розбиття на елементи зображено на рис. 1.3.

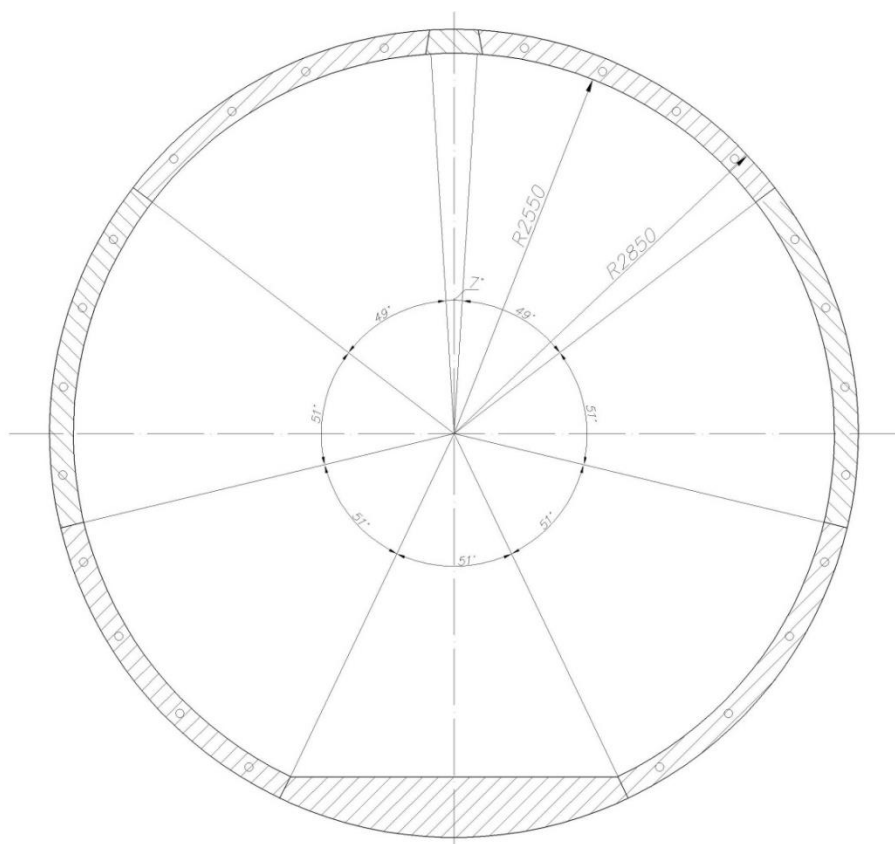


Рисунок 1.3 – Оправа із залізобетонних блоків

### 1.3 Техніко-економічне порівняння варіантів

Оптимальний варіант оправи тунелю вибирається на основі техніко-економічного порівняння [3, 7]. Головним чином порівнюються об'єми робіт та трудовитрати.

#### Варіант 1. Оправа із чавунних тюбінгів

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

$$V\bar{d} = \frac{\pi \cdot D\zeta^2}{4};$$

де  $D\zeta$  – зовнішній діаметр оправи;

$$V\bar{d} = \frac{3,14 \cdot 5,3^2}{4} = 22 \text{ ґ}^3;$$

2. Навантаження породи (на 1 п.м.):

$$Vi = V\bar{d} \cdot E\bar{d};$$

де  $Kp$  – коефіцієнт розрихлення породи,  $E\bar{d} = 2$ .

$$Vi = 22 \cdot 2 = 44 \text{ ґ}^3;$$

3. Монтаж оправи (на 1 п.м.), що відповідає одному кільцю оправи:

$$V\varrho = \lambda \frac{\pi}{4} \cdot (D\zeta^2 - D\hat{a}^2);$$

де  $D\zeta$  – зовнішній діаметр оправи;

$D\hat{a}$  – внутрішній діаметр оправи;  $\lambda$  – внутрішній діаметр оправ коефіцієнт, що враховує наявність порожнин в тілі елемента оправи;

$$V\varrho = 0,7 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (5,3^2 - 5,1^2) = 1,14 \text{ ґ}^3;$$

4. Маса кільця чавунної оправи для визначення маси одного елемента і подальшого використання в статичному розрахунку можна визначити за формулою:

$$G_\varrho = \gamma \cdot V\varrho \cdot l;$$

$$G_\varrho = 72 \cdot 1,14 \cdot 1 = 82 \text{ ґ}^1 ;$$

Отже вага одного нормального тюбінга складає:

$$G_i = \frac{G_e}{360} \cdot \alpha_i$$

$$G_i = \frac{82}{360} \cdot 51 = 11,6\dot{\ell} = 1,16\dot{\eta}.$$

5. Нагнітання за оправу (на 1 п.м.):

$$S_{\varrho} = L_{\varrho} \cdot 1 = \pi \cdot D_{\varrho} \cdot 1 = \pi \cdot D_{\varrho} \cdot 1;$$

де  $L_{\varrho}$  – довжина дуги кільця по зовнішньому діаметру;

$$S_{\varrho} = 3,14 \cdot 5,3 \cdot 1 = 16,6\dot{\ell}^2;$$

6. Чеканка швів (на 1 п.м.):

$$L_{\dot{\eta}} = L_{\varrho} + n \cdot 1 = \pi \cdot D_{\hat{a}} + n \cdot 1;$$

де  $L_{\varrho}$  – довжина дуги оправу по зовнішньому діаметру;

$n$  – кількість поздовжніх швів в оправі;

$$L_{\dot{\eta}} = 3,14 \cdot 5,1 + 8 \cdot 1 = 24\dot{\ell};$$

Для розрахунку трудовитрат необхідно скористуватися ресурсними елементними кошторисними нормами. Дані розрахунку занесені в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Розрахунок трудовитрат варіанту № 1

№ п/п	Найменування робіт	Шифр	Один. виміру	Об'єм робіт	Труд. на один.	Труд. на об'єм
1	Розробка породи	29-62-2	м <sup>3</sup>	22	2,34	51,48
2	Навантаження породи	29-94-1	м <sup>3</sup>	44	0,41	18,04
3	Монтаж оправу	29-130-1	т	8,2	4,42	36,24
4	Нагнітання	29-139-3	м <sup>2</sup>	16,6	1,88	31,21
5	Чеканка швів	29-145-8	м	24	1,07	25,68
Всього						162,35

## Варіант 2. Оправа із залізобетонних блоків

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

$$V_d = \frac{\pi \cdot D_z^2}{4};$$

де  $D_z$  – зовнішній діаметр оправи;

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 5,4^2}{4} = 22,9 \text{ м}^3;$$

2. Навантаження породи (на 1 п.м.):

$$V_i = V_d \cdot E_d;$$

де  $K_p$  – коефіцієнт розривлення породи,  $E_d = 2$ .

$$V_i = 22,9 \cdot 2 = 45,8 \text{ м}^3;$$

3. Монтаж оправи (на 1 п.м.), що відповідає одному кільцю оправи:

$$V_\varphi = \lambda \frac{\pi}{4} \cdot (D_z^2 - D_a^2);$$

де  $D_z$  – зовнішній діаметр оправи;

