

ЗАЯВА

Я, Агєєв Антон Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

студента(ки) групи МГ 2022 ННЦ «Мости і тунелі»

спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

(код та назва спеціальності)

освітньої програми «Мости і транспортні тунелі»

(назва освітньої програми)

освітнього ступеня «магістр»

(бакалавр, магістр)

заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:

«Обґрунтування цитової прохідної, що відбувається в
середню шахту, із аналізом виїмки оприби»

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)

Агєєв А. О.
(прізвище, ім'я, по батькові)

Дата

06.12.21

Керівник ВКР


(підпис)

Олександр Родик
(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) «магістр»


Агеева Антона Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: Обґрунтування чинності нормативних актів,
що відносяться в сфері маєвщини,
із аналізом версій актів.

в роботі не виявлено порушень академічної доброчесності.

Керівник ВКР


(підпис)

Олександр Дювкін

(прізвище, ім'я, по батькові)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний університет науки і технологій
Кафедра «Транспортна інфраструктура»

До захисту:
Завідувач кафедри ТІ

_____ Олексій ТЮТЬКІН
« ____ » _____ 2021 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття ОС «магістр»

Галузь знань 19 «Архітектура та будівництво»
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
ОПП «Мости і транспортні тунелі»

Тема: «Обґрунтування щитової проходки,
що відбувається в слабкому масиві, із аналізом варіації оправи»
Theme: "Rationale for the shield driving technology in a weak massif
with the analysis of the variation of the lining options"

Керівник магістерської роботи	<u>Д.т.н., проф.</u> (посада)	_____ (підпис)	<u>Олексій ТЮТЬКІН</u> (ПІБ)
Консультант розділу з БЖД	<u>К.т.н., доц.</u> (посада)	_____ (підпис)	<u>Юрій ЗАЯЦЬ</u> (ПІБ)
Нормоконтролер	<u>Д.т.н., проф.</u> (посада)	_____ (підпис)	<u>Олексій ТЮТЬКІН</u> (ПІБ)
Виконавець, студент групи МТ2022		_____ (підпис)	<u>АНТОН АГЄЄВ</u> (ПІБ)
Student			<u>Anton ANIEIEV</u>

2021 р.

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реферат

Дипломна робота магістра представлена на ____ сторінках та містить ____ рисунків, ____ таблиць, ____ літературних джерел.

Об'єкт дослідження або розробки: перегінний тунель.

Предмет дослідження: силові фактори в оправі перегінного тунелю із урахуванням її варіації.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні щитової проходки, що відбувається в слабкому масиві, із аналізом варіації оправы.

В дипломній роботі магістра вирішені наступні **задачі:**

1. Проаналізовані інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови будівництва.

2. Проведено варіантне проєктування оправы перегінного тунелю та виконано техніко-економічне порівняння варіантів.

3. Виконано статичний розрахунок та проаналізовано силові фактори із аналізом варіації оправы.

4. Обґрунтовано технологію щитової проходки перегінного тунелю в слабкому масиві.

5. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях при щитовій проходці.

Галузь застосування: метробудування.

Ключові слова: перегінний тунель, щитова проходка, слабкий масив, статичний розрахунок, силові фактори, метод скінченних елементів, охорона праці.

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.7 Гідроізоляційні роботи	
при щитовій проходці	
5.8 Розрахунок вентиляції при щитовій проходці	
5.9 Допоміжні роботи	

Розділ 6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях ...

6.1 Роботи, що виконуються на об'єкті	
6.2 Машини та механізми, які задіяні на об'єкті	
6.3 Основні небезпечні виробничі фактори	
6.4 Вимоги безпеки праці під час щитової проходки	
6.5 Складання і реалізація планів ліквідації аварій	
на будівництві підземних споруд	

Загальні висновки

Бібліографічний список

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Будівництво підземних об'єктів у мегаполісах повинне здійснюватися комплексно й планомірно, щоб вони створювали єдину транспортну систему, пов'язану з наземними й надземними спорудами. У першу чергу підземний простір повинний освоюватися в центральних районах міст, що мають найбільший дефіцит у вільних територіях і максимально завантажені транспортом [15].

Необхідність розвитку складної транспортної системи мегаполісу залежить від його величини, яку встановлюють по кількості населення. В центральній частині в умовах щільної забудови, при наявності архітектурних, історичних пам'яток та різного роду охоронних зон, при необхідності перетину значних по глибині та ширині водотоків, як правило, будують лінії метрополітену глибокого закладення, незважаючи на високу вартість та значні трудовитрати [16, 23].

