

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 проходки перегінного тунелю Київського метрополітену
за допомогою щита «Херренкнехт»

за освітньою програмою «Мости і транспортні тунелі»

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

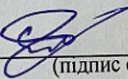
Виконав: студент групи: MT1816

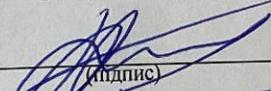
Керівник:

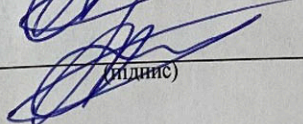
Нормоконтролер:

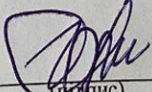
Консультант:

Охорона праці та безпека в
надзвичайних ситуаціях
(назва розділу)


(підпис студента)


(підпис)


(підпис)


(підпис)

/ Вячеслав ЛЕМЕШ /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

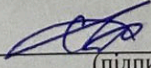
/ зав. каф. Олексій ТЮТКІН /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

/ 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, Лемеш В'ячеслав Максимович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

студента(ки) групи MT1816 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 проходки перетинного тунелю Київського метрополітену за допомогою щита "Хереміксект"

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)

Лемеш В.М.

(прізвище, ім'я, по батькові)

Дата

19.06.2023

Керівник ВКР

(підпис)

Олександр Паша

(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

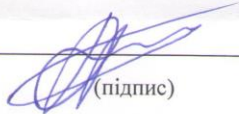
За результатами перевірки випускної кваліфікаційної роботи (ВКР)
здобувача вищої освіти освітнього ступеня (ОС) «бакалавр»

Лемеша В'ячеслава Миколайовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: Проект проходки перетинного Рунію
Київського метрополітену за допомогою
шита "Херареніхт"

в роботі не виявлено порушень академічної доброчесності.

Керівник ВКР


(підпис)

Олександр Павлович

(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 project of excavation of the passing tunnel of the Kyiv metro
with the help of the Herrenknecht shield

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: MT1816

/ Viacheslav LEMESH /

(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 Лемешу Вячеславу Максимовичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Проект проходки перегінного тунелю Київського метрополітену за допомогою щита «Херренкнехт»

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 Київського метрополітену, 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. Статичний розрахунок оправи перегінного тунелю. Розділ 4. Проходка перегінного тунелю за допомогою щита «Херренкнехт». Розділ 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

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

Лист 1. Інженерно-геологічні умови будівництва. Лист 2. Оправа перегінного тунелю з залізобетонних блоків. Лист 3. Щитовий комплекс "Herrenknecht". Лист 4. Техніко-економічні показники виконання щитової проходки.

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. Проходка перегінного тунелю за допомогою щита «Херренкнехт». 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)

Вячеслав ЛЕМЕШ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Олексій ТЮТКІН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:

46 стор., 4 рис., 2 табл., 14 літературних джерел.

Об'єкт розробки – перегінний тунель.

Мета роботи – розробка проєкту проходки перегінного тунелю Київського метрополітену за допомогою щита «Херренкнехт».

Метод дослідження – метод розрахунку оправи як кільця, що вільно деформується.

В бакалаврській роботі виконано аналіз інженерно-геологічних умов будівництва. Розроблені варіанти оправи перегінного тунелю та виконане техніко-економічне порівняння.

Визначено навантаження на оправу перегінного тунелю. Проведений статичний розрахунок оправи перегінного тунелю як кільця, що вільно деформується. Обґрунтовано параметри міцності конструктивного елементу перегінного тунелю (залізобетонний блок).

Розроблений проєкт проходки перегінного тунелю Київського метрополітену за допомогою щита «Херренкнехт». Розроблені положення спорудження розробки породи під час щитової проходки, циклу монтажу кілець і транспортування ґрунту та матеріалів. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: МЕТРОПОЛІТЕН, ПЕРЕГІННИЙ ТУНЕЛЬ, СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК, ЩИТОВА ПРОХОДКА, ПРОЄКТ СПОРУДЖЕННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ БУДІВНИЦТВА.....	9
РОЗДІЛ 2 ВАРІАНТИ ОПРАВИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ	12
2.1 Обґрунтування вибору типу оправи.....	12
2.2 Конструктивні рішення залізобетонних оправ	13
2.3 Визначення параметрів елемента оправи	15
2.4 Техніко-економічне обґрунтування варіантів оправи.....	17
РОЗДІЛ 3 СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК	
ОПРАВИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ	22
3.1 Визначення навантажень на оправу перегінного тунелю.....	22
3.2 Розрахунок оправи як кільця, що вільно деформується	23
3.3 Перевірка на міцність елементів оправи із залізобетону.....	26
РОЗДІЛ 4 ПРОХОДКА ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ ЗА ДОПОМОГОЮ ЩИТА	
«ХЕРРЕНКНЕХТ»	31
4.1 Загальні положення щитової проходки	31
4.2 Розробка породи під час щитової проходки.....	32
4.3 Цикл монтажу кілець	33
4.4 Транспортування ґрунту та матеріалів	34
4.5 Водовідлив	34
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ	
СИТУАЦІЯХ	36
5.1 Роботи, що виконуються на об'єкті	36
5.2 Машини та механізми, які задіяні на об'єкті	36
5.3 Небезпечні виробничі фактори.....	36
5.4 Загальні положення охорони праці	37
5.5 Вимоги до розроблення та комплектації планів з ліквідації аварій (ПЛА) ..	41
ВИСНОВКИ.....	44
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	45

ВСТУП

Перегінні тунелі метрополітену є найбільш протяжними підземними спорудами, мета яких – поєднувати станційні комплекси та сприймати дію метропоїзду. Саме протяжність перегінних тунелів є тим фактором, що значно ускладнює і будівництво, і подальшу експлуатацію тому, що інженерно-геологічні умови на довжині 1000...1200 метрів можуть суттєво змінюватися. Відповідно, завданням проєктування перегінних тунелів є створення такої оправи, яка максимально відповідала б різним ґрунтам оточуючого породного масиву.

Найефективнішою та прогресивною технологією спорудження перегінних тунелів є щитова проходка. Для її реалізації потрібне серйозне обладнання – прохідницький щит та комплекс, який його обслуговує. Робота прохідницького щита надає можливості високого темпу проходки з одночасним монтажем оправи. Важливим фактором є те, що всі технологічні процеси відбуваються під захистом потужної щитової конструкції, відповідно охорона праці надає працівникам впевненості.

Разом з тим, щитова проходка отримує низку проблем, пов'язаних із специфікою процесів, що відбуваються під час їх реалізації. Так, маса щита та щитового комплексу є додатковим навантаженням на вже змонтовану оправу. При цьому також виникають негативні впливи самого щита на слабкий масив, коли тиск оболонки перевищує міцність ґрунтів і може з'явитися додаткова деформація.

В слабкому ґрунтовому або породному масиві, в якому споруджується перегінний тунель за допомогою щитової проходки, також може відбуватися негативне явище деформування поверхні із утворенням так званої мульди зміщення. Це явище пов'язане з тим, що під час руйнування слабого ґрунту в ножовому кільці щита в камеру потрапляє більше ґрунту. Особливо це явище характерне для пливунів або водонасичених слабких супісків та пісків. Відповідно, під час щитової проходки слід приймати міри по закріпленню

грунтового масиву перед лобом щиту, щоб уникнути негативного розвитку деформацій.

Для ефективної, швидкої та безпечної щитової проходки в умовах освоєння підземного простору сьогодні застосовуються різні системи привантаження, що дозволяють як запобігти негативним деформаціям ґрунтового масиву та денної поверхні, так і проводити технологічні операції розробки і навантаження ґрунту в достатньо стійких, але водонасичених ґрунтах. Ці системи потребують створення в ножовій частині прохідницького щита герметичної камери, в якій створюється надлишковий тиск або подаються різні розчини чи піна, які стабілізують стан ґрунту.

Таким чином, щитова проходка перегінних тунелів на даний термін стала складним технологічним процесом, який вимагає чіткої та злагодженої роботи всіх систем. Всі технологічні операції, від розробки ґрунту та його передачі для навантаження до нагнітання за оправу, що відбувається в межах щитового комплексу, повинні бути обґрунтовані та розраховані.

В рамках даної випускної кваліфікаційної роботи розроблено проєкт проходки перегінного тунелю Київського метрополітену за допомогою щита «Херренкнехт». Запроєктована та розрахована оправа відповідає умовам закладення (слабкі ґрунти), технологічні операції обґрунтовані для умов привантаження, що підвищує безпечність проведення робіт.

РОЗДІЛ 1

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ БУДІВНИЦТВА

Спосіб проходки перегінного тунелю значно залежить від місцевих інженерно-геологічних умов [1, 7]. На основі проведених вишукувань можна зробити висновок, що геологія у місці будівництва дуже різноманітна. Було виявлено багато видів піску, супіску та глини.

Виходячи з того, що будівництво тунелю проходить у межах міської забудови, то верхній шар ґрунту на протязі усього тунелю – насипний. До насипного ґрунту відносять пісок мілкий бурий, будівельне сміття, уламки битого асфальту та цегли. Насипним ґрунтом вирівнюють природні нерівності земної поверхні для кращого влаштування будівельного майданчика та полегшення пересування техніки та людей по поверхні. Шар насипного ґрунту сягає до 2 метрів. У деяких місцях на поверхню виходять шари світло-сірого та голубувато-сірого супіску з прошарками жовтого мілкого піску та сірого суглинку. Що до основних фізико-механічних властивостей ґрунту, то його природна вологи́стість (W) дорівнює 0,02...0,32, що означає здатність поглинати та утримувати воду.