$D_a$  – внутрішній діаметр оправи;

$\lambda$  – внутрішній діаметр оправ коефіцієнт, що враховує наявність порожнин в тілі елемента оправи;

$$V_\varphi = 0,7 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (5,4^2 - 5,1^2) = 1,73 \text{ м}^3;$$

4. Вагу кільця залізобетонної оправи для визначення маси одного елемента і подальшого використання в статичному розрахунку можна визначити за формулою:

$$G_\varphi = \gamma \cdot V_\varphi \cdot l;$$

$$G_\varphi = 25 \cdot 1,73 \cdot 1 = 43,25 \text{ кН};$$

Отже вага одного нормального блоку складає:

$$G_i = \frac{G_\varphi}{360} \cdot \alpha_i$$

$$G_i = \frac{43,25}{360} \cdot 51 = 6,13 \text{ кН} = 0,613 \text{ т}.$$

5. Нагнітання за оправу (на 1 п.м.):

$$S_{\varrho} = L_{\varrho} \cdot 1 = \pi \cdot D_{\varrho} \cdot 1 = \pi \cdot D_{\varrho} \cdot 1;$$

де  $L_{\varrho}$  – довжина дуги кільця по зовнішньому діаметру;

$$S_{\varrho} = 3,14 \cdot 5,4 \cdot 1 = 16,96 \text{ ґ}^2;$$

6. Чеканка швів (на 1 п.м.):

$$L_{\div \check{r}} = L_{\varrho} + n \cdot 1 = \pi \cdot D_{\hat{a}} + n \cdot 1;$$

де  $L_{\varrho}$  – довжина дуги оправи по зовнішньому діаметру;

$n$  – кількість поздовжніх швів в оправі;

$$L_{\div \check{r}} = 3,14 \cdot 5,1 + 8 \cdot 1 = 24 \text{ ґ};$$

Для розрахунку трудовитрат необхідно скористуватися ресурсними елементними кошторисними нормами. Дані розрахунку занесені в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Розрахунок трудовитрат варіанту № 2

№ п/п	Найменування робіт	Шифр	Один. виміру	Об'єм робіт	Труд. на один.	Труд. на об'єм
1	Розробка породи	29-62-2	м <sup>3</sup>	22,9	2,34	53,59
2	Навантаження породи	29-94-1	м <sup>3</sup>	45,8	0,41	18,78
3	Монтаж оправи	29-126-4	м <sup>3</sup>	1,73	5,15	8,9
4	Нагнітання	29-139-3	м <sup>2</sup>	16,96	1,88	31,89
5	Чеканка швів	29-145-11	м	24	1,00	24
Всього						137,16

### Варіант 3. Оправа із залізобетонних блоків підвищеної водонепроникності

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

$$V_{\check{d}} = \frac{\pi \cdot D_{\varrho}^2}{4};$$

де  $D_{\varrho}$  – зовнішній діаметр оправи;

$$V\bar{d} = \frac{3,14 \cdot 5,7^2}{4} = 25,5 \text{ ґ}^3;$$

2. Навантаження породи (на 1 п.м.):

$$V_i = V\bar{d} \cdot E\bar{d};$$

де  $K_p$  – коефіцієнт розрихлення породи,  $E\bar{d} = 2$ .

$$V_i = 25,5 \cdot 2 = 51 \text{ ґ}^3;$$

3. Монтаж оправи (на 1 п.м.), що відповідає одному кільцю оправи:

$$V_\varrho = \lambda \frac{\pi}{4} \cdot (D_\zeta^2 - D\hat{a}^2);$$

де  $D_\zeta$  – зовнішній діаметр оправи;

$D\hat{a}$  – внутрішній діаметр оправи;

$\lambda$  – внутрішній діаметр оправ коефіцієнт, що враховує наявність порожнин в тілі елементу оправи;

$$V_\varrho = 0,7 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (5,7^2 - 5,1^2) = 3,56 \text{ ґ}^3;$$

4. Вагу кільця залізобетонної оправи для визначення маси одного елемента і подальшого використання в статичному розрахунку можна визначити за формулою:

$$G_\varrho = \gamma \cdot V_\varrho \cdot l;$$

$$G_\varrho = 25 \cdot 3,56 \cdot 1 = 89 \text{ ґ} \text{ ґ} ;$$

Отже вага одного нормального блоку складає:

$$G_i = \frac{G_\varrho}{360} \cdot \alpha_i$$

$$G_i = \frac{89}{360} \cdot 51 = 12,8 \text{ ґ} \text{ ґ} = 1,28 \text{ ґ} .$$

5. Нагнітання за оправу (на 1 п.м.):

$$S_\varrho = L_\varrho \cdot 1 = \pi \cdot D_\zeta \cdot 1 = \pi \cdot D_\zeta \cdot 1;$$

де  $L_\varrho$  – довжина дуги кільця по зовнішньому діаметру;

$$S_\varrho = 3,14 \cdot 5,7 \cdot 1 = 17,9 \text{ ґ}^2;$$

6. Чеканка швів (на 1 п.м.):

$$L_{\div \check{r}} = L_{\check{e}} + n \cdot 1 = \pi \cdot D\hat{a} + n \cdot 1;$$

де  $L_k$  – довжина дуги оправи по зовнішньому діаметру;

$n$  – кількість поздовжніх швів в оправі;

$$L_{\div \check{r}} = 3,14 \cdot 5,1 + 8 \cdot 1 = 24 \check{e};$$

Для розрахунку трудовитрат необхідно скористуватися ресурсними елементними кошторисними нормами. Дані розрахунку занесені в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Розрахунок трудовитрат варіанту № 3

№ п/п	Найменування робіт	Шифр	Один. виміру	Об'єм робіт	Труд. на один.	Труд. на об'єм
1	Розробка породи	29-62-2	м <sup>3</sup>	25,5	2,34	59,67
2	Навантаження породи	29-94-1	м <sup>3</sup>	51	0,41	20,91
3	Монтаж оправи	29-126-4	м <sup>3</sup>	3,56	5,15	18,33
4	Нагнітання	29-139-3	м <sup>2</sup>	17,9	1,88	33,65
5	Чеканка швів	29-145-11	м	24	1,00	24
Всього						156,56

На основі порівняння матеріалів та трудовитрат більш економічним виявився варіант оправи із залізобетонних блоків. Цей варіант і приймається для подальшого розрахунку.

## 2 РОЗРАХУНОК ОПРАВИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ

### 2.1 Визначення навантаження на перегінний тунель

В скельних породах величину вертикального гірського тиску можна визначати за формулою проф. М. М. Протод'яконова [4, 11]:

$$q_B^H = \gamma h_1 = 24 \cdot 0,6 = 14,4 \text{кН} / \text{м}^2,$$

$$h_1 = \frac{L}{2f} = \frac{6,9}{2 \cdot 6} = 0,6 \text{м},$$

$$L = D_{3H} + 2D_{3H} \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{\bar{\Phi}}{2} \right) = 5,5 + 2 \cdot 5,5 \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{75^\circ}{2} \right) = 6,9 \text{м},$$

$f$  – коефіцієнт міцності породи;  $h_1$  і  $L$  – висота і ширина склепіння обвалення за проф. М. М. Протод'яконовим.