Розвиток сучасного міста, поряд з рішенням архітектурно-планувальних задач та проблем інженерного облаштування територій, передбачає також вдосконалення транспортної системи, та, в першу чергу, тієї її частини, яка відноситься до пасажирських перевезень. Зростання пасажиропотоків, збільшення дальності переміщень, необхідність скорочення часу на поїздки потребує підвищення швидкості сполучення з одночасним забезпеченням надійності, безпеки та комфортності пасажирських перевезень.

В умовах мегаполісу, коли необхідно забезпечити збереження попередньої забудови та споруд, які являють собою історичну цінність, ці транспортні проблеми, які підтверджує світовий досвід, вирішуються за допомогою підземних ліній метрополітену [1, 2].

Будівництво метрополітену в великих містах в наданий час стало можливим завдяки розвиненій виробничо-технічній базі та використанню щитових механізованих комплексів, які дозволяють досягнути високої продуктивності праці та великих швидкостей проходки перегінних тунелів.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.MP.2021.000				

Щитова проходка є основним способом спорудження тунелів в слабких грунтах. Різноманітність та складність інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов, у яких споруджуються перегінні тунелі, виключає стандартний підхід до вибору типів конструкції оправ і способів виконання робіт. У кожному випадку умов приймаються різні проєктні рішення, і тому вибір найбільш доцільного з них вимагає творчого застосування знань.

Будівництво підземних споруд пов'язано із значними капітальними вкладеннями. Залежно від виду підземного об'єкта кошторис будівництва у 1,5...2 рази і більше перевищувати кошторис будівництва аналогічних наземних споруд. Але витрати істотно знижуються при застосуванні прийомів новітніх технологій щитової проходки, що дозволяє використовувати прогресивні індустриальні конструкції і швидкісні та економічні способи спорудження.

Відповідно до розглянутих вище умов економічний ефект підземного будівництва може бути виявлений при порівнянні усіх витрат на спорудження та експлуатацію підземної споруди. При цьому необхідно у кожному випадку враховувати її особливості, місце розташування, інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови, характер планування та забудови міського району, умови руху наземного транспорту та пішоходів, ступінь благоустрою інженерного обладнання території тощо.

Метою магістерської роботи є обґрунтування щитової проходки, що відбувається в слабкому масиві, із аналізом варіації оправ.

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1

Аналіз інженерно-геологічних умов будівництва

Основним завданням інженерно-геологічних досліджень для обґрунтування проєктування і будівництва перегінного тунелю є вивчення інженерно-геологічних умов району, що дозволяє правильно і економічно запроєктувати, побудувати і експлуатувати метрополітен. Результатом досліджень є інформація про будову і склад гірського масиву та про гідрогеологічні умови.

Від точності інженерно-геологічних даних залежить безпека тих людей, що працюють та збереження міських наземних будівель і комунікацій. Тому до якості досліджень в метробудуванні пред'являють особливо високі вимоги. Дослідженнями мають бути встановлені наступні основні відомості:

- геологічна будова ділянки (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 водоприливів, температура і хімічний склад підземних вод);
- фізико-механічні властивості порід;
- можливість прояву при будівництві негативних процесів (розвиток великого гірського тиску, утворення вивалів породи в забої, проривання пливунів).

У наданій магістерській роботі розглядається спорудження перегінного тунелю за допомогою технології щитової проходки, яка відбувається в слабкому масиві, тобто в складних інженерно-геологічних та гідрогеологічних умовах.

Спосіб проходки перегінного тунелю значно залежить від місцевих інженерно-геологічних умов. На основі проведених вишукувань можна зробити висновок, що у місці будівництва дуже різноманітні інженерно-геологічні

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.MP.2021.000				

умови. Було виявлено багато видів піску, супіску та глини.

Верхній шар ґрунту протягом 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.

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

Такий тип піску характеризується наявністю прошарків сірого супіску та пилуватого піску. Щільність цього шару ґрунту середня, що обумовлює вибір проходки тунелю щитовим комплексом з ґрунтовим пригрузом. Масивність шару піску сягає у деяких місцях до 20 метрів. Місцями насичений водою. Природна вологість ґрунту $W=0,02\dots0,05$.

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.

Цей тугопластичний суглинок залягає на глибині 22 метра потужністю до 1,5 метра. Природна вологість суглинку W дорівнює 0,31.

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.

Нижче шару сірого піску залягають масивні шари сірого та жовто-бурого супіску. Колір цього супіску характеризується наявністю жовтих та малинових плям. До властивостей такого супіску можна віднести твердість, пластичність, текучість. Шари супіску залягають на глибині від 20 до 23 метрів, максимальна потужність шару досягає 4 метрів. Природна вологість шару ґрунту W 0,06...0,23.