Щільність в масиві – це відношення маси гірської породи в природному заляганні до об'єму, який вона займає. Щільність часток ґрунту (ρ_s) дорівнює 2,65 г/см³. Щільність ґрунту (ρ) дорівнює 1,05...2,02 г/см³. Щільність сухого ґрунту (ρ_d) дорівнює 1,01...1,82 г/см³. Пористість – це наявність пустот (пор) у гірських породах. У вужчому розумінні пористість – це об'єм порового простору, який можна кількісно оцінити відношенням об'єму пор до об'єму зразка гірської породи. Завдяки пористості гірські породи можуть вміщати рідини і гази. До пористості іноді відносять об'єм каверн і тріщин, що характеризують загальну пустотність гірських порід. Пористість (n) ґрунту – 31,5...61,8 %. Коефіцієнт пористості (e) дорівнює 0,46...1,62.

Геологічні вишукування за допомогою свердловин показали, що спорудження тунелю буде відбуватися у сірому піску. Тому під насипним

грунтом залягає масивний шар сірого, світло-сірого, жовто-бурого мілкого піску. Такий тип піску характеризується наявністю прошарків сірого супіску та пилюватого піску. Щільність цього шару ґрунту середня, що обумовлює вибір проходки тунелю щитовим комплексом з ґрунтовим привантаженням. Масивність шару піску сягає у деяких місцях до 20 метрів. Місцями насичений водою. Природна вологість ґрунту (W) – 0,02...0,05. Щільність часток ґрунту (ρ_s) дорівнює 2,65 г/см³. Щільність ґрунту (ρ) – 1,56...1,86 г/см³. Щільність сухого ґрунту (ρ_d) – 1,51...1,69 г/см³. Щільність водонасиченого ґрунту (ρ_w) дорівнює 1,84...2,05 г/см³. Пористість (n) – 40,5 %. Коефіцієнт пористості (e) – 0,68. Кут внутрішнього тертя $\varphi=34^\circ$. Питоме зчеплення $C=2$ кПа. Модуль деформації $E=31$ МПа.

Вишукування виявили масивні прошарки світло-сірого пластичного супіску, який розташовано нерівномірними включеннями. Шар супіску сягає не більше 10 метрів. Окрім цього, у сірому піску виявлено включення сірого та сіро-бурого суглинку, з прошарками супіску, іноді глини, з включенням карбонатів до 10 %. Цей тугопластичний суглинок залягає на глибині 22 метра потужністю до 1,5 метра. Природна вологість суглинку (W) дорівнює 0,31. Вологість ґрунту на межі текучості (W_L) 0,31...0,45. Вологість ґрунту на межі пластичності (W_p) дорівнює 0,17...0,28. Число пластичності (I_p) – різниця вологостей, відповідно до двох станів ґрунту: на межі текучості W_L та на межі пластичності W_p . Число пластичності (I_p) дорівнює 0,11...0,17. Показник текучості (I_L) – 0,04...0,05. Щільність часток ґрунту (ρ_s) – 2,70 г/см³. Щільність ґрунту (ρ) – 1,93–1,99 г/см³. Щільність сухого ґрунту (ρ_d) – 1,44...1,61 г/см³. Пористість (n) – 44,4%. Коефіцієнт пористості (e) 0,80. Кут внутрішнього тертя (φ) – 16° . Питоме зчеплення (C) – 38 КПа. Модуль деформації (E) дорівнює 21 МПа. У деяких місцях є наявність темно-сірої тріщинуватої тугопластичної напівтвердої глини шаром до 1 метра. Природна вологість шару глини (W) дорівнює 0,24...0,42. Вологість ґрунту на межі текучості (W_L) – 0,32...0,64. Вологість ґрунту на межі пластичності (W_p) – 0,15...0,35. Число пластичності (I_p) – 0,17...0,31. Показник текучості (I_L)

– 0,039. Щільність часток ґрунту (ρ_s) – 2,74 г/см³. Щільність ґрунту (ρ) – 1,76...1,92 г/см³. Щільність сухого ґрунту (ρ_d) – 1,35–1,54 г/см³. Пористість (n) 47,4%. Коефіцієнт пористості (e) дорівнює 0,90. Кут внутрішнього тертя (ϕ) – 11°. Питоме зчеплення (C) – 74 кПа. Модуль деформації (E) – 25 МПа.

Нижче шару сірого піску залягають масивні шари сірого та жовто-бурого супіску. Колір цього супіску характеризується наявністю жовтих та малинових плям. Такий супісок є каолінізований з прошарками та гніздами мілкового піску. Також при вишукуванні цього шару ґрунту виявлено, що місцями присутні залишки зруйнованого піщаника. До властивостей такого супіску можна віднести твердий, пластичний, текучий. Шари супіску залягають на глибині від 20 до 23 метрів, максимальна потужність шару досягає 4 метрів. Природна вологи́стість шару ґрунту (W) 0,06...0,23. Вологи́стість ґрунту на межі текучості (W_L) 0,21–0,28. Вологи́стість ґрунту на межі пластичності (W_p) 0,16–0,27. Число пластичності (I_p) – 0,05...0,07. Показник текучості (I_L) дорівнює 0...0,27. Щільність часток ґрунту (ρ_s) – 2,67 г/см³. Щільність ґрунту (ρ) дорівнює 1,40...1,62 г/см³. Пористість (n) – 43,8 %. Коефіцієнт пористості (e) дорівнює 0,78. Кут внутрішнього тертя (ϕ) – 24°. Питоме зчеплення (C) дорівнює 27 КПа. Модуль деформації (E) – 20 МПа.

Останній з вишикуваних шарів є жовто-сірий кварцовий пісок. Цей ґрунт залягає нижче шарів піску та супіску, характеризується середньою щільністю, мало вологий. Місцями каолінізований в верхній частині шару. Є прошарки піску середньої крупності. Шар цього піску залягає переважно нижче глибини 25 метрів. Місцями насичений водою.

РОЗДІЛ 2

ВАРІАНТИ ОПРАВИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ

2.1 Обґрунтування вибору типу оправи

На вибір типу оправи й визначення основних параметрів вирішальний вплив мають інженерно-геологічні й гідрогеологічні умови розташування тунелю [7-9]. У нестійких водонасичених породах ($f < 0,3 \dots 0,4$), а також у зонах розломів і тектонічної роздрібненості оправа повинна бути водостійкою. Кільце оправи як у робочій, так і в монтажній стадії повинне мати достатню жорсткість, тобто слід збірну оправу проектувати із зв'язками розтягнення й перев'язкою без лоткового блока. У цьому випадку краще застосувати оправу з тюбінгів із сірого чавуну марки СЧ 21-40. Модифікований чавун марки МСЧ 28...38-90...120 може бути застосований за великого гірського і гідростатичного тиску, особливо для тунелів великих діаметрів ($D_{BH} > 8,0$ м).

При монтажі збірних тунельних кільцевих оправ елементи оправ укладають почергово з кожного боку від лоткового блоку. Монтаж збірної оправи тунелів із тюбінгів або блоків слід виконується за допомогою механічних укладальників [9].

Монолітні бетонні і залізобетонні оправи тунелів слід споруджувати окремими ділянками (кільцями) із застосуванням тунельної інвентарної пересувної механізованої або переставної опалубки і комплексу механізмів та устаткування (пневмобетоноукладальники, бетононасоси, механічні перестановники опалубки, крани та ін.). Довжина ділянки бетонування встановлюється з урахуванням інженерно-геологічних умов залежно від прийнятого способу розроблення ґрунту і зведення оправи, а також швидкості просування забою [2].

Пустоти за зовнішнім контуром оправи глибиною до 0,5 м повинні заповнюватися нагнітанням за оправу цементно-піщаного розчину. Пустоти глибиною більше 0,5 м повинні заповнюватися бетонною сумішшю. Дозволяється виконувати забутування пустот глибиною більше 0,5 м з

наступним нагнітанням цементно-піщаного розчину.

Перед нагнітанням розчину зазори між оправою та оболонкою щита або ґрунтом повинні бути заповнені ущільнювальним матеріалом або закриті спеціальним пристроєм, який не пропускає розчин.

Шви між елементами оправи повинні бути також старанно законопачені.

Склад розчину, введення добавок, що прискорюють тужавлення, та їх рецептура повинні контролюватися лабораторією у процесі виконання робіт не менше одного разу на добу.

Первинне нагнітання цементно-піщаного розчину за збірну оправу тунелю повинне виконуватися за кожне останнє укладене кільце.

При щитовій проходці нагнітання виконується у процесі пересування щита.

2.2 Конструктивні рішення залізобетонних оправ

Конструктивні рішення збірних залізобетонних кругових оправ розрізняють:

- за типом поперечного перерізу елементів (тюбінги, блоки ребристого і суцільного перерізу);
- типом поздовжніх стиків у кільці (плоскі стики з болтовими зв'язками, монтажними шпильками, трубчатою вставкою; шарнірні стики циліндричні опукло-ввігнуті або плоскі зі зменшеною площиною обпирання та пружною прокладкою);
- характером зв'язку між суміжними кільцями.

Залізобетонні тюбінгові оправи без плоского лотка за принциповим конструктивним рішенням аналогічні чавунним: у кільце оправи входять три типорозміри тюбінгів – «н», «з», «с» [6, 9].