Відповідно до вимог ДБН у розрахунку оправи за несучою здатністю величину розрахункових навантажень визначають шляхом множення нормативних навантажень на коефіцієнт перевантаження  $n$ :

$$q_B^P = n q_B^H = 1,5 \cdot 14,4 = 21,6 \text{кН} / \text{м}^2.$$

Горизонтальний тиск у міцних породах потрібно розглядати як пасивний – у вигляді пружного відпору.

### 2.2 Статичний розрахунок оправи

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 [10, 11].

Розрахунок за методом О. Ю. Бугаєвої проведено за допомогою файлу Excel for Windows – MOUB.xls [11], який розміщений у каталозі розрахункових

програм TONNEL.

Розрахунок оправи методом О.Ю. Бугаєвої				
Тип тунелю		Олександр Міщук		
Введіть глибину закладення, м	$H$	50		
Введіть висоту води, м	$H_e$	5		
Введіть питому вагу ґрунту, кН/м <sup>3</sup>	$\gamma$	24		
Введіть внутрішній радіус оправи, м	$R_{вн}$	2,55		
Введіть зовнішній радіус оправи, м	$R_{зн}$	2,7		
Введіть розрахункове значення вертикального тиску, кН/м <sup>2</sup>	$q_e^p$	21,6		
Введіть розрахункове значення власної ваги оправи, кН/м <sup>2</sup>	$p^p$	11,1		
Значення середнього радіусу оправи, м	$r$	2,625		
Введіть значення коефіцієнту	$m$	0,94	Розрахункова схема	
Введіть значення коефіцієнту	$n$	15,6	методу О.Ю. Бугаєвої	
Введіть значення коефіцієнту пружного відпору, кН/м <sup>3</sup>	$k$	800000		
<b>Розрахунок згинальних моментів, кН·м</b>				
<b>Момент, M</b>				
	$p^p$	$q_e^p$	$q_e$	Сумарний
	Від	Від	Від	
Кут нахилу				
0	0,1386	4,3453	-0,2426	4,2
45	-0,6312	-3,6622	0,7390	-3,6
90	0,8478	1,0989	-1,0494	0,9
135	-1,7628	0,7897	2,1383	1,2
180	2,4307	-1,3076	-2,9849	-1,9
<b>Розрахунок нормальних сил, кН</b>				
<b>Нормальна сила N</b>				
	$p^p$	$q_e^p$	$q_e$	Сумарна
	Від	Від	Від	
Кут нахилу				
0	25,1064	36,3224	126,6	188,0
45	31,0202	54,8453	126,2	212,1
90	53,9692	68,4687	126,9	249,3
135	75,0850	68,6218	125,7	269,4
180	82,4900	69,4385	127,6	279,5

### 2.3 Визначення міцності елементу оправи

Визначення міцності елементу оправи (залізобетонного блоку) виконана за допомогою програми.

Розрахунок прямокутного залізобетонного перерізу (блоку) на міцність			
Геометричні характеристики блоку		Силкові фактори в блоці	
Введіть ширину блока $b$ , м	1	Введіть нормальну силу $N$ , кН	188
Введіть висоту блока $h$ , м	0,3	Введіть згинальний момент $M$ , кНм	4,2
Площа поперечного перерізу $Ab$ , м <sup>2</sup>	0,3	Ексцентриситет $e_0$ , м	0,02
Введіть діаметр арматури $d_{ст}$ , м	0,024	Розрахунковий опір бетону $R_b$ , кН/м <sup>2</sup>	17000
Введіть коефіцієнт армування $m_i$	0,01	Розрахунковий опір арматури $R_s$ , кН/м <sup>2</sup>	280000
Попередня площа арматури $A_s$ , м <sup>2</sup>	0,003	Ширина стиснутої зони бетону $x$ , м	0,011
Площа стержня арматури	0,0004 52	Повний ексцентриситет $e$ , м	0,13
Кількість стержнів арматури $n$ , штук	6,6		
Введіть $n$ округлене до цілого парного	8		
Фактична площа арматури $A_s$ , м <sup>2</sup>	0,0036	Ліва частина рівняння	24,5
Площа розтягнутої арматури, м <sup>2</sup>	0,0018	Перша права частина рівняння (бетон)	47,5
Площа стиснутої арматури, м <sup>2</sup>	0,0018	Друга права частина рівняння (арматура)	109,4
Введіть товщину захисного шару, м	0,03	Права частина рівняння	156,9
Висота перерізу до верхньої фібри $h_0$ , м	0,258	Запас міцності $N$	6,4
Сумарна відстань $a=a'$ , м	0,042	<b>ВИСНОВОК:</b>	Виконується

Проведений розрахунок свідчить про те, що залізобетонний блок витримує навантаження і має запас міцності 6,4 рази.

## **3 ПРОЄКТ БЕЗЩИТОВОЇ ПРОХОДКИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ ДНІПРОВСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ**

### **3.1 Порядок виконання буровибухових робіт**

Всі операції, при виконанні вибухових робіт (заряджання і забійка шпурів, монтаж вибухової мережі, підривання і перевірка його результатів, ліквідація «відмов» (зарядів, що не підірвалися) виконують тільки фахівці-підривники.

Зменшити перебори породи при підриванні дозволяє метод гладкого, або контурного підривання, при якому заряди контурних шпурів розташовують розосередженими по довжині шпуру, поміщають між патронами ВР дерев'яні прокладки певної довжини або закріплюють патрони на дерев'яній планці через певні інтервали.

Розмітка і буріння шпурів. Прохідницький цикл починається, як правило, з розмітки в забої місць розташування шпурів, що виконується у відповідності зі схемою в паспорті буровибухових робіт.

До початку розмітки і буріння шпурів забій підземної виробки оглядають і приводять в безпечний стан шляхом ретельної обірки та простукування за допомогою спеціального обірника (довгого лома). Породу, що видає при простукуванні характерний глухий звук, і породу, що має видимі заколи, відбивають і видаляють. Видаляють також шматки породи, навислі або закинуті вибухом на оправу або прохідницьке обладнання.

Забій перевіряється також підривником на відсутність зарядів, що не вибухнули («відмов») і залишків ВР в «стаканах» (збереглися після підривання донних частин шпурів). Категорично забороняється розбурювати «стакани», оскільки у них можуть бути залишки ВР. При виявленні в забої «відмови» – зарядів, що не вибухнули – прохідник повинен повідомити про це особу технічного нагляду і припинити роботу в забої. Роботу з ліквідації зарядів, що не вибухнули може виконувати тільки підривник, прохідникові це категорично забороняється. Ліквідацію відмов шпурових зарядів підривник виконує підриванням зарядів у допоміжних шпурах, пробурених паралельно не

підірваним на певній відстані. Усі роботи з ліквідації відмови виконуються у присутності особи технічного нагляду за його вказівкою.