Останній з вишикуваних шарів є жовто-сірий кварцовий пісок. Цей ґрунт

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

011.170002.MP.2021.000

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.

					011.170002.МР.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2

Варіантне проєктування оправ перегінного тунелю

У ході варіантного проєктування виконано порівняння в технічному та економічному відношенні декількох можливих варіантів оправи на основі літературних джерел [19, 20]. В якості основного варіанту приймаються оправи із залізобетону і тільки в особливо важких інженерно-геологічних умовах допускається застосування оправ з чавунних тюбінгів.

2.1. Конструктивні особливості збірних залізобетонних оправ

Оправи тунелів, які споруджуються із застосуванням щитової проходки, відрізняються різноманітністю конструктивних форм та матеріалів, які використовуються [24, 30]. Широке застосування в будівництві тунелів в складних інженерно-геологічних умовах за допомогою механізованих комплексів набули оправи з водонепроникних високоточних залізобетонних блоків, до яких висуваються наступні умови:

- вони не повинні мати відхилення від проєктних розмірів більше 0,5 мм, що вище вимог до чавунних тюбінгів;
- при значному гідростатичному тиску вони повинні мати водонепроникність як у межах бетону, так і в стиках;
- вони повинні сприймати навантаження від гірничого та гідростатичного тиску, від тампонажу заоправного простору, а також зусилля щитових гідроциліндрів;
- бажано обмежуватись одним конструктивним типом кільця оправи для її спорудження як на прямих, так і на кривих ділянках траси;
- вони повинні допускати виготовлення блоків територіально близько від місця будівництва тунелю.

Число та розміри блоків з перев'язкою швів в кільці повинно відповідати числу та кроку щитових гідроциліндрів. Досвід робіт показує, що при монтажі чергового блоку оправи для попередження видавлювання блоків раніше

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.MP.2021.000				

змонтованого кільця прибирають мінімальну кількість щитових гідроциліндрів. При цьому в попередньому кільці не повинен знаходитись блок, повністю звільнений від зусилля гідроциліндрів [12, 13, 19].

Для попередження зміщення суміжних кілець оправи кільцевий стик блоків виконується за схемою «паз-виступ».

Теоретична максимальна ширина кільця оправи залежить від її діаметру та мінімального радіуса кривої на трасі.

Нові технічні засоби монтажу, такі як пневматичний захват, не обмежують розмірів та вагу елементів оправи, але при цьому необхідно мати момент обертання кільцевого укладальника не менше суми максимальної ваги блока та зусилля, необхідного для обжимання прокладок.

Поперечний переріз елементів оправи вибирається, як правило, суцільним, що є більш раціональним за критеріями водонепроникності, технології виготовлення та вартості.

Зв'язки між елементами оправ бувають конструктивні, сприймаючі внутрішні зусилля та працюючі протягом всього терміну служби споруди, та монтажні, тимчасово використані в процесі монтажу оправи. На відміну від традиційних рішень постановки конструктивних зв'язків розтягу, в оправі з універсальних кілець такі зв'язки відсутні.

Відсутність вказаних зв'язків компенсується комплексом спеціальних технічних рішень [13]:

- висока точність виготовлення блоків, з допусками до 0,5 мм;
- конструкція радіальних та кільцевих стиків;
- технологія монтажу кільця з високою точністю установки елементів оправи;
- технологія нагнітання розчину через отвори в блоках або канали в оболонці щита, безперервно та достатньо рівномірно утворюючого навколо кілець пружній відпір при їх сходженні з хвостовою оболонкою.

Як показує досвід будівництва тунелів, що залягають в слабкому масиві, вказаними заходами може бути забезпечена жорсткість оправи з універсальних

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.MP.2021.000				

кілець без зв'язків розтягу, необхідна для її стійкості в період експлуатації.

В практиці будівництва тунелів із застосуванням механізованих щитів з активним привантаженням забою наявний позитивний досвід використання оправ із залізобетонних блоків з металевим екраном, обжимаючих породу [7, 29, 31, 32]. Радіальні стики між блоками в кільці приймають плоскими, зі зменшеною площадкою обпирання по висоті перерізу за рахунок прокладок та чеканочної канавки. В радіальних стиках передбачаються тимчасові монтажні болти, встановлені нахилоно та загвинчені в полімерні втулки сусіднього блоку. Монтажні болти знімаються через 30...50 кілець та використовуються повторно.