Для виключення недоліків, пов'язаних із відсутністю горизонтального лотка тунелю, у склад кільця входять залізобетонний лотковий блок «л» суцільного поперечного перерізу або ребристого із зовнішньої сторони, а для забезпечення перев'язки поздовжніх стиків – половинний тюбінг «п» ($\langle n/2 \rangle$).

Оправи з ребристих блоків відрізняються від тюбінгових більшою товщиною спинки й бортів кожного елемента кільця та відсутністю болтових

зв'язків у поздовжніх стиках. Кільця можуть мати три типорозміри ребристих блоків («н», «з», «с»), частіше – чотири («н», «з», «с», «л») за відсутності перев'язки поздовжніх стиків або п'ять («н», «з», «с», «л», «п»), якщо оправу монтують з перев'язкою поздовжніх стиків.

Відсутність болтових зв'язків у поздовжніх стиках знижує жорсткість кільця, але підвищує тріщиностійкість і водонепроникність оправи. Якщо між кільцями передбачені болтові зв'язки, то всі поздовжні стики роблять плоскими з монтажними шпильками (між блоками «л», «н», «з», «п») або з трубчатим вкладишем (між блоками «з» і «с»).

В оправах, де болтові зв'язки між кільцями замінені на монтажні шпильки або не передбачені зв'язки, поздовжні стики виконують циліндричними опукло-ввігнутими або плоскими, але зі зменшеною висотою опорних площадок. У тому і в іншому випадках стик може розглядатися як шарнірний.

Зв'язок між кільцями підвищує жорсткість оправи як труби, що особливо важливо на монтажній стадії. Жорсткість кільця оправи забезпечується порушенням болтових зв'язків у поздовжніх стиках між елементами (оправа із залізобетонних тюбінгів). У таких самих геологічних умовах за менших діаметрів тунелю вимоги до жорсткості оправи знижуються. У поздовжніх стиках між елементами болтові зв'язки не ставлять навіть в оправах із залізобетонних тюбінгів, замінюючи їх на монтажні шпильки.

Конструктивні рішення оправ з блоків суцільного перерізу відрізняються за характером зв'язків між кільцями, типом поздовжніх стиків, кількістю типорозмірів блоків у кільці. Кільце оправи з блоків з болтовими сполученнями між кільцями має три («н», «з», «с»), чотири («н», «з», «с», «л») або п'ять («л», «н», «з», «п», «с») типорозмірів блоків [9].

Кільце оправи з блоків з монтажними шпильками між кільцями складається з блоків трьох типорозмірів: лоткового «л», нормальних «н», замкових вкладишів «в». Вкладиші (2...3 по ширині кільця) при замиканні кільця заводять у зазор з торця. Поздовжні стики між блоками циліндричні опукло-ввігнуті з монтажними шпильками. Для встановлення шпильок по кільцевих

стиках у кожному блоці (окрім лоткового і вкладишів) передбачені ніші.

Перевагою цієї конструкції є те, що шпильки дозволяють монтувати верхню частину кільця без висувних балок, що підтримують оправу, але припускають деяку деформацію кільця без взаємодії із сусідніми через різницю в діаметрах отвору і шпильок (3...4 мм). Завдяки цьому, а також шарнірності поздовжніх стиків, кільце оправи являє собою багатошарнірну систему, що покращує його статичну роботу під навантаженням. Недоліки: послаблення перерізу блока нішами; можливість появи тріщин у місцях розташування монтажних шпильок між кільцями в разі значних деформацій кільця. Кільце оправи з блоків зі шпонкою між кільцями для щитової проходки має три («н», «з», «с») або чотири («н», «з», «с», «л») типорозміри блоків, а для безщитової (еректорної) проходки – один («н») або два («л», «н»). За відсутності замкового блока замикання кільця забезпечується перебором породи над замковою частиною оправи на 15...20 см. Поздовжні стики між блоками – плоскі з циліндричною шпонкою із затверділого піщано-цементного розчину, що нагнітається в циліндричний паз після монтажу кільця.

Найпоширенішою у вітчизняній практиці тунеле- і метробудування є оправа з блоків без зв'язків між кільцями з циліндричними опукло-ввігнутими стиками, що дістала назву уніфікована. Кільце оправи має три типорозміри блоків: лотковий «л», нормальні «н», вкладиші «в». Завдяки шарнірності стиків і відсутності зв'язків між кільцями оправа має високу деформативність, що покращує її статичну роботу під навантаженням.

В бакалаврській роботі обрано два варіанти оправи, оскільки для випадку застосування щитового комплексу «Херренкнехт» в умовах Київського метрополітену успішно застосовано оправу з трапецієвидних елементів. Варіант із чавунних тюбінгів також є ефективним, однак вартість цього матеріалу диктує вибір другого варіанту, тобто залізобетонного.

2.3 Визначення параметрів елемента оправи

Для визначення товщини блоків скористемося емпіричною формулою [9]:

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

де $R_{\text{вн}}$ – внутрішній радіус оправи, м; f – коефіцієнт міцності породи за класифікацією проф. М. М. Протод'яконова; n – емпіричний коефіцієнт, для залізобетонних блоків і тюбінгів з бетону класу В40 $n=9$;

$$h = 9 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,55^2}{0,7}} = 18,9 \text{ см}$$

Незалежно від результатів розрахунку товщина оправи із залізобетонних блоків повинна бути не менше 15 см. Приймаємо товщину блоку оправи 30 см.

Для визначення товщини чавунних тюбінгів скористаємося емпіричною формулою:

$$h = n \sqrt[3]{\frac{R_{\text{вн}}^2}{f}} = 7,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,75^2}{0,6}} = 17,45 \text{ см},$$

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 $n=7.5$ для чавунних тюбінгів. Приймаємо $h = 20$ см.

Ширина кільця визначає (якщо кількість елементів у кільці фіксована) масу елемента, а отже, і вантажопідйомність механізму для монтажу оправи. Але чим більше ширина кільця, тим менше цей показник і тим менші витрати на будівництво тунелю.

З урахуванням викладених вимог ширину кільця можна призначати:

1) для тунелів відносно невеликих діаметрів ($D_{\text{вн}}$ до 4,5 м) у нестійких породах в межах 0,6...1,0 м, у стійких – 0,75...1,25 м;

2) для тунелів середніх і великих діаметрів ($D_{\text{вн}} > 5,0$ м) у нестійких породах у межах 0,5...1,0 м, у стійких – 0,75...1,0 м. При цьому чим слабкіше порода і чим більше діаметр тунелю, тим менша ширина кільця.

Виходячи з інженерно-геологічних умов, приймаємо ширину кільця 1,2 м.

В обмежених умовах тунелю вантажопідйомність також обмежена. За даними практики маса елемента не повинна перевищувати 1,0...1,5 т для тунелів діаметром $D_{\text{вн}} < 4,5$ м; 1,5...2,0 т при $4,5 < D_{\text{вн}} < 6,5$ м; 2,5...3,0 т при $D_{\text{вн}} > 6,5$ м.

Загальну кількість елементів у кільці можна прийняти рівною:

5 елементів – при $D_{\text{вн}} = 3,6...4,0$ м;

7 елементів – при $D_{\text{вн}} = 4,5...6,0$ м;

9 елементів – при $D_{\text{вн}} = 6,5...8,0$ м;

11 елементів – при $D_{\text{вн}} = 8,5...9,5$ м.

Приймаємо оправу, яка складається з 7 елементів.

Кількість елементів у кільці для зниження трудовитрат на монтаж і гідроізоляцію поздовжніх стиків повинна бути по можливості мінімальною. Але маса елемента не повинна перевищувати 1,0...3,0 т, а довжина дуги по зовнішній стороні повинна бути не більше 2,0...3,0 м.

2.4 Техніко-економічне обґрунтування варіантів оправ

Після визначення параметрів варіантів оправ виконується їх техніко-економічне обґрунтування з метою встановлення найбільш економічного за трудовитратами варіанта, який далі приймається для статичного розрахунку. Для цього для кожного з них виконується розрахунок об'ємів робіт зі спорудження одного метра тунелю [3, 4, 9].

Варіант 1 (чавунні тюбінги).

Розробка породи (м^3). Об'єм визначається за формулою:

$$V_p = \frac{\pi D_{\text{зн}}^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 5.9^2}{4} = 27.33 \text{ м}^3,$$

де $D_{\text{зн}}$ – зовнішній діаметр оправи.

Навантаження породи (м^3):

$$V_n = k_p V_p = 1.1 \cdot 27.33 = 30 \text{ м}^3,$$

де k_p – коефіцієнт розпушення дорівнює 1.1.

Монтаж чавунної оправи (м^3):

$$V_k = \lambda \frac{\pi}{4} (D_{\text{зн}}^2 - D_{\text{вн}}^2) = 0.7 \cdot \frac{3.14}{4} \cdot (5.9^2 - 5.5^2) = 2.51 \text{ м}^3,$$

де $D_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр оправи; λ – коефіцієнт, який враховує наявність порожнин в залізобетонному елементі (для блоків $\lambda=1$, для тубінгів $\lambda=0.7$).

Монтаж чавунної оправи (т). Масу одного метра чавунної оправи можна визначити за формулою:

$$G_k = (0.24 \dots 0.30) \gamma \frac{\pi}{4} (D_{\text{зн}}^2 - D_{\text{вн}}^2) = 0.24 \cdot 7.2 \cdot \frac{3.14}{4} (5.9^2 - 5.5^2) = 6.2 \text{ т},$$

де γ – питома вага чавуну, СЧ-21-40 $\gamma = 72.0 \text{ кН/м}^3 = 7.2 \text{ т/м}^3$

У формулі мінімальне значення коефіцієнта необхідно приймати при $D_{\text{зн}} > 8.0 \text{ м}$, максимальне – при $D_{\text{зн}} < 8.0 \text{ м}$.