До установки кріплення лоба забою проводять розмітку і буріння шпурів для подальшої заходки. Для забезпечення необхідного ефекту підривання і правильного оконтурювання виробки перед бурінням необхідно особливо ретельно виконувати розмітку шпурів у забої, особливо врубових та контурних. При розмітці шпурів використовують механічні (шаблони, рулетки тощо) і оптичні (проекційні) пристрої. Розмітку і буріння верхніх шпурів ведуть з висувних майданчиків – риштування укладальника оправи або самохідних пересувних риштувань, які мають міцне огороження. З цих же пристосувань виконують оборку і кріплення забою, заряджання і забійку шпурів, монтаж і чекання тунельної оправи. По закінченні розмітки прохідники приступають до обурювання забою за допомогою перфораторів або свердел. 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 буровибухових робіт змінний інженер, гірничий майстер або підривник.

При кожному черговому обурюванні забою, що виконується після закінчення попереднього циклу буровибухових робіт, нові шпури розташовують з невеликим зсувом по відношенню до шпурів попередньої заходки, щоб виключити потрапляння бурового інструменту в «стакани».

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-підривника. ВР переносять в заводській упаковці в справних сумках або касетах. При цьому вибухові речовини і засоби ініціювання поміщають в окремі сумки (касети). Детонатори і бойовики переносять тільки підривники.

При доставці ВМ електровозом попереду і ззаду складу розміщують

розпізнавальні знаки.

При спуску ВР в кліті або в цебрі допускається одночасно знаходитися тільки підривному і підносчику.

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

Бурову установку, породонавантажувальні машину і т. д. видаляють від забою на безпечну відстань. Окремі елементи укладальника тунельної оправи захищають спеціальними пристосуваннями (стулками, захисними решітками) від ударів породи, що розлітається під час вибуху.

При заряджанні шпурів для проштовхування патронів ВР і ущільнення набійки допускається застосовувати забійники з дерева або інших матеріалів, що не дають іскри.

Роботи по заряджанню на висоті більше 1,5 м ведуть тільки з полків або з висувних майданчиків укладальників оправи.

Після обурювання забою зарядну машину і ВР доставляють у забій. У забої пневмозарядник оглядають, підключають до магістралі стиснутого повітря, перевіряють його роботу на холостому ході, продувають зарядну трубку, виконують заземлення зарядника. Переконавшись у справності пневмозарядника, заповнюють його вибуховою речовиною, вводять в шпур зарядну трубку і за допомогою стиснутого повітря подають необхідну кількість ВР. По закінченні заряджання всіх шпурів пневмозарядники продувають стисненим повітрям, видаляючи залишки ВР, промивають водою, відключають від мережі стисненого повітря і прибирають із забою.

З метою підвищення безпеки вибухових робіт і ефекту вибуху, а також запобігання викиду ВР зі шпурів застосовують забійку – матеріал, яким забивають не зайняту зарядом частину шпуру. Без забійки газу, що утворюється при вибуху, вириваються зі шпуру в атмосферу виробки, не виконавши корисної роботи з руйнування масиву породи. Довжина забійки

повинна бути не менше  $1/3$  загальної довжини шпуру.

В якості матеріалу забійки застосовують пісок, глину, воду. Кращим матеріалом для набійки 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. Найкращі техніко-економічні показники забезпечує водяна забійка (гідрозабійки) з пластикових ампул, заповнених водою. Циліндрична ампула з поліетилену на одному кінці має пелюстковий зворотний клапан для утримання води, другий кінець ампули запаяний. При підриванні ВР ампули лопаються, вода зрошує підірвану породу і частково зменшує шкідливу дію газів і пилоутворення.

### **3.2 Вибір типу вибухової речовини, засобів ініціювання і типу врубу**

В практиці існують два основні методи вибухових робіт: звичайне руйнування і контурне руйнування. Ці методи відрізняються кількістю і розташуванням шпурів, масою і конструкцією шпурових зарядів, типами вибухових речовин і засобів ініціювання.

Для міцності ґрунтів  $f=7$  можна використовувати такі вибухові речовини: амонал №3, амоніт скельний тощо [5, 9]. При проходці підземних виробок заряди в залежності від призначення поділяються на врубові, відбійні та контурні. Відповідно до даних: міцності ґрунту  $f=7$  та площі виробки  $22,9 \text{ м}^2$  необхідно застосовувати клиновий вруб. Клиновий вруб складатиметься з чотирьох шпурів, на відстані приблизно 45 см один від одного та куті нахилу 68 градусів до поверхні забою.

### **3.3 Спрощений розрахунок параметрів буровибухових робіт**

Визначаємо глибину заходки [5, 9]. При площі виробки  $22,9 \text{ м}^2$  та міцності ґрунту  $f=7$  необхідна глибина заходки повинна становити  $l_{\text{зак}} = 3 \text{ м}$ . Коефіцієнт використання шпуру  $n = 0,85$  при врубовому та відбійному вибуху. Визначення глибини комплексу відбійних шпурів:

$$l_f = \frac{l_{\sigma\delta}}{n};$$

де  $n = 0,85$  – коефіцієнт використання шпурів;

$$l_f = \frac{3,0}{0,85} = 3,53 \text{ м}$$

Тип врубу – клиновий, 4 врубових шпури, кут нахилу до забою –  $68^0$ . Тип вибухової речовини: детоніт. Патрони діаметром 36 мм, масою 250 грамів.

Визначаємо масу вибухових речовин, що припадає на 1 м шпуру з урахуванням ступеня заповнення:

для вибухових речовин у патронах

$$q_1 = \frac{\gamma \cdot K_z \cdot \Psi}{l_d};$$

$K_z$  – коефіцієнт заповнення шпуру,  $K_z = 0,7$ ;  $\Psi$  – коефіцієнт впливу ущільнення заряджання,  $\Psi = 1,1$ ;  $\gamma$  – маса, кг;  $l_n$  – довжина патрона;

$$q_1 = \frac{0,25 \cdot 0,7 \cdot 1,1}{0,25} = 0,77 \text{ кг / м}$$

Визначення питомих витрат вибухових речовин за формулою ЦНІДСУ:

$$q = (0,3\sqrt{f} + \frac{2}{\sqrt{S}}) c e \psi \omega \mu$$

$c$  – коефіцієнт, який враховує вплив діаметра заряду;  $e$  – коефіцієнт еквівалентних зарядів;  $\psi$  – коефіцієнт щільності заряджання;  $\omega$  – коефіцієнт, який враховує структуру і тріщинуватість порід;  $\mu = 1$  для виробок площею до  $60 \text{ м}^2$ ;

$$q = (0,3\sqrt{7} + \frac{2}{\sqrt{22,9}}) 1 \cdot 0,8 \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 1 = 1,23 \text{ г / м}^3$$