2.2 Варіант 1. Оправа із чавунних тюбінгів

Перевагами цієї оправи є мінімальна кількість типорозмірів тюбінгів, повна водонепроникність за будь-якого гідростатичного тиску й простота забезпечення перев'язки поздовжніх стиків у суміжних кільцях (простим зміщенням замкового елемента ліворуч і праворуч від вертикальної осі на 1...2 болтових кроки). Недоліком цієї оправи є відсутність плоскої поверхні в лотку і як наслідок – необхідність улаштування колії для відкатки на дерев'яному настилі або бетонній основі, а також складність подальшого очищення лотка від бруду.

Конструктивні рішення чавунних тюбінгових оправ відрізняються кількістю типорозмірів елементів, що складають кільце.

Кільце оправи без плоского лотка має три типорозміри тюбінгів: 1) нормальний «н», обидва поздовжніх борти якого спрямовані радіально; 2) замковий «з» клиноподібної форми; 3) суміжний «с», у якого один поздовжній борт, що примикає до замкового тюбінга, скошений.

Для визначення товщини блоків скористаємося емпіричною формулою [19]:

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

де $R_{вн}$ – внутрішній радіус оправи в м (приймається рівним 2,75 м за умови застосування прохідницького щита «Херренкнехт» із діаметром в світлі 6,1 м); f – коефіцієнт міцності породи, за класифікацією проф. М. М. Протод'яконова; n – емпіричний коефіцієнт, який дорівнює $n=7,5$ для чавунних тубінгів. Приймаємо $h = 20$ см.

Ширина кільця визначає 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 призначають для тунелів середніх і великих діаметрів ($D_{вн} > 5,0$ 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.

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

Приймаємо ширину кільця 0,75 м.

Загальну кількість елементів у кільці можна прийняти рівною:

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

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

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. Таку перевірку проводимо після розбивки кільця на елементи.

Приймаємо кількість елементів – 7.

Завданням розбивки кільця на елементи є визначення розмірів та положення всіх типорозмірів елементів в кільці. Розбивку кільця на елементи

									011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

кутом замкового елемента α_3 . Для випадку кільця без лоткового елемента визначаємо кут суміжного α_c (рис. 2.1).

6. Перев'язку поздовжніх стиків проводимо таким чином, що суміжні кільця повертаються одне відносно одного на половину куту нормального елемента

$$\frac{\alpha_n}{2} = \frac{51^\circ}{2} = 25.5^\circ$$

2.3 Варіант 2. Оправа із залізобетонних тюбінгів В40

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

Для визначення товщини блоків користуємося емпіричною формулою [19]:

$$h = n \sqrt[3]{\frac{R_{вн}^2}{f}} = 9 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,75^2}{0,6}} = 20,95 \text{ см}$$

де $R_{вн}$ – внутрішній радіус оправи в м (приймається рівним 2,75 м за умови застосування прохідницького щита «Херренкнехт» із діаметром в світлі 6,1 м); f – коефіцієнт міцності породи, за класифікацією проф. М. М. Протод'яконова; $n=9$ – для залізобетонних тюбінгів з бетону класу В40.

Приймаємо $h = 25$ см, ширину кільця рівною 1 м, а кількість елементів – 7. Розбивку на елементи кільця Варіанту 2 виконуємо, виходячи із наступних міркувань:

1. Усі нормальні елементи («н») мають однаковий центральний кут α_n .
2. Центральний кут замкового елемента («з») α_3 рівним 6...10°. Якщо розрахунок проводиться в довжинах, то довжину по дузі елемента («з») приймають рівною $l_3 = 0,3 \dots 0,5$ м.
3. Для спрощення побудов центральний кут лоткового елемента («л») α_l

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

011.170002.MP.2021.000

можна приймати рівним центральному куту нормального елемента («н») α_n . Якщо розрахунок проводиться в довжинах, то плоску внутрішню поверхню (плоский лоток) елемента («л») l_n приймають рівною 2,2...2,4 м.

4. Сума центральних кутів суміжного («с») α_c та половини замкового елемента α_z складає центральний кут нормального елемента («н») α_n

$$\alpha_n = \alpha_c + \frac{\alpha_z}{2} = 46^\circ + 5^\circ = 51^\circ$$

5. Перед розбивкою кільця на елементи, в залежності від діаметру оправи обираємо кількість елементів в кільці та перевіряють довжину та вагу нормального елемента l_n . Довжина та вага відповідає вимогам, задаємося кутом замкового елемента.

6. Перев'язку поздовжніх стиків проводимо таким чином, що суміжні кільця повертаються одне відносно одного на половину куту нормального елемента

$$\frac{\alpha_n}{2} = \frac{51^\circ}{2} = 25.5^\circ$$

2.4 Варіант 3. Оправа із залізобетонних блоків В30

Клинове кільце створено двома непаралельними поперечними торцевими площинами. Одна площина перпендикулярна до поздовжньої осі кільця, а інша нахилена під кутом до цієї осі, тож ширина кільця по зовнішньому діаметру міняється від максимального значення до мінімального. По центру кільця його ширина відповідає номінальній (середній).