Масу кільця чавунної оправи можна визначити, помноживши масу одного метра на ширину кільця.

Нагнітання за оправу (м^2):

$$S_k = L_k \cdot 1 = \pi D_{3H} = 3.14 \cdot 5.9 = 18.53 \text{ м}^2,$$

де L_k – довжина дуги кільця по зовнішньому діаметру.

Чеканення швів (на один метр тунелю):

$$L_{\text{ч.ш.}} = L_{\text{вн}} + n \cdot 1 = \pi D_{\text{вн}} + n = 3.14 \cdot 5.5 + 7 = 24.27 \text{ поз.м},$$

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

Варіант 2 (залізобетонні трапецієвидні блоки).

Розробка породи. Об'єм визначається за формулою:

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

де D_{3H} – зовнішній діаметр оправи.

$$V_p = \frac{3.14 \cdot 6.1^2}{4} = 29.22 \text{ м}^3$$

Навантаження породи:

$$V_H = k_p V_p, \text{ м}^3$$

де k_p – коефіцієнт розпушення, для ґрунтів з коефіцієнтом міцності $f = 0.7$ за М. М. Протод'яконовим, приймаємо $k_p = 1.1$.

$$V_H = 1.1 \cdot 29.22 = 32.15 \text{ м}^3.$$

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 (для блоків $\lambda=1$); D_{BH} – внутрішній діаметр оправи.

$$V_k = 1 \cdot \frac{3,14}{4} (6,1^2 - 5,5^2) = 5,4$$

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

$$G_k = \gamma \cdot V_k \cdot l,$$

де γ – питома вага залізобетону ($\gamma=2,5$ т/м³); l – ширина кільця.

$$G_k = 2,5 \cdot 5,4 \cdot 1,2 = 16,2 \text{ т} \cdot \text{м}^3$$

Нормативна власна вага оправи визначається як:

$$p^H = \frac{G_k}{2\pi r},$$

де G_k – маса кільця оправи (приймається за об'ємом, який визначено під час проектування варіантів); $r = \frac{R_{BH} + R_{3H}}{2}$ – середній радіус оправи.

$$r = \frac{R_{BH} + R_{3H}}{2} = \frac{3,1 + 2,55}{2} = 2,9 \text{ м}$$

$$p^H = \frac{16,2}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,9} = 0,87.$$

Результати техніко-економічного порівняння наведені в таблицях 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1 – Розрахунок трудовитрат Варіанту № 1

№ п/п	Найменування робіт	Шифр	Од. виміру	Об'єм робіт	Трудовитрати, чол.год	
					На одиницю	На об'єм
1.	Розробка породи	29-80-7	100 м ³	27,33	38,55	10,54
2.	Навантаження породи	29-94-1	100 м ³	30	41,08	12,35
3.	Монтаж оправи	29-128-4	1 т	6,20	4,55	28,16
4.	Нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу	29-138-6	100 м ²	18,53	68,1	12,25
5.	Чеканка швів	29-145-16	100 м	24,27	276,5	69,90
					Всього:	133,20

Таблиця 2.2 – Розрахунок трудовитрат Варіанту № 2

№ п/п	Найменування робіт	Шифр	Од. виміру	Об'єм робіт	Трудовитрати, чол.год	
					На одиницю	На об'єм
1.	Розробка породи	29-80-7	100 м ³	29,22	38,55	11,26
2.	Навантаження породи	29-94-1	100 м ³	32,13	41,08	13,2
3.	Монтаж оправи	29-126-13	100 м ³	5,4	3570,8	192,82
4.	Нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу	29-138-6	100 м ²	19,15	68,1	13,28
5.	Чеканка швів	29-145-11	100 м	24,58	100,33	24,66
					Всього:	255,22

Висновком техніко-економічного порівняння є наступний: хоча варіант з чавунних тюбінгів потребує менших трудовитрат, за прямими витратами він буде значно більшим. Тому для подальшої розробки приймається варіант із трапецієвидних блоків із залізобетону, які є відповідними для щитової проходки з допомогою щитового комплексу «Херренкнехт».

РОЗДІЛ 3

СТАТИЧНИЙ 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, 6].

Основними навантаженнями є постійні навантаження, які діють в експлуатаційній стадії [9]:

- а) власна вага оправи;
- б) вертикальний тиск порід;
- в) горизонтальний тиск порід – активний або пасивний (у вигляді пружного відпору);
- г) гідростатичний тиск підземних вод;
- д) навантаження від руху транспорту у автошляхових тунелях (при побудові проїзної частини по перекриттю).

Додатковими є тимчасові навантаження, які діють головним чином у будівельній стадії:

- а) поздовжній тиск щитових гідроциліндрів [13];
- б) вага механізмів для збирання оправи (блокоукладальників);
- в) тиск розчину, що нагнітається за оправу.

Відповідно до цього статичний розрахунок збірної оправи проводиться для двох стадій її роботи: експлуатаційної і будівельної.

При визначенні нормативних навантажень від тиску порід і гідростатичного тиску підземних вод потрібно керуватися такими міркуваннями.

У розріджених і слабких зволжених породах (мулкі породи, пливуні, глини і суглинки текучої і м'якопластичної консистенції) нормативна величина вертикального гірського тиску дорівнює повній вазі порід, що залягають над тунелями [9]:

$$q_{\text{в}}^{\text{н}} = \sum \gamma_i h_i, \quad (3.1)$$

де γ_i і h_i – відповідно питома вага і потужність i -го шару порід, який залягає вище.

$$q_b^H = 16 \cdot 12 = 192 \text{ кН/м}^2.$$

Горизонтальний тиск у цих породах є активним, і його нормативна середня розрахункова інтенсивність складає за результатами досліджень для глинястих порід не менш ніж:

$$q_r^H = 1,1 \cdot q_b^H \quad (3.2)$$

$$q_r^H = 1,1 \cdot 192 = 211,2 \text{ кН/м}^2.$$

На рівні замка оправи горизонтальний тиск буде дорівнювати:

$$q_r^3 = (0,8 \dots 0,9) \cdot (q_b^H - \gamma R_{3H}), \text{ кН/м}^2 \quad (3.3)$$

$$q_r^3 = 0,8 \cdot (192 - 16 \cdot 3,05) = 114,6 \text{ кН/м}^2,$$

а на рівні лотка:

$$q_r^L = (0,8 \dots 0,9) (q_b^H + \gamma R_{3H}), \text{ кН/м}^2,$$

де R_{3H} – зовнішній радіус оправи, $R_{3H} = 3,05$ м; γ – питома вага породи, $\gamma = 16 \text{ кН/м}^3$;

$$q_r^L = 0,8 \cdot (192 + 16 \cdot 3,05) = 192,6 \text{ кН/м}^2.$$

3.2 Розрахунок оправи як кільця, що вільно деформується

Під час розрахунку оправи в експлуатаційній стадії для випадку дії вертикального та активного горизонтального тиску породи оправа кругового перерізу розглядається як кільце, що вільно деформується під дією зовнішніх навантажень [9, 14].

Для цього методу розрахунку характерні такі припущення:

1. Оправа розглядається як система, що лінійно деформується.

2. При дії зовнішніх навантажень на оправу дотримуються принципу незалежності дії сил.

3. Жорсткість оправи постійна ($EI = \text{const}$).

Розрахункова схема оправи для методу кільця, що вільно деформується, є розрахунковою схемою методу сил (рис. 3.1).

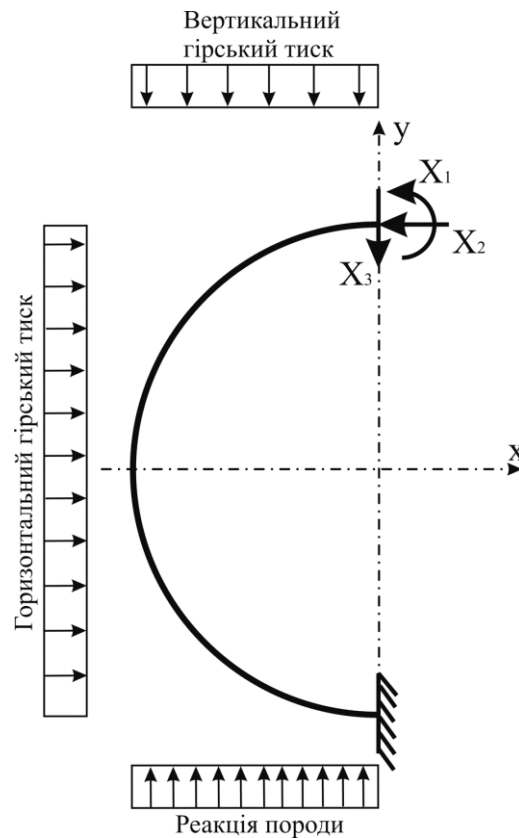


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема для методу кільця, що вільно деформується

Канонічними рівняннями деформації такої системи є:

$$\delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \Delta_{1p} = 0$$

$$\delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \Delta_{2p} = 0$$

Для спрощення цієї системи невідомі X_1 та X_2 (X_3 при симетричному навантаженні дорівнює нулю) переносять на абсолютно жорстку консоль, тому $\delta_{12} = \delta_{21} = 0$.