9. Визначаємо загальну кількість шпурів

$$N = N_{ep} + N_{від} + N_{\kappa},$$

де  $N_{ep} = 4um$  – кількість врубових шпурів;  $N_{від}$  – кількість відбійних шпурів;  $N_{\kappa}$  – кількість контурних шпурів;

Кількість відбійних шпурів визначається за емпіричною формулою професора Г. І. Покровського:

$$N_{\text{ад}} = \frac{12,7qS'}{d^2 K_3 \Delta K_{\Delta}} + \sqrt{S'} - N_{\text{ад}};$$

де  $q$  – питомі витрати вибухової речовини;  $\Delta$  – питома вага заряджання вибухових речовин;  $K_{\Delta}$  – коефіцієнт ущільнення зарядів;  $K_3$  – коефіцієнт заповнення шпуру;  $S'$  – частина виробки без площі, що підривається контурними шпурами;  $S_{\epsilon}$  – площа частини виробки, що підривається контурними шпурами;

$$S_{\kappa} = (N_{\kappa} - 1) \cdot a_{\kappa} \cdot \left(\frac{a_{\kappa}}{m} + 0,1\right),$$

$a_{\epsilon}$  – відстань між контурними шпурами;  $m$  – коефіцієнт зближення зарядів;

Кількість контурних шпурів визначається із виразу:

$$N_{\epsilon} = \frac{D_{\epsilon}}{r_{\epsilon}}$$

Периметр розташування контурних зарядів визначається довжиною кола за 10 см від проектної виробки, тобто:

$$D_{\epsilon} = 2 \cdot \pi (R_{\epsilon} - 0,1)^2;$$

$$D_{\epsilon} = 2 \cdot \pi (2,7 - 0,1) = 16,33 \text{ м};$$

тоді кількість контурних шпурів становить

$$N_{\epsilon} = \frac{16,33}{0,4} = 37 \text{ шт.}$$

Площа частини виробки, що підривається контурними шпурами:

$$S_{\epsilon} = (41 - 1) \cdot 0,4 \cdot \left(\frac{0,4}{0,9} + 0,1\right) = 8,7 \text{ м}^2;$$

Площа забою, що підривається врубовими і відбійними шпурами становить:

$$S' = 22,9 - 8,7 = 14,2 \text{ м}^2.$$

Тоді кількість відбійних шпурів:

$$N_{\text{ад}} = \frac{12,7 \cdot 1,23 \cdot 14,2}{3,6^2 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 1,1} + \sqrt{14,2} - 4 = 23 \text{ шт.}$$

Всього шпурів:

$$N = 4 + 23 + 37 = 64 \text{ шт.}$$

Масу контурного заряду визначають за формулою:

$$q_K = l_K \cdot K_K$$

$l_K$  – довжина контурного шпура;  $K_K$  – маса заряду на 1 п. м.;

$$q_K = 3,53 \cdot 0,3 = 1,06 \text{ г/м}$$

Маса всіх контурних зарядів:

$$Q_K = q_K \cdot N_K;$$

$$Q_K = 1,06 \cdot 41 = 43,5 \text{ г}$$

Кількість ВР на цикл:

$$Q = q \cdot S \cdot l_{\text{фр}};$$

$$Q = 1,23 \cdot 22,9 \cdot 3,53 = 99,43 \text{ г}$$

Середня маса заряду решти шпурів:

$$q_{\text{решт}} = \frac{Q - Q_e}{N - N_e};$$

$$q_{\text{решт}} = \frac{99,4 - 43,5}{65 - 41} = 2,33 \text{ г/решт}$$

Маса врубових зарядів повинна бути на 15...20 % більша за середню масу заряду:

$$q_{\text{вд}} = 1,2 \cdot 2,33 = 2,8 \text{ г/решт}$$

Маса врубових зарядів:

$$Q_{\text{вд}} = q_{\text{вд}} \cdot N_{\text{вд}};$$

$$Q_{\text{вд}} = 2,8 \cdot 4 = 11,2 \text{ г}$$

Маса відбійних зарядів:

$$Q_{\text{в}} = q_{\text{в}} \cdot N_{\text{в}};$$

$$Q_{\text{в}} = 2,33 \cdot 20 = 46,6 \text{ г}$$

Загальна уточнена маса на цикл:

$$Q_{\text{о}} = Q_e + Q_{\text{вд}} + Q_{\text{в}};$$

$$Q_{\text{о}} = 46,6 + 11,2 + 46,5 = 104,3 \text{ г}$$

### 3.4 Розрахунок електровозної відкатки

Тунельний транспорт служить для перевезення розробленої породи із забою у відвал, для доставки матеріалів і устаткування до місця виробництва будівельно-монтажних робіт [11]. При веденні гірничих робіт безперебійність роботи транспорту особливо важлива, оскільки в гірничій виробці немає місця для тимчасового складування матеріалів і гірської маси.

При будівництві метрополітенів в якості локомотивів найчастіше використовують контактні електровози, які отримують електроенергію від повітряного, підвішеного на висоті не менше 2,2 м контактного проводу. Рідше застосовують акумуляторні електровози, які отримують електроенергію від розміщеної на електровозі акумуляторної батареї, або дізелевози – локомотиви з двигуном внутрішнього згоряння.

Для розрахунку електровозної відкатки обираємо контактний електровоз К-7 із силою тяги  $F_T = 1700$  кг. Загальна маса електровозу  $P_c = 7$  т. Ширина колії 750 мм. Також обираємо вагонетку ВКГ – 200 з кузовом ємністю 2,0 м<sup>3</sup>. Вага порожньої вагонетки  $G_0 = 2,2$  т.

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

$$z_{\text{в}}^{\text{зп}}(G + G_0) \leq \frac{1000F_T}{\omega_{\text{зп}} + \omega_i + 110a_{\text{зп}}} - P_c,$$

де  $z_{\text{в}}^{\text{зп}}$  – кількість вагонеток із умови зрушення;  $G$  – маса породи у вагонетці;  $G_0 = 2,2$  т – маса порожньої вагонетки;  $F_T = 1,7$  т – сила тяги електровозу;  $\omega_{\text{зп}}$  – опір зрушення вагонеток з місця  $\omega_{\text{зп}} = 12$  кг/т;  $\omega_i$  – опір ухилу перегінного тунелю  $\omega_i = i = 3\text{‰}$ ;  $a_{\text{зп}}$  – опір руху потягу із ґрунтом при зрушенні з місця  $a_{\text{зп}} = 0,04$  м/с<sup>2</sup>;  $P_c = 7$  т – загальна вага електровозу.

Маса породи у вагонетці розраховується в залежності від об'єму вагонетки:

$$G = 0,9 \cdot \frac{V_{\text{в}} \cdot \gamma}{k_p};$$

де  $V_{\text{в}}$  – об'єм вагонетки; де  $\gamma$  – питома вага породи; де  $k_p$  – коефіцієнт роз

рихлення породи;

$$G = 0,9 \cdot \frac{2 \cdot 2,5}{2} = 2,25 \text{ т.}$$

Тоді кількість вагонеток із умови зрушення становить:

$$z_{\hat{a}}^{cd} = \left[ \frac{1000 \cdot 1,7}{12 + 3 + 110 \cdot 0,04} - 7 \right] \div (2,25 + 2,2) = 18,1 \approx 18 \text{ шт.}$$

приймаємо  $z_{\text{в}}^{3\text{п}} = 18$  шт.