На прямих ділянках кільця монтують попарно таким чином, що нахилені торці з'єднуються між собою й з поворотом одного кільця на 180° відносно другого. При цьому площини протилежних торців кілець набувають паралельність.

На горизонтальних та вертикальних криволінійних ділянках потрібний

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.МР.2021.000				

радіус кривої досягається поворотом одного з попарних кілець відносно іншого на відповідну величину кута.

Застосування універсальних клинових кілець дозволяє звести оправу з перев'язкою швів, яка володіє підвищеною жорсткістю. Кільце складається з одного замкового блока клинової форми, який вдавлюється до поздовжньої осі, що необхідно для обжимання ущільнюючих прокладок, двох суміжних та необхідної кількості нормальних блоків в залежності від діаметра тунелю.

Для визначення товщини блоків користуємося емпіричною формулою [19]:

$$h = n \sqrt[3]{\frac{R_{вн}^2}{f}} = 9 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,75^2}{0,6}} = 20,95 \text{ см}$$

де $R_{вн}$ – внутрішній радіус оправи в м; f – коефіцієнт міцності породи, за класифікацією проф. М. М. Протод'яконова; n – емпіричний коефіцієнт, який дорівнює $n=9$ – для залізобетонних блоків з бетону класу В30. Надана оправа вже має внутрішній радіус 2,75 м для прохідницького щита «Херренкнехт» із діаметром в світлі 6,1 м і успішно застосовується при будівництві Київського метрополітену. Приймаємо $h = 25$ см, ширину кільця рівною 1,2 м, а кількість елементів – 7.

Блоки в кільці мають плоскі стики, при цьому поздовжні торці блоку симетрично нахилені відносно поздовжньої осі тунелю так, що кожен блок має в плані трапецієвидну форму (по типу оправ, розповсюджених на будівництві колекторних тунелів). На поздовжніх торцях блоків вбудовані центровані напівциліндричні пази, яким відповідають циліндричні гребні на поздовжніх торцях сусідніх блоків. На кожному кільцевому торці блоку передбачені два пластмасових патрона, в які встановлюють пластмасово-металеві дюбелі, які забезпечують зв'язок між кільцями. Конічна форма двосторонніх дюбелів, здавлюваних в пластмасові патрони блоків двох суміжних кілець гідроциліндрами щита, в поєднанні з направляючими елементами шпунтового

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.МР.2021.000				

з'єднання блоків в кільці забезпечує високоякісний монтаж оправи.

Крім того, кожне універсальне кільце можна обертати відносно поздовжньої осі тунелю в межах 360° з перев'язкою блоків окремих кілець на половину їх довжини. Це дає можливість коригувати положення щита при проходці (рис. 2.2).