Система канонічних рівнянь набуває вигляду:

$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1p} = 0$$

$$\delta_{22}X_2 + \Delta_{2p} = 0$$

Згинальний момент та нормальна сила в кожному перерізі, який розташовано під кутом α , будуть дорівнювати відповідно:

$$M = M_p - X_2 r \cos \alpha = 0$$

$$N = N_p + X_2 \cos \alpha = 0$$

Визначити зусилля в перерізах оправи (на 1 м тунелю) від основних навантажень можна, користуючись розрахунковими формулами. Розрахунок за методом кільця, що вільно деформується, можна провести вручну або за допомогою програми MKVD Excel з пакету Microsoft Office 2007 for Windows.

На основі отриманих результатів будуюмо епюри згинальних моментів M та нормальних сил N .

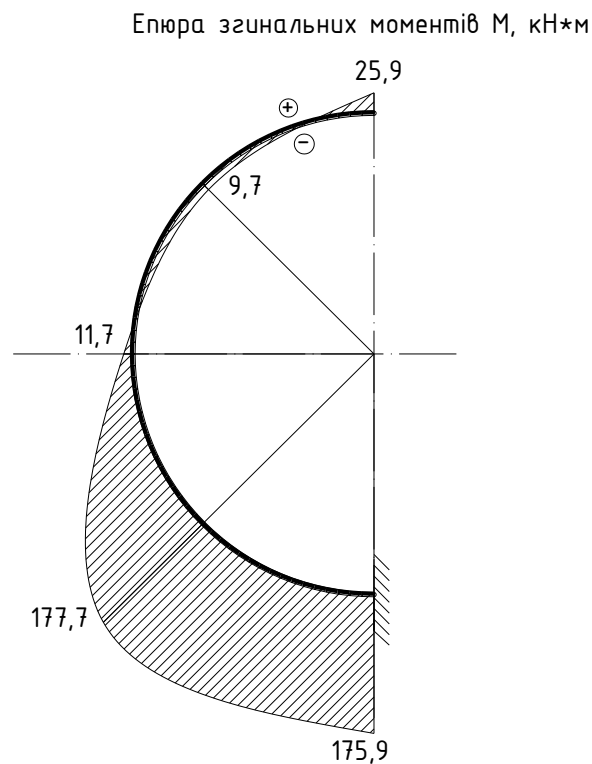


Рисунок 3.2 – Епюра згинальних моментів

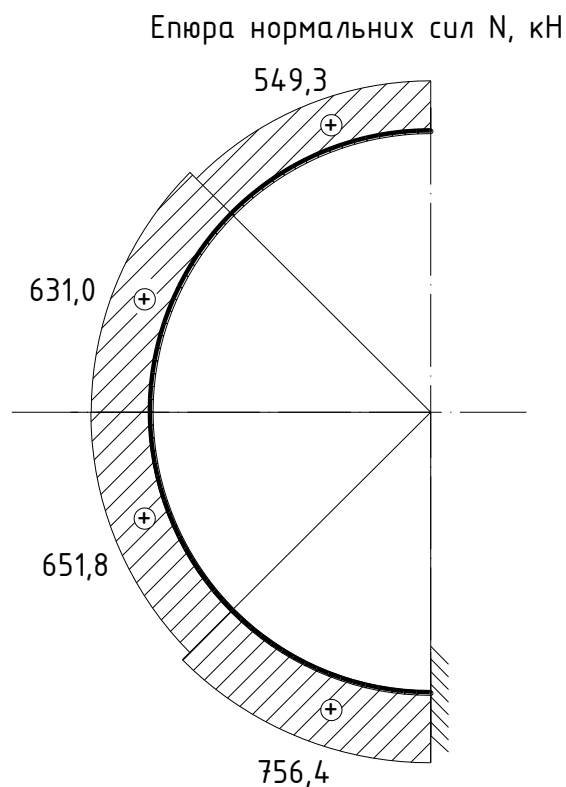


Рисунок 3.3 – Епюра нормальних сил

3.3 Перевірка на міцність елементів оправи із залізобетону

Після визначення згинальних моментів і нормальних сил у перерізах оправи з максимальним згинальним моментом проводять перевірку на міцність. Для цього будують епюри моментів та нормальних сил із визначенням двох перерізів з максимальними згинальними моментами різних знаків, розглядаючи блоки оправи як елементи, що працюють в умовах стиснення з вигином.

У розрахунках кругових оправ найчастіше зустрічається перший випадок позацентрового стиснення, що відповідає великим ексцентриситетам.

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

Для поздовжньої робочої арматури потрібно застосовувати стержні діаметром не менше 12 мм і не більше 40 мм. Мінімальна відстань у світлі між

стержнями арматури повинна бути не менша діаметра стержня і не менша 25 мм. Найбільшу відстань між осями стержнів робочої арматури приймають не більше за 1,5 товщини елемента.

Згідно з правилами коефіцієнт армування повинен складати $\mu = 1,5 \dots 3 \%$, тобто площа поперечного перерізу арматури $A_s^{\text{сум}}$ повинна становити $1,5 \dots 3 \%$ поперечного перерізу бетону A_b .

Визначення площі поперечного перерізу блока:

$$A_b = bh, \text{ м}^2 \quad (3.4)$$

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

$$A_b = 1,2 \cdot 0,3 = 0,36 \text{ м}^2.$$

Попереднє визначення площі арматури:

$$A_s^{\text{сум}} = \mu \cdot A_b, \text{ м}^2 \quad (3.5)$$

$$A_s^{\text{сум}} = 0,02 \cdot 0,36 = 0,0072 \text{ м}^2.$$

Площа поперечного перерізу одного стержня становить:

$$A_{\text{ст}} = \pi \cdot r_{\text{ст}}^2, \text{ м}^2$$

де $r_{\text{ст}}$ – радіус стержня арматури, $r_{\text{ст}} = 0,012 \text{ м}$.

$$A_{\text{ст}} = 3,14 \cdot 0,012^2 = 0,00045 \text{ м}^2$$

Визначення кількості стержнів робочої арматури:

$$n = \frac{A_s^{\text{сум}}}{A_{\text{ст}}}, \text{ шт.}$$

$$n = \frac{0,0072}{0,00045} = 16 \text{ шт.}$$

Приймаємо 16 стержнів діаметру 12 мм.

Фактична площа арматури становить:

$$A_s^{\text{факт}} = A_s + A'_s = n \cdot A_{\text{ст}}, \text{ м}^2$$

$$A_s^{\text{факт}} = 16 \cdot 0.00045 = 0,0072 \text{ м}^2$$

Площа розтягнутої A_s та стиснутої A'_s арматури:

$$A_s = A'_s = \frac{A_s^{\text{факт}}}{2}, \text{ м}^2$$

$$A_s = A'_s = \frac{0,0072}{2} = 0,0036, \text{ м}^2$$

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

$$e_0 = \frac{M}{N},$$

$$e_0 = \frac{177,7}{651,8} = 0,27.$$

Перевірку блоків на міцність проводять за формулою розрахунку перерізів, які працюють у режимі позацентрального стиску):

$$N \cdot e \leq R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'),$$

де N – поздовжня сила в перерізі, який перевіряється; ексцентриситет нормальної сили N відносно центра розтягнутої арматури $e = e_0 + \frac{h}{2} - a$ (геометричний параметр $a' = a$, який дорівнює сумі товщини захисного шару та половинному діаметру стержня);

$$e = 0,27263 + \frac{0,3}{2} - 0,03 = 0,39263$$

R_b – розрахунковий опір бетону на стиск, $R_b = 220 \text{ кН/м}^2$; b – ширина

елемента; x – висота стиснутої зони бетону; h_0 – геометричний параметр перерізу – висота перерізу від верхньої фібри до половини розтягнутої арматури; R_{sc} – розрахунковий опір арматури на стиск; A'_s – площа стиснутої арматури; a' – геометричний параметр перерізу – сумарна відстань від верхньої фібри до половини стиснутої арматури (рис. 3.4).