2. Визначаємо кількість вагонеток, яку може зупинити електровоз з умови руху вниз та гальмування:

$$z_{\hat{a}}^{\tilde{a}\tilde{i}} (G + G_o) \leq \frac{F_{\tilde{O}}'}{110 \hat{a}_{\tilde{a}\tilde{i}} + \omega_i - \omega_{\tilde{a}\tilde{i}}} - P_c;$$

де  $\hat{a}_{\tilde{a}\tilde{i}}$  – коефіцієнт опору при умові руху вниз ( $\hat{a}_{\tilde{a}\tilde{i}} = 0,39 \text{ м/с}^2$ , тобто при екстремому гальмуванні максимальний шлях потягу дорівнює 10 м при швидкості руху 10 км/год);  $\omega_{\tilde{a}\tilde{i}}$  – опір руху потягу із ґрунтом при умові руху вниз  $\omega_{\tilde{a}\tilde{i}} = 8 \text{ кг/т}$ ;  $F_{\tilde{N}}'$  – скоригована сила тяги електровоза;

$$F_{\tilde{N}}' = 1000 \cdot \psi \cdot P_c$$

$\psi = 0,24$  – коефіцієнт зчеплення ведучих коліс із рейками;

$$F_{\tilde{N}}' = 1000 \cdot 0,24 \cdot 7 = 1680 \text{ еф.}$$

Кількість вагонеток із умови руху вниз становить:

$$z_{\hat{a}}^{\tilde{a}\tilde{e}} = \left[ \frac{1680}{110 \cdot 0,39 + 3 - 8} - 7 \right] \div (2,25 + 2,2) = 8,38 \approx 8 \text{ шт.}$$

Остаточно вибираємо меншу кількість вагонеток, тобто  $z = 8 \text{ шт.}$

3. Тривалість рейсу  $T_{\delta}$  складається із тривалості руху потягу  $T_{\delta\acute{o}\delta\acute{o}}$  та тривалості маневрів  $T_i$  на протязі рейсу ( $T_i$  приймається рівним 0,3 години):

$$T_{\delta} = T_{\delta\acute{o}\delta\acute{o}} + T_i, \text{ год.}$$

тривалість руху потягу  $T_{\delta\acute{o}\delta\acute{o}}$  визначається як:

$$T_{\delta\acute{o}\delta\acute{o}} = \frac{2L}{0,75V}, \text{ год.}$$

де  $L$  – довжина відкатки в км,  $L = 0,75$  км;  $V$  – швидкість руху складу в км/год,  $V = 10$  км/год із умови безпеки руху в підземних умовах.

Отже тривалість руху складає:

$$T_{\text{до́в}} = \frac{2 \cdot 0,75}{0,75 \cdot 10} = 0,2 \text{ год.}$$

Тоді тривалість рейсу складає:

$$T_d = 0,2 + 0,3 = 0,5 \text{ год} = 30 \text{ хв.}$$

Необхідна кількість електровозів становить:

$$N = \frac{1,5 \cdot 10}{6} = 2,5 \approx 3$$

Остаточно за розрахунком приймає кількість електровозів, рівною 3.

### 3.5 Монтаж оправи

Для механізації процесу складання кілець тунельної оправи застосовують укладальники оправи [7, 8]. Багато типів укладальників представляють собою металеву рамну конструкцію порталного типу, оснащену засобами пересування вздовж споруджуваного тунелю і збірки кільця оправи. Такі укладальники працюють самостійно при безщитовій проходці. Укладальники для збирання залізобетонної оправи обладнують висувними балками для підтримки блоків у процесі монтажу до замикання кільця оправи.

Для проходки тунелів з тубінгового і блокової оправою застосовують укладальник з гідравлічним приводом важеля, обладнання якого складається з змонтованого на рамі механізму крокуючого ходу, висувною арки, важеля із захоплювачем для елементів оправи і приводом обертання важеля, гідро- та електрообладнання, сходів, огорожі.

Важіль укладальника телескопічного типу може здійснювати рухи, що гойдають в обидві сторони і висуватися вперед. Укладальник забезпечує доступ до верхньої частини забою.

Укладальник є однією із головних машин прохідницького комплексу. З тильного боку до укладальника примикає технологічна візок, на який

встановлено два нагнітача розчину. Візок має пристрій для підйому вагонеток з піском і цементом на верхній ярус, де знаходяться піддони для приготування розчину. За технологічної візком розташована рухома платформа з стрілочним переводом. Рейковий шлях з колією 750 мм проходить через весь комплекс, в кінці його на рухомій платформі укладені стрілочний перевід і рухливі ланки шляху, що з'єднують два шляхи на комплексі з шляхами в тунелі.

Монтаж блокової оправи. Збірку кільця блокової залізобетонної оправи виконують за допомогою блокоукладацьників, що утримують блоки в стабільному положенні до замикання кільця. Послідовність монтажу кільця залежить головним чином від конструкції блокоукладацьника. Універсальні укладацьники важільного і кільцевого типів забезпечують збірку як тубінгового чавунної, так і залізобетонної блокової оправи. У цьому випадку укладання блоків ведуть, як при монтажі тубінгів, починаючи з лоткового блоку. Для закріплення блоку захопленням робочого органу використовують отвір для нагнітання розчину, петлеподібні випуски арматури або кишені в тілі блоку з арматурної петлею. При укладанні блоків верхньої половини кільця використовують висувні балки укладацьника, упорами яких кожен блок підтримується до оболонки щита. У радіальних стиках встановлюють монтажні шпильки. Для блоків ребристого перерізу умови складання кілька полегшуються можливістю постановки тимчасових болтових зв'язків між кільцями. До форми зібраного кільця з блоків пред'являють такі ж вимоги, як і до тубінгового кільця.

Для збірної блокової оправи, у якій з'єднання кільця не пов'язані між собою, додатково нормується розмір уступів між блоками в кругових і радіальних швах (не більше 10 мм).

### **3.6 Первинне нагнітання**

Нагнітання цементно-піщаного розчину за збірну оправу тунелю повинно проводитися безперервно в процесі проходки за кожне останнє укладене кільце в такій послідовності [7, 8].

Нагнітання за оправу з чавунних тьюбінгів і залізобетонних блоків зі зв'язками розтягування ведуть послідовно знизу вгору по кільцю в усі отвори в спинках блоків або тьюбінгів по обидві сторони від вертикальної осі оправи тунелю. Ін'єктор по черзі переставляють з одного боку на інший.