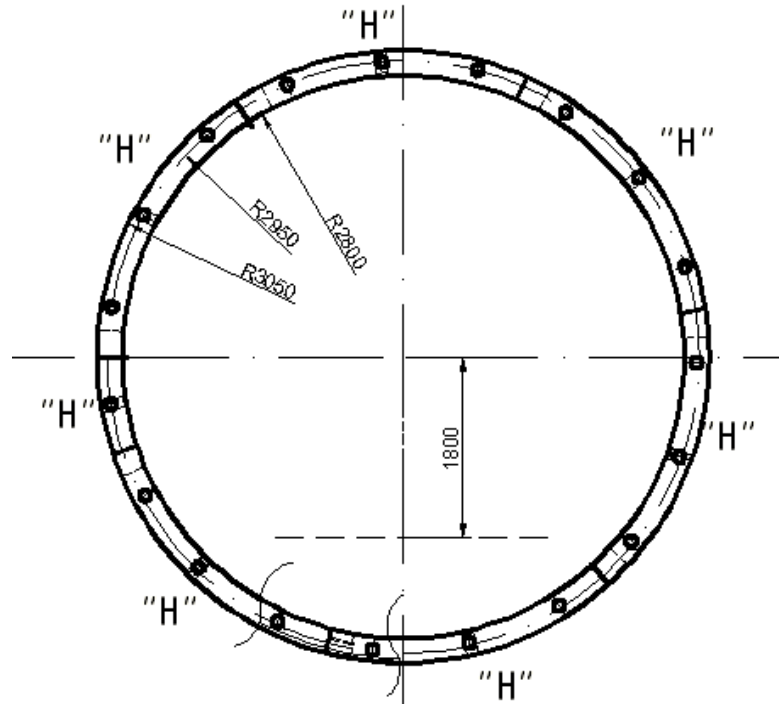


Рисунок 2.2 – Розбивка кільця без лоткового блоку на елементи

Кінематика зведення, яка передбачує три ступені свободи переміщення універсального кільця на монтажі, дозволяє використовувати такі кільця як на криволінійних, так і на прямих ділянках траси. Поворот кожного непарного універсального кільця на 180° відносно горизонтальної осі забезпечує спорудження тунелю на горизонтальному повороті, а поворот парного та непарного кілець відносно поздовжньої осі тунелю на 90° з одночасним поворотом кожного непарного на 180° відносно вертикальної осі дає можливість змінити напрям тунелю в профілі. З використанням універсального кутового кільця можуть бути пройдені й прямі ділянки траси. Для цього необхідно кожне непарне кільце розвертати на 180° відносно вертикальної осі попереднього.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

011.170002.MP.2021.000

2.5 Техніко-економічне обґрунтування варіантів оправи

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

Варіант 1

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

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

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

2. Навантаження породи (m^3):

$$V_n = k_p V_p = 1.1 \cdot 27.33 = 30 m^3$$

де k_p – коефіцієнт розрихлення дорівнює 1.1.

3. Монтаж чавунної оправи (m^3):

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

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

$$G_k = (0,24 \dots 0,30) \gamma \frac{\pi}{4} (D_{\text{зн}}^2 - D_{\text{вн}}^2) = 0.24 \cdot 7.2 \cdot \frac{3.14}{4} (5.9^2 - 5.5^2) = 6,2 t$$

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

4. Нагнітання за оправу (м^2):

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

де L_k – довжина дуги кільця по зовнішньому діаметру.

5. Чеканення швів (на один метр тунелю):

$$L_{\text{ч.ш.}} = L_{\text{вн}} + n \cdot 1 = \pi D_{\text{вн}} + n = 3.14 \cdot 5.5 + 7 = 24,27 \text{пог.м},$$

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

Таблиця 2.1

Розрахунок трудовитрат Варіанту № 1

№ п/п	Найменування робіт	Шифр	Од. виміру	Об'єм робіт	Трудовитрати, <i>чол.год</i>	
					На одиницю	На об'єм
1.	Розробка породи	29-80-7	100 м ³	27,33	38,55	10,5
2.	Навантаження породи	29-94-1	100 м ³	30	41,08	12,3
3.	Монтаж оправы	29-128-4	т	6,2	4,55	28,2
4.	Нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу	29-138-6	100 м ²	18,53	68,1	12,6
5.	Чеканення швів	29-145-16	100 м	24,27	276,5	68,3
					Всього:	131,9

Варіант 2

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

$$V_p = \frac{\pi D_{\text{зн}}^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 6^2}{4} = 28.26 m^3$$

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

2. Навантаження породи (m^3):

$$V_n = k_p V_p = 1.1 \cdot 28.26 = 31.1 m^3$$

де k_p – коефіцієнт розрихлення дорівнює 1.1.

3. Монтаж залізобетонної оправи (m^3):

$$V_k = \lambda \frac{\pi}{4} (D_{\text{зн}}^2 - D_{\text{вн}}^2) = 0.7 \cdot \frac{3.14}{4} \cdot (6^2 - 5.5^2) = 3.16 m^3$$

де $D_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр оправи; λ – коефіцієнт, який враховує наявність порожнин в залізобетонному елементі (для блоків $\lambda=1$, для тубінгів $\lambda=0,7$).

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

$$G_k = \gamma V_k l = 2.5 \cdot 3.16 \cdot 1 = 7.9 m ,$$

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

4. Нагнітання за оправу (m^2):

$$S_k = L_k \cdot 1 = \pi D_{\text{зн}} = 3.14 \cdot 6 = 18.84 m^2$$

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де L_k – довжина дуги кільця по зовнішньому діаметру.