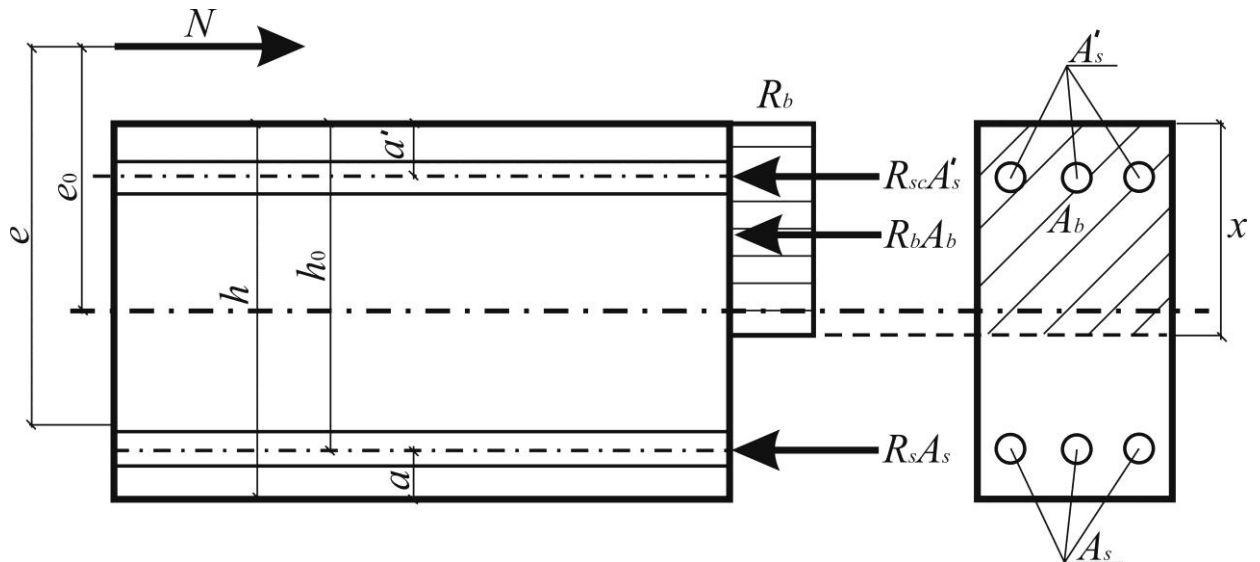
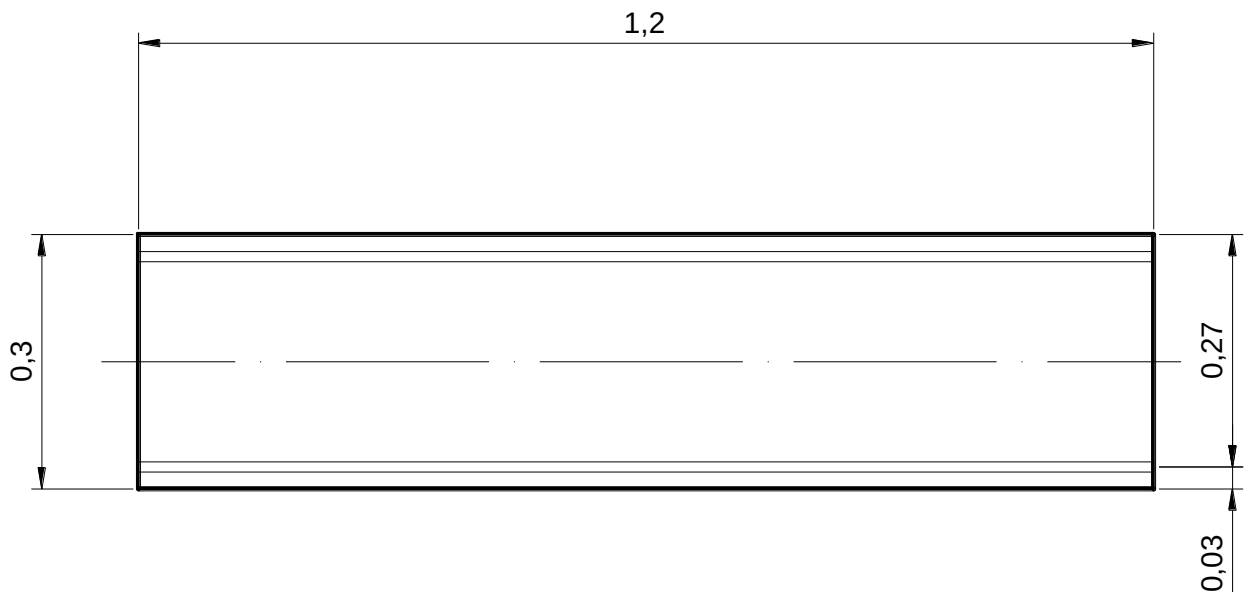


Рисунок 3.4 – Схема позначень для розрахунку на міцність



Мінімальну товщину бетонного захисного шару для збірних залізобетонних оправ приймають: а) при товщині елемента від 150 до 300 мм – 20 мм; б) при

товщині елемента від 310 до 500 мм – 25...30 мм; в) при товщині елемента більше 500 мм – 35...40 мм.

В агресивному середовищі товщина шару повинна бути збільшена на 10 мм.

Ширина стиснутої зони x визначається з формули:

$$N + R_s A_s - R_{sc} A'_s = R_b b x.$$

Оскільки $R_s A_s = R_{sc} A'_s$ при симетричному армуванні блока, то

$$x = \frac{N}{R_b \cdot b},$$

$$x = \frac{651,8}{22000 \cdot 1,2} = 0,024689 \text{ м}$$

Підставляємо значення до розрахункової формули:

$$255,916 \cdot 0,39263 \leq 22000 \cdot 1,2 \cdot 0,024689 \cdot (0,274 - 0,5 \cdot 0,024689) + 365000 \cdot 0,0036(0,274 - 0,03)$$

$$255,916 \leq 492,7019$$

Умова виконана, запас міцності – 1,93 рази.

РОЗДІЛ 4

ПРОХОДКА ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ ЗА ДОПОМОГОЮ ЩИТА «ХЕРРЕНКНЕХТ»

4.1 Загальні положення щитової проходки

Дана установка є тунелепрохідницьким комплексом для ведення проходки з ґрунтовим привантаженням. Розробка ґрунту здійснюється за допомогою роторного виконавчого органа. Комплекс зібраний у вигляді щита фірми «Херренкнехт». Об'єм поставки фірми Херренкнехт АГ включає прохідницьку установку, тьобінговий укладальник (еректор), візки, а також відповідно до цього переліку гідравлічні та структурні електричні агрегати. Усе це разом зветься прохідницьким комплексом [10, 11].

Щити з ґрунтовим привантаженням (скорочено ЕРВ) використовуються, головним чином, у зв'язаному ґрунті з високою часткою глини та мулу, який має низьку водопроникність. Для того, щоб уникнути осадки або здимання ґрунту, опорою призабійного простору при проходці за допомогою щита з ґрунтовим привантаженням є відділений за допомогою центрального ротора ґрунт.

Для використання відділеного у забої ґрунту у якості опорної середи, ґрунт повинен мати наступні властивості [10, 11]:

- добра пластична деформованість;
- від пульповидної до м'якої консистенції;
- невелике внутрішнє тертя;
- мала водопроникність.

У повному обсязі цими властивостями, як правило, не наділений жодний ґрунт ні перед розробкою, ні після розробки. Щоб зробити матеріал придатним до розробки, його треба довести до необхідних властивостей за допомогою добавок, таких як бентоніт та піна, враховуючи при цьому зміну тиску ґрунту.

4.2 Розробка породи під час щитової проходки

Ґрунт у призабійному просторі відділяється за допомогою інструмента на обертальному роторі та через отвори подається у забій. Потім він переміщується з пластичною пульпою. Сила гідроциліндрів через стіну напруження передається на пульпу це перешкоджає неконтрольованому попаданню ґрунту з призабійного простору до робочої камери. Стабільністю вважається, коли пульпа більше не ущільнюється у робочій камері завдяки виникаючому тиску ґрунту та води. Тоді домінантний тиск ґрунту у призабійному просторі буде відповідати статичному тиску ґрунту. Якщо опорний тиск пульпи буде перевищувати стан рівноваги, відбудеться подальше ущільнення пульпи у робочій камері, а також нерозробленого ґрунту, що може призвести до здимання ділянки поверхні землі перед щитом. При деякому зменшенні тиску ґрунту нерозроблений ґрунт може проникнути до робочій камери та викликати просадку поверхні землі. Розроблений ґрунт доставляється за допомогою шнекового транспортера з робочої камери, яка знаходиться під тиском, у тунель, який знаходиться під атмосферним тиском. Для того, щоб передача матеріалу з місця виходу шнека до стрічки транспортера проходила без шлюзування, ґрунт повинен мати невелику водопроникність, щоб уникнути потоку через шнековий транспортер.

На тиск ґрунту впливають наступні основні фактори [10, 11]:

- швидкість проходки;
- розроблена маса ґрунту;
- тиск добавок для того, щоб надати ґрунту необхідних властивостей.

Звичайним способом регулювання тиску ґрунту у час проходки за встановленою швидкістю є зміна швидкості шнекового транспортеру. Коли ґрунт відвантажується швидко, при високій швидкості шнеку, тиск ґрунту падає. Коли ґрунт відвантажується повільно, тиск ґрунту зростає.

Здійснювати регулювання тиском ґрунту також можна через швидкість проходки. При цьому зменшення швидкості висунення щитових гідроциліндрів впливає на зменшення тиску ґрунту, а збільшення швидкості висунення

щитових гідроциліндрів впливає на збільшення тиску ґрунту.

У всякому разі, переслідується одна мета: підтримувати у період проходки тиск ґрунту на постійному рівні. Щоб уникнути осідання та розм'якшення ґрунту, тиск, який створюється у робочій камері, повинен бути збалансований з тиском ґрунту перед ротором.

Тиск ґрунту або опорний тиск відображається на пульті керування за допомогою датчиків тиску ґрунту, які розміщені на різних рівнях стіни тиску.

Щоб досягнути кращого змішування та необхідного стану ґрунту і щоб зменшити обертання щита, швидкість обертання ротора у час проходки може змінюватись.

Усі необхідні дані для експлуатації тунелепрохідницького комплексу та керування знаходяться у кабіні керування. Швидкість проходки, обертання ротора та транспортування шнеком можуть регулюватися звідти.

Напрямок проходки регулюється з кабіни керування комплексом і задається завдяки регулюванню тиску на групі артикуляційних гідроциліндрів.