Нагнітання за збірні оправи із залізобетонних блоків без зв'язків розтягування виконують одночасно по обидві сторони вертикальної осі в два симетрично розташованих отвори, переставляючи ін'єктори знизу вгору. Нагнітання ведуть до тих пір, поки розчин не заповнить всі порожнини за оправою до рівня отворів, розташованих вище. Потім ін'єктори переставляють в наступні за напрямом отвори, і нагнітання продовжують аж до замкової частини склепіння. Отвори, через які виконують нагнітання, після зняття ін'єкторів закривають дерев'яними пробками.

Нагнітання піщано-цементного розчину ведуть зі спеціальною пересувного візка, що переміщається укладальником. Візок оснащений насосами і обладнанням для підйому контейнерів і вагонів з розчином або сухою сумішшю. Такі ж візки використовують і при контрольному нагнітанні.

Розчини для нагнітання готують у змішувачах на місці проведення робіт. Пісок і цемент подають у закритих контейнерах, що мають внутрішню перегородку для розділення піску та цементу, або у вагонетках з розділовою стінкою.

### **3.7 Контрольне нагнітання**

Таке нагнітання за збірні оправи необхідно проводити після завершення всіх будівельних робіт на примикаючі до оправи тунельних споруд, але не ближче 30...40 м від забою [7, 8].

При чавунної оправі контрольне нагнітання ведуть перед гідроізоляцією болтових отворів і зачеканенням швів. Контрольне нагнітання за оправи із збірного залізобетону виконують після чеканки швів і отворів для первинного нагнітання, а також після гідроізоляції болтових отворів і отворів для встановлення шпильок в ребрах блоків.

Свердловина для контрольного нагнітання повинна бути забурена до ґрунту. Свердловини для контрольного нагнітання за монолітну оправу слід бурити до ґрунту між свердловинами для первинного нагнітання як у поздовжньому, так і поперечному напрямку.

Контрольне нагнітання в пробурені отвори ведуть через ін'єктори, що мають спеціальні ущільнення для герметизації гирла отвору, і продовжують до тих пір, поки не припиниться поглинання розчину при граничному тиску. Для бетонних монолітних оправ максимально допустимий тиск при контрольному нагнітанні не повинен бути більше 1000 кПа.

### **3.8 Чеканення швів**

Спочатку проводять гідроізоляцію болтових отворів і отворів для контрольного нагнітання [7, 8].

Гідроізоляцію болтових отворів у блоках, які мають болти в якості постійного кріплення, виконують гідроізоляційними шайбами, що встановлені під головкою болта і гайкою з затяжкою болтів пневматичним інструментом. Поверхня бетону біля отвору і болтів попередньо покривають бітумним лаком.

Отвори для первинного нагнітання очищають від розчину на всю глибину, продувають стисненим повітрям і промивають водою, після чого зачеканюють цементом, укладаючи суміш двома-трьома шарами. Вибійку цементу в отвори ведуть круглим наконечником.

При гідроізоляції швів ущільнюючі матеріали укладають спочатку в поздовжні канавки і місця сполучень, а потім у кільцеві канавки.

Після гідроізоляції швів, отворів для первинного нагнітання, болтових отворів і затвердіння карбованого матеріалу ведуть контрольне нагнітання в стики між елементами збірної залізобетонної оправу.

Всі гідроізоляційні роботи зазвичай виконують за такою схемою. Фронт робіт гідроізоляційного ділянки займає від 25 до 50 м, але в деяких випадках охоплює і великі ділянки (довжиною 100...150 м). Якщо лоток тунелю зайнятий діючими вузькоколійними шляхами, роботи з чеканення лотка

роблять після закінчення проходки. Якщо ці роботи ведуть паралельно з проходкою тунелю, то над лотком встановлюють пересувні мости, по яких пропускають транспортні засоби в забій і назад.

Всі роботи з гідроізоляції в нижній половині тунелю (до рівня його горизонтального діаметра) проводять без застосування риштування. Роботу у верхній половині тунелю ведуть з пересувних збірних чеканочних візків, що спираються на оправу (за допомогою кронштейнів) або на рейки, укладені в лотку тунелю. При значному фронті робіт (100...150 м) застосовують одночасно чотири-п'ять візків, на кожній з них виконують один з видів робіт. При порівняно невеликому фронті робіт (до 50 м) використовують один-два візки.

### **3.9 Циклограма робіт безщитової проходки**

Технологічна схема робіт передбачає:

- подача бурового агрегату в забій;
- буріння шпурів;
- зарядження шпурів;
- відкатка бурового агрегату;
- оборка забою;
- прибирання ґрунту із забою і транспортування його до вагонеток;
- монтаж оправы;
- первинне нагнітання за оправу;
- нарощування колії.



## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 Вимоги безпеки під час проходки перегінного тунелю безщитовим методом**

Під час проходки перегінного тунелю в скельних породах безщитовим методом використовуються наступні машини, механізми та обладнання:

- бурова установка TAMROCK;
- породонавантажувальна машина;
- блокоукладальник;
- вентилятор типу СВМ-6м;
- ручні перфоратори ПР-24л;
- тельфери.

### **Перелік робіт по спорудженню перегінного тунелю безщитовим методом:**

- буріння шпурів;
- підривання зарядів;
- провітрювання;
- навантаження породи;
- відвантаження підірваної породи;
- подача і монтаж блоків;
- монтаж оправи;
- нагнітання;
- чеканення швів.

### **Аналіз шкідливих та небезпечних факторів під час проведення буровибухових робіт**

Небезпечні фактори під час проведення буровибухових робіт при безщитовій проходці перегінного тунелю:

- несправність машин та обладнання;
- недостатня освітленість;
- обвалення ґрунту;
- знаходження людей в небезпечному місці під час спуску (підйому);
- знаходження працівників в тунелі під час розробки породи;
- обривання металевого канату для спуску прохідницького обладнання;
- знаходження працівників в забої під час вибухових робіт.

## **4.2 Буріння шпурів буровими установками**

Буріння шпурів здійснюється відповідно до інструкції по експлуатації бурової установки. Буріння проводиться ланкою з двох чоловік, один з яких знаходиться за пультом управління бурильної машиною і управляє маніпулятором і бурильної машиною, другий допомагає забурювати і веде спостереження за штангою і шлангами.

Встановлюють маніпулятор в потрібне положення і включають бурильну машину. Буріння проводиться з невеликим зусиллям подачі. Породи обурюються з промиванням шпурів для пилоподавлення. У разі припинення подачі води з шпурів негайно припиняється буріння. Буріння можна продовжити тільки після виявлення і усунення несправності.

Під час буріння необхідно вести спостереження за вібрацією штанг і шлангів. Закінчивши буріння шпуру, перевіряють стан штанги, коронки і приступають до буріння наступного шпуру. Закінчивши буріння шпурів, відключають електроенергію. Бурова установка відключається і переміщується на безпечну відстань до місця стоянки. Проводять змивання пилу зі стінок виробки на відстані 20 м від вибою.