5. Чеканення швів (на один метр тунелю):

$$L_{\text{ч.ш.}} = L_{\text{вн}} + n \cdot 1 = \pi D_{\text{вн}} + n = 3.14 \cdot 5.5 + 7 = 24,27 \text{ пог.м},$$

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

Таблиця 2.2

Розрахунок трудовитрат Варіанту № 2

№ п/п	Найменування робіт	Шифр	Од. виміру	Об'єм робіт	Трудовитрати, <i>чол.год</i>	
					На одиницю	На об'єм
1.	Розробка породи	29-80-7	100 м ³	28,26	38,55	10,9
2.	Навантаження породи	29-94-1	100 м ³	31,1	41,08	12,8
3.	Монтаж оправи	29-126-13	100 м ³	3,16	357,8	11,3
4.	Нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу	29-138-6	100 м ²	18,84	68,1	12,8
5.	Чеканення швів	29-145-11	100 м	24,27	100,33	24,4
					Всього:	72,2

Варіант 3

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

$$V_p = \frac{\pi D_{\text{зн}}^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 6,1^2}{4} = 29,21 \text{ м}^3$$

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

2. Навантаження породи (м³):

$$V_n = k_p V_p = 1.1 \cdot 29,21 = 32,13 \text{ м}^3$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.МР.2021.000				

де k_p – коефіцієнт розрихлення дорівнює 1.1.

3. Монтаж залізобетонної оправи (m^3):

$$V_k = \lambda \frac{\pi}{4} (D_{\text{зн}}^2 - D_{\text{вн}}^2) = 1 \cdot \frac{3.14}{4} \cdot (6,1^2 - 5,6^2) = 4,59 m^3$$

де $D_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр оправи; λ – коефіцієнт, який враховує наявність порожнин в залізобетонному елементі (для блоків $\lambda=1$, для тюбінгів $\lambda=0,7$).

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

$$G_k = \gamma V_k l = 2,5 \cdot 4,59 \cdot 1,2 = 13,77 m ,$$

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

4. Нагнітання за оправу (m^2):

$$S_k = L_k \cdot 1 = \pi D_{\text{зн}} = 3.14 \cdot 6,1 = 19,15 m^2$$

де L_k – довжина дуги кільця по зовнішньому діаметру.

5. Чеканення швів (на один метр тунелю):

$$L_{\text{ч.ш.}} = L_{\text{вн}} + n \cdot 1 = \pi D_{\text{вн}} + n = 3,14 \cdot 5,6 + 7 = 24,58 \text{ пог.м.},$$

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

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок трудовитрат Варіанту № 3

№ п/п	Найменування робіт	Шифр	Од. виміру	Об'єм робіт	Трудовитрати, <i>чол.год</i>	
					На одиницю	На об'єм
1.	Розробка породи	29-80-7	100 м ³	29,21	38,55	11,3
2.	Навантаження породи	29-94-1	100 м ³	32,13	41,08	13,2
3.	Монтаж оправи	29-126-13	100 м ³	4,59	357,8	16,4
4.	Нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу	29-138-6	100 м ²	19,15	68,1	13,0
5.	Чеканення швів	29-145-11	100 м	24,58	100,33	24,7
					Всього:	78,6

Техніко-економічне порівняння варіантів свідчить, що найбільш економічним з позиції трудовитрат є Варіант 2 (оправа із залізобетонних тубінгів В40) із трудовитратами 72,2 чол.-год на 1 пог. м., але її деякі негативні особливості, наприклад, складність при створенні гідроізоляції не дають змоги подальшого застосування в магістерській роботі. До подальшого розрахунку та обґрунтування щитової технології приймається Варіант 3 (Оправа із залізобетонних блоків В30), який у порівнянні із Варіантом 2 має незначне перевищення трудовитрат (78,6 чол.-год на 1 пог. м.), але переваги оправи із залізобетонних блоків В30 шириною 1,2 м, монтажем не знизу, а вздовж осі перегінного тунелю та розробленою і апробованою системою гумової гідроізоляції свідчать про те, що наданий варіант є найбільш ефективним для щитової проходки в слабких ґрунтах.

						011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Розділ 3

Дослідження міцності оправи перегінного тунелю

3.1 Визначення навантажень

Статичний розрахунок оправи проводиться для можливих несприятливих сполучень основних та додаткових навантажень на основі літературних джерел [19, 20]. Основними навантаженнями є постійні навантаження, які діють в експлуатаційній стадії:

- 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;
- 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 [9]. Для виконання досліджень в магістерській роботі достатньо виконати розрахунок оправи в експлуатаційній стадії і виконати перевірку її елементів на міцність за першим граничним станом. При визначенні нормативних навантажень від тиску порід і гідростатичного тиску підземних вод потрібно керуватися такими міркуваннями [10].