4.3 Цикл монтажу кілець

З просуванням уперед тунелепрохідницького комплексу простір між зовнішньою поверхнею останнього встановленого кільця та зовнішнім діаметром ротору повинен заповнюватись забутовочним матеріалом. Інакше, навколишній ґрунт заповнює цей простір та відбувається просадка поверхні землі. Коли проходка закінчена, деяке число гідроциліндрів повинно убиратися назад, для того щоб створювати необхідний вільний простір для монтажу першого блоку [10-12]. Інші гідроциліндри залишаються у контакті з останнім встановленим кільцем для того, щоб щит через опорний тиск не змістився назад. Еректор підіймає тьобінг, встановлює його на відповідну позицію, після чого тьобінг закріплюється болтами з останнім кільцем. До того як тьобінг знімуть з головки кільця, треба переконатися в тому, що гідроциліндри, які змістилися назад, прижимають тьобінг для того, щоб уникнути його небажаної осадки. Наступні сегменти будуть змонтовані тим самим чином, доки не буде

змонтоване ціле кільце. Після монтажу кільце за другим з них, що вийшло з-під хвостової оболонки, проводиться первинне нагнітання.

4.4 Транспортування ґрунту та матеріалів

Транспортування ґрунту та матеріалів при спорудженні стволів, горизонтальних та похилих тунелів повинно виконуватися без перенавантажень. Роботи з навантаження та розвантаження клітей, відкочування вагонеток на поверхні і в біляствольному дворі повинні бути механізовані. Безрейковий транспорт з двигунами внутрішнього згоряння дозволяється застосовувати при спорудженні тунелів метрополітенів мілкового закладення та гірським способом [10-12].

4.5 Водовідлив

Відведення води із виробки при проходці тунелю на підйом слід виконувати самопливом. При проходці під уклон видалення води із виробки слід виконувати за допомогою розміщених у забої спеціальних насосів і проміжних водовідливних установок. Уклон відкритих водовідливних пристроїв повинен бути не меншим 3 ‰ [10-12].

Головна водовідливна установка повинна розміщуватися поблизу ствола.

Кількість насосів головного водовідливу слід приймати не менше трьох із розрахунку: один – у роботі, другий – у резерві і третій – у ремонті.

При необхідності одночасної роботи декількох насосів сумарне число насосів у резерві та ремонті повинно бути таким, що дорівнює кількості працюючих насосів.

Добова продуктивність насосів, які знаходяться в роботі, повинна перевищувати на 20 % максимальний очікуваний добовий приплив води.

При одному робочому насосі кількість напірних поставів труб головного водовідводу повинна бути 2, а при двох і більше працюючих насосах – 3.

Напірні постави повинні монтуватися так, щоб кожний насос міг працювати на будь-який постав; при цьому на насоси не повинні передаватися

навантаження від власної ваги напірних поставів труб, води, яка у них знаходиться, а також динамічні навантаження. В напірних поставах труб повинні бути встановлені засувки і зворотні клапани.

Кожна насосна установка головного водовідливу повинна бути обладнана контрольно-вимірювальною апаратурою.

Підлога насосної камери головного водовідливу повинна бути вище за рівень відкаточних колій на 0,5 м.

Місткість водозбірника насосної камери головного водовідливу повинна бути не меншою 150 м^3 при припливі води до $300 \text{ м}^3/\text{год}$, а при припливі води більше $300 \text{ м}^3/\text{год}$ повинна встановлюватися проектом.

Водовідлив при проходці ствола з припливом води у забій більше $5 \text{ м}^3/\text{год}$ повинен здійснюватися насосами. Видалення води із ствола при припливі до $5 \text{ м}^3/\text{год}$ слід виконувати за допомогою цеберного підйому, який використовується при проходці ствола.

Насосні установки проміжного водовідливу слід розмішувати у тунельні або в спеціально улаштованих камерах. Камери улаштовують у виробках, передбачених для потреб експлуатації. Місткість і конструкцію водоприймача слід визначати ПВР.

В насосних установках проміжного водовідливу повинно бути не менше двох насосів: один – робочий, другий – резервний. Робота усіх насосних установок повинна здійснюватися в автоматичному режимі.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Роботи, що виконуються на об'єкті

- Земляні роботи;
- Автомобільна відкатка розробленого ґрунту;
- Транспортування розробленого ґрунту за межі об'єкту;
- Операції навантаження/розвантаження та стропування;
- Пересування габаритного обладнання;
- Робота козлового крану;
- Робота екскаватора, бульдозеру та навантажувача ґрунту.

5.2 Машини та механізми, які задіяні на об'єкті

- Тунелепрохідницький комплекс «Herrenknecht»;
- Автомашини КрАЗ;
- Екскаватор;
- Навантажувач ґрунту;
- Бетонозмішувач.

5.3 небезпечні виробничі фактори

- Удар електричним струмом при роботі з електрообладнанням;
- Ризик розриву строп та неправильне стропування;
- Ризик падіння предметів у котлован;
- небезпечність руху автомобільного транспорту на об'єкті;
- небезпека робіт при операціях з прийняття породи на поверхню з котловану;
 - небезпека роботи біля рухомих механізмів ТПК;
 - Можливість пожежі як на ТПК, так і на поверхні на будівельному майданчику;
 - небезпека роботи біля крану, блокоукладальника, екскаватора;

- Занос стріли крану, робочого органу екскаватора або бульдозера;
- Небезпека аварії на ТПК, при яких порода може потрапити у опорне кільце, де працюють люди;
- Небезпека прориву гідросистеми ТПК;
- Можливість вивалу залізобетонного блоку при монтажі кільця оправи;
- Небезпека при маркшейдерських роботах на поверхні по ходу ТПК.

5.4 Загальні положення охорони праці

До початку робіт по проходці тунелю усі представники технічного надзору та робочі на ділянці в обов'язковому порядку повинні бути ознайомлені з проектом виконання робіт, з геологічними та гідрогеологічними умовами ділянки під розпис.

При експлуатації тунелепрохідницького комплексу (ТПК) необхідно дотримуватись «Правила техніки безпеки та санітарні інструкції» S–402 випуск 02/07, розроблені компанією Herrenknecht – виробник комплексу.

Перед початком робіт необхідно забезпечити у необхідному обсязі запас інвентарю, протипожежних та інших засобів захисту, які повинні знаходитися на ТПК.

Робоче місце машиніста повинно бути обладнано світовою та звуковою сигналізацією, з'єднану з усіма механізмами комплексу.

Перед пуском ТПК або його окремих систем у роботу, треба перевірити:

- шляхи руху транспортних засобів, проходи та робоча зона вільна від перешкод;
- відсутність течії мастила з гідросистеми, води з трубопроводів та ін.;
- гідравлічні шланги та електричні кабелі не перекручені;
- крани на трубопроводах знаходяться у правильному положенні (положення ручки за трубою свідчить – «відкрито»);
- усі панелі, огорожі, двері та ін. закріплено;
- з'єднання усіх шлангів не пошкоджено та відсутні течії.

Перед увімкненням насосу або насосної установки необхідно переконатися,

що ніхто з персоналу не знаходиться у небезпечній зоні, у який є рухливі механізми.

При огляді робочої камери, заміні різців на роторі, ремонті щита, усі двигуни повинні бути вимкнуті, а на пульті керування повинна висіти табличка «Не вмикати – працюють люди».

Машиніст щита за проханням кожного робочого, який помітив несправність у процесі роботи щита, повинен вимкнути усі гідромотори приводу щита та комплексу.

Перед початком монтажу кільця збірної оправи тунелю, оператор та головний механік щита повинні оглянути блокоукладальник.

Подавати сигнали оператору блокоукладальника дозволяється тільки тому робочому, якого призначає людина технічного огляду. Кожен незрозумілий сигнал повинен бути сприйнятий оператором блокоукладальника як сигнал «СТОП».

Монтаж збірної оправи повинен виконуватись під захистом хвостової оболонки щита. Забороняється залишати блок оправи у піднятому положенні по закінченню зміни або у час перерви. При відключенні електричного струму машиніст щита повинен негайно відключити усі електродвигуни та залишатися на місці до включення електричного струму або до спеціального розпорядження.

Транспортну стрічку необхідно періодично чистити. Ця операція повинна виконуватись тільки при зупиненому двигуні транспортерної стрічки. При транспортуванні ґрунту стрічковим транспортером у кузов автомобілю забороняється знаходитися поблизу від автомобілю. Автомобіль повинен завантажуватись так, щоб виключити вивал кусків ґрунту та інших матеріалів з кузова у процесі руху авто. Автомобілі повинні пересуватися по тунелю зі швидкістю, яка не допускає травмування людей та пошкодження обладнання, максимально допустима швидкість руху автомобілів по тунелю 20 км/год. Буксировка несправних автомобілів у підземних виробках повинна відбуватися тільки за допомогою жорсткого зчепу довжиною не більше 1 м.

Автомобілі для перевозки по тунелю розробленого ґрунту, блоків оправи та матеріалів повинні бути обладнані каталізаторами вихлопу. Для забезпечення безпечного пересування людей по тунелю при автомобільній відкатці ґрунту, треба обладнати спеціальні «острівки безпеки», які мають собою мостики шириною не менше 0,6 м з поручнями висотою 1 м. Довжина такого «острівку» повинна бути не менше 5 м, а максимальна відстань між ними 100 м.

ТПК відноситься до другої категорії електропостачання і тому повинен мати живлення від двох незалежних джерел електроенергії

Монтаж та експлуатація електроустанов силових та освітлювальних мереж повинні відповідати вимогам «Правила електробезпеки на виробництві» та «Правила безпечної експлуатації електропристроїв». Живлення освітлювальної мережі повинно забезпечуватися від двох незалежних джерел електроенергії та відповідати усім вимогам, які у документації до ТПК. Усі електрообладнання повинно бути ізольовано, а струмоведучі частини недосяжні для доторкання. Електропроводка повинна бути захищена від механічного пошкодження.