## **4.3 Підривання**

Перед монтажем вибухової мережі проводиться вимір концентрації метану в забої. Після закінчення монтажу підривної мережі майстер-підривник заміряє концентрацію метану в забої і в прилеглих до забою виробках на відстані 100 м

від місця підривання, в місці укриття майстра-підричника. Після закінчення монтажу вибухового ланцюга, перевірки її цілісності з укриття приладом, підричник подає бойовий сигнал – два тривалих свистка; після цього він приєднує кінці магістральних проводів до клем підривної машинки і здійснює підривання.

Час провітрювання визначається паспортом БВР і вимогами ДСН 3.3.6.042-99. Забороняється підхід до місця підривання до повного провітрювання.

Огляд забою після підривання проводиться майстром-підричником спільно з інженерно-технічним працівником ділянки (керівником вибухових робіт). Допускається оглядати забій помічник майстра-підричника, який брав участь в заряджанні. При підході до вибою і його огляді проводиться завмер концентрації метану. Після огляду забою подається сигнал відбою – три коротких свистка. У разі необхідності видаляються шматки породи з кріплення, поправляється тимчасове кріплення, відновлюється деформований постійне кріплення, навішуються зірвані вибухом вентиляційні труби. У разі виявлення заряду, що відказав, забороняється проводити будь-які роботи не зв'язані з його ліквідацією.

У разі необхідності ліквідувати відмову: кінці проводів електродетонаторів замикаються, люди в забій не допускаються і він закривається. Ліквідацію відмови виробляє майстер-підричник. Якщо з яких-небудь причин при огляді вибою майстром-підричником ні виявлено і ліквідовано відмову, то при його виявленні в період відсутності інженерно-технічного працівника ділянки і майстра-підричника, необхідно всі роботи в забої негайно припинити, провідники електродетонатори замкнути, вивести людей, забій захрестилася, повідомити про це начальнику зміни шахти і змінному інженерно-технічного працівника ділянки.

У разі виявлення горіння ВР у шпурі або на відбитій гірничій маси негайно приступають до гасіння, використовуючи пісок, вогнегасники, воду. Відбита вибухом порода, на місці горіння просочуються водою на всю товщину шару. За відсутності інженерно-технічного працівника ділянки про факти вигорання

ВР ставиться до відома начальник зміни і начальник ділянки для вжиття заходів з розслідування. Допуск до роботи в забої дозволяється після розслідування в установленому порядку.

#### **4.4 Дії працівників в надзвичайних ситуаціях**

- При виникненні аварійної ситуації процес зарядки повинен бути негайно зупинений. Підричник повинен відключити аварійно небезпечне обладнання, попередити людей про виниклу аварійної ситуації, повідомити про аварійну ситуацію керівнику вибухових робіт;

- при припиненні подачі стисненого повітря підричник (оператор) повинен перекрити всі пускові пристрої;

- при будь-яких порушеннях зв'язку між детонатором, який обслуговує зарядний обладнання, і детонатором, який здійснює заряджання свердловин на блоці, необхідно припинити роботи до відновлення зв'язку;

- в разі утворення в транспортній системі пробок і несправностей зарядного пристрою необхідно припинити зарядку, зняти тиск повітря, від'єднати зарядний шланг від машини і вжити заходів щодо усунення неполадок. Перед усуненням пробки в зарядному трубопроводі його необхідно витягти зі свердловини і закріпити. При ліквідації «пробки» стисненим повітрям (без подачі вибухових речовин) трубопровід струшується. При неможливості ліквідувати пробку стисненим повітрям вибухові речовини вимиваються водою;

здійснення ремонту, змащення й очищення машини від вибухових речовин і бруду, а також усунення неполадок в повітряпідвідному рукаві, водяній магістралі і зарядному трубопроводі здійснюється тільки на зупиненій зарядній машині, при знятому тиску води і повітря.

## ВИСНОВКИ

1. Був проведений аналіз інженерно-геологічних умов будівництва (умови Дніпровського метрополітену). З'ясовано, що міцні породи (міцність за проф. Протод'яконовим  $f=4...10$ ) не потребують додаткового кріплення під час реалізації циклів проходки, відповідно безщитова проходка є обґрунтованим видом спорудження перегінного тунелю.

2. Проведене варіантне проектування перегінного тунелю в міцних породах та виконане техніко-економічне порівняння, яке довело, що на основі порівняння матеріалів та трудовитрат більш економічним є варіант оправи із залізобетонних блоків.

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 і визначено згинальні моменти й нормальні сили в оправі. Обґрунтовано параметри міцності конструктивного елемента перегінного тунелю (залізобетонний блок), які свідчать, що залізобетонний блок витримує навантаження і має запас міцності 6,4 рази.

4. Розроблений проєкт безщитової проходки перегінного тунелю Дніпровського метрополітену, в якому виконане обґрунтування технологічних процесів. Виконано спрощений розрахунок паспорту буровибухових робіт й розроблені положення руйнування породи, монтажу оправи і її гідроізоляції, а також побудовано циклограму робіт.

5. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Айвазов, Ю. М. Проектування метрополітенів. Начальний посібник. Частина 1 [Текст] / Ю. М. Айвазов. – Київ: НТУ, 2006. – 166 с.
2. Гайко, Г. І. Конструкції кріплення підземних споруд: Навчальний посібник [Текст] / Г. І. Гайко. – Алчевськ: Дон ДНУ, 2006 – 133с.
3. ДБН Д.2.2.-29-99 Ресурсні елементні кошторисні норми. Збірка 29. Тунелі та метрополітени [Текст]. – Київ: Держбуд України, 2006. – 271 с.
4. ДБН В.2.3-7-2010. Споруди транспорту. Метрополітени [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 195 с.
5. Єдині правила безпеки при вибухових роботах [Текст]. – Київ: Норматив, 1992. – 204 с.
6. Заворицкий, В. И. Проектування підземних транспортних споруд [Текст] / В. И. Заворицкий. – Київ : Будівельник, 1975. – 204 с.
7. Петренко, В. И. Сучасні технології будівництва метрополітенів в Україні [Текст] / В. И. Петренко, В. Д. Петренко, А. Л. Тютюкін. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – 252 с.
8. Петренко, В. Д. Спорудження тунелів щитовим способом. Методичні вказівки до курсового проектування [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, О. Л. Тютюкін, В. П. Купрій. – Д.: Нова ідеологія, 2010. – 56 с.
9. Петренко, В. Д. Проектування буровибухових робіт під час будівництва тунелів. методичні вказівки для курсового та дипломного проектування [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, О. Л. Тютюкін. – Д. : Нова ідеологія, 2011. – 29 с.
10. Тютюкін, О. Л. Теоретичні основи комплексного аналізу тунельних конструкцій [Текст] / О. Л. Тютюкін. – Дніпро : Журфонд, 2020. – 260 с.
11. Тютюкін, О. Л. Тунелі і метрополітени. Навчально-методичні рекомендації для курсового проектування «Спорудження тунелів щитовим способом» [Електрон. видання] / Уклад. О. Л. Тютюкін, В. П. Купрій, В. А. Мірошник. – Дніпро : УДУНТ, 2023. – 60 с.