У тунелі спроектовано пожежний трубопровід діаметром 100 мм. Через кожні 100 м від повинен мати стоянки для відводу води, які мають бути обладнані гайками Богданова.

Мастильні матеріали, які знаходяться у робочій зоні, повинні зберігатися у металевих ящиках з кришкою. Електроустановки у робочій зоні повинні мати не менше двох порошкових вогнегасників, ящик з піском та лопату.

При виконанні робіт на висоті більше ніж 1,3 м необхідно встановлювати полки або підмости. Виконувати роботи з драбини забороняється. При неможливості установки захисних підмостків, роботи виконують з застосуванням страхувального поясу.

При проведенні робіт у робочій камері шита необхідно дотримуватись вимог «Правила з охорони праці при виконанні робіт під стиснутим повітрям» та проектом виконання робіт під стиснутим повітрям.

Водії тунельних автомобілів перед початком робіт повинні бути ознайомлені з цим ПВР під підпис. Роботи виконувати у відповідності з

інструкцією, яку розроблено автобазою.

Видача потерпілого у разі нещасного випадку на поверхню, після надання йому невідкладної допомоги, виконується за допомогою автотранспорту.

При виникненні аварійних ситуацій виконувати дії, зазначені у плані ліквідації аварії.

До виконання робіт по спорудженню тунелю допускаються особи не молодше 18 років. Робітники, що поступають або переводяться на будівництво тунелю повинні пройти навчання по техніці безпеки. З робочими, що суміщають декілька професій, повинне бути проведене навчання та інструктаж по усім професіям.

Разове відвідування тунелю особами, не працюючими на будівництві допускається лише з дозволу керівника об'єкта та лише у супроводі особи технічного надзору та після попереднього інструктажу.

Начальник ділянки або його заступник повинен перевіряти стан кожного робочого місця не менше одного разу на добу, гірничий майстер – не менше двох раз на зміну.

Приписи працівників, що здійснюють державний нагляд, відомчий та авторський нагляд, в тому числі дотримання техніки безпеки, є обов'язковим для виконання всіма працівниками.

Робочі місця повинні забезпечуватись нормальним провітрюванням, освітленням, засобами оповіщення, знаходитись у стані, що забезпечує безпеку працюючих та перед початком робіт оглядатися гірничим майстром.

Усі працівники повинні забезпечуватись та вміти користуватись індивідуальними засобами захисту, передбаченими «Правилами безпеки при будівництві метрополітенів та підземних споруд».

Інструкція по охороні праці повинна знаходитись на будівельній ділянці в доступному для працюючих місці.

5.5 Вимоги до розроблення та комплектації планів з ліквідації аварій (ПЛА)

ПЛА розробляється у двох примірниках зі щорічним коригуванням та перепогодженням і є заздалегідь спланованою системою узгоджених дій. ПЛА має бути пронумерований, зброшурований, затверджений і узгоджений відповідними організаціями, а також скріплений печатками підприємств і організацій, які узгодили його. ПЛА метрополітену підписується особою, відповідальною за його розробку, та затверджується керівником метрополітену. Витяг з ПЛА стосовно позиції окремої станції метрополітену підписується начальником станції та затверджується заступником керівника метрополітену, на якого згідно з розподілом функціональних обов'язків покладено відповідальність за розробку та комплектацію ПЛА метрополітену.

ПЛА включає аналітичну частину з урахуванням вимог глави 3 Інструкції, титульний лист, оперативну частину, додатки та оперативно–технічну документацію для роботи командного пункту (штабу) з ліквідації аварії.

Склад оперативної частини:

а) Позиції, які розробляються у вигляді таблиць. Кожна позиція має містити види небезпеки та заходи, що здійснюються негайно у разі виникнення аварій і які повинні забезпечувати: першочергові заходи з рятування людей, локалізації аварійної дільниці, ліквідації аварії та попередження її розвитку; визначення відповідальних осіб за виконання заходів; визначення маршрутів виводу (евакуації) пасажирів з потягів, людей зі станцій та ескалаторів, працівників метрополітену з осередку аварії та їх порятунк; завдання відділенням ДСВГРС, територіальному органу управління МНС та ВО.

Першочергові заходи повинні включати: режими роботи систем постачання повітря, енергопостачання та роботи транспорту; порядок використання засобів протипожежного та протиаварійного призначення підрозділу ДСВГРС та метрополітену. Відповідальними за правильність розроблення позицій є головний інженер метрополітену, командир підрозділу (загону) ДСВГРС та територіального органу управління МНС, що обслуговують відповідний

метрополітен.

б) Обов'язки посадових осіб, які беруть участь у ліквідації аварії.

в) Список посадових осіб підрозділів ДСВГРС, територіального органу управління МНС, ВО та керівництва метрополітену, інших служб та установ, які повинні бути негайно повідомлені про аварію на об'єкті.

г) Порядок дій працівників метрополітену у разі виникнення аварій.

д) Відомості щодо потреб та наявності засобів індивідуального захисту з переліком місць розташування, найменуванням та кількістю, порядком та термінами видачі, а також, інструментів і матеріалів, що можуть бути використані при ліквідації аварій.

е) Ситуаційний план метрополітену у плані міста з нанесенням станцій, під'їзних шляхів до них, будинків, виробничих споруд, водоймищ.

ж) Схеми окремих станцій з прилеглими тунелями із зазначенням запасних виходів, засобів протипожежного захисту, вентиляційних пристроїв, залізничних колій, резервуарів, насосів, водопроводів, пожежних кранів, гідрантів, складів аварійних матеріалів, газопроводів, трубопроводів стисненого повітря, ємностей легкозаймистих матеріалів тощо.

з) Схеми евакуації з визначенням порядку оповіщення населення та працівників про початок евакуації, розрахунки щодо максимально можливої кількості населення, склад евакуаційних органів метрополітену та термін приведення їх у готовність.

и) План-схеми електро- та пневмопостачання (за необхідності).

У додатки до ПЛА входять:

а) Протокол технічної наради у головного інженера Метрополітену.

б) Наказ (розпорядження) по метрополітену, що визначає склад штабу з ліквідації аварії та місце його розташування (основне і запасне), призначення посадових осіб уповноваженими керівниками робіт з ліквідації аварій та порядок оповіщення про аварії.

в) Плани взаємодії всіх учасників протиаварійних дій.

г) План проведення спеціальних періодичних навчань і тренувань посадових

осіб відповідного метрополітену, що мають право на введення у дію ПЛА.

д) Акт перевірки стану запасних виходів з приміщень (дільниць), споруд та об'єктів (станцій) метрополітену та їх придатності для евакуації людей і пересування рятувальників у респіраторях.

е) Акт перевірки наявності та стану вентиляційних пристроїв і вентиляції в приміщеннях (дільницях), спорудах та об'єктах (станціях) та їх працездатності.

ж) Акт перевірки наявності і стану засобів повідомлення про аварію в приміщеннях (дільницях), спорудах і на станціях метрополітену та їх працездатності.

з) Акт перевірки наявності і справності протипожежного обладнання, водогонів (трубопроводів) та засобів автоматичного пожежогасіння.

и) Акт перевірки наявності і стану мереж енергопостачання в приміщеннях (дільницях) і спорудах об'єктів (станціях) та їх працездатності.

к) Акт перевірки наявності і стану засобів індивідуального захисту органів дихання працівників у приміщеннях (дільницях) і спорудах об'єктів (станціях).

ВИСНОВКИ

1. В бакалаврській роботі виконано аналіз інженерно-геологічних умов будівництва. На основі проведених вишукувань можна зробити висновок, що умови у місці будівництва дуже різноманітні, але характеризуються саме слабкими ґрунтами (декілька видів піску, супіску та глини).

2. На основі досліджених інженерно-геологічних умов розроблені варіанти оправи перегінного тунелю та виконане техніко-економічне порівняння. Хоча варіант з чавунних тюрбінгів потребує менших трудовитрат, за прямими витратами він буде значно більшим. Тому для подальшої розробки було прийнято варіант із трапецієвидних блоків із залізобетону.

3. Визначено навантаження на оправу перегінного тунелю. Проведений статичний розрахунок оправи перегінного тунелю як кільця, що вільно деформується, за допомогою програми MKVD Excel з пакету Microsoft Office 2007 for Windows.

4. Обґрунтовано параметри міцності конструктивного елементу перегінного тунелю (залізобетонний блок). Умова міцності залізобетонного блоку оправи як елементу, що працюють в умовах стиснення з вигином, виконана, запас міцності – 1,93 рази.

5. Розроблений проєкт проходки перегінного тунелю Київського метрополітену за допомогою щита «Херренкнехт». Розроблені положення спорудження розробки породи під час щитової проходки, циклу монтажу кілець і транспортування ґрунту та матеріалів. 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 «Укранхбудінформ», 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.И. Опыт освоения подземного пространства государственной корпорацией «Укрметротоннельстрой». / Сб. научн. трудов НГАУ. – Днепропетровск : НГАУ, 1997. – С. 125-128.
11. Петренко, В. И. Современные технологии строительства метрополитенов в Украине [Текст] / В. И. Петренко, В. Д. Петренко, А. Л. Тютюкин. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – 252 с.

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

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