1. 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

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

011.170002.MP.2021.000

тунелями [3, 5, 10]:

$$q_b^H = \sum \gamma_i h_i = 16 \cdot 0,7 + 16 \cdot (2,4 + 4,3) + 19 \cdot 1,7 = 150,7 \text{ кН/м}^2,$$

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

- 1) для насипного ґрунту $\gamma=16 \text{ кН/м}^3$, потужність шару становить 0,7 м;
 - 2) для піску $\gamma=16 \text{ кН/м}^3$, шар розділений лінзою супіску на дві частини потужністю 2,4 та 4,3 м;
 - 3) для супіску $\gamma=19 \text{ кН/м}^3$, потужність шару – 1,7 м.
2. Горизонтальний тиск у цих породах є активним, і його нормативна середня розрахункова інтенсивність складає за результатами досліджень [10, 19].

$$q_r^H = (0,8 \dots 0,9) q_b^H = 0,9 \cdot 150,7 = 135,63 \text{ кН/м}^2$$

На рівні замка оправи горизонтальний тиск буде дорівнювати

$$q_r^3 = (0,8 \dots 0,9) (q_b^H - \gamma R_{\text{зн}}) = 0,9 \cdot (150,7 - 16 \cdot 3,05) = 91,71 \text{ кН/м}^2$$

а на рівні лотка

$$q_r^H = (0,8 \dots 0,9) (q_b^H + \gamma R_{\text{зн}}) = 0,9 \cdot (150,7 + 16 \cdot 3,05) = 179,55 \text{ кН/м}^2$$

де $R_{\text{зн}}$ – зовнішній радіус оправи; γ – питома вага породи.

4. Для порід, які наведені в п. 1-3, інтенсивність реакції породи, яка врівноважує інтенсивність вертикального гірського тиску, власної ваги оправи і виштовхувальної сили (тільки у зволжених породах), знаходять як:

$$P = q_b^P + \pi g - 0,5 \pi R_{\text{зн}} = 165,77 + 3,14 \cdot 9,81 - 0,5 \cdot 3,14 \cdot 3,05 = 191,78 \text{ кН},$$

де q_b^P – розрахункове значення вертикального тиску; $g=9,81 \text{ м/с}^2$ –

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

011.170002.MP.2021.000

прискорення вільного падіння.

У сухих породах або водонепроникних шарах остання складова у формулі (6.7) відсутня.

5. Відповідно до вимог ДБН [10] у розрахунку оправи за несучою здатністю величину розрахункових навантажень визначають шляхом множення нормативних навантажень на коефіцієнт перевантаження n :

$$q_b^p = nq_b^H = 1,1 \cdot 150,7 = 165,77 \text{ кН/м}^2$$

$$q_r^p = nq_r^H = 0,8 \cdot 135,63 = 108,5 \text{ кН/м}^2$$

6. Нормативна власна вага оправи визначається як:

$$p^H = \frac{G_k}{2\pi r} = \frac{16,38}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,9} = 0,91$$

де G_k – маса кільця оправи (приймається за об'ємом, який визначено під час проектування варіантів); $r = \frac{R_{вн} + R_{зн}}{2} = \frac{2,8 + 3,05}{2} = 2,925 \text{ м}$ – середній радіус оправи.

Розрахункове значення власної ваги оправи визначається множенням на коефіцієнт перевантаження $p^p = np^H = 1,1 \cdot 0,91 = 1,001$.

Для розрахунку оправи методом скінченних елементів на основі модифікованого методу Метродіпротрансу потрібно задатися коефіцієнтом пружного відпору [27, 28]. Без сумніву, у визначених породах боковий (горизонтальний тиск) вважається активним, які і було розраховано вище, але специфіка методу Метродіпротрансу потребує завдання деформаційних характеристик пружним стрижням. Тому для слабких порід (супіску, піску та суглинку) приймаємо Коефіцієнт пружного відпору k рівним $5 \cdot 10^4 \text{ кН/м}^3$, що відповідає коефіцієнту міцності за М. М. Протод'яконовим $f = 0,4 \dots 0,8$ (I-II категорія порід). Таке мале значення коефіцієнту пружного відпору, тобто

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.MP.2021.000					

пасивної взаємодії, достатньо відповідає активному навантаженню в подібних породах, і таку заміну можна вважати адекватною. Власна вага кільця при розрахунку методом скінченних елементів SCAD буде враховуватися автоматично [21, 22, 27].

3.2 Розрахунок оправи методом скінченних елементів на основі модифікованого методу Метродіпротрансу

3.2.1 Теоретичні основи методу Метродіпротрансу

Важливе значення в розрахунках підземних споруд має взаємодія оправи з навколишнім масивом [3, 28, 30]. Принцип взаємодії дозволяє враховувати роль масиву порід у забезпеченні міцності й стійкості підземних споруд і максимально використовувати власну несучу здатність масиву, відповідно полегшуючи й здешевлюючи підземні конструкції. Одним з видів взаємодії оправи з масивом є пружний відпір, що відображає пружні властивості породи. Урахування пружних властивостей породи при розрахунку підземного спорудження має найважливіше значення.

В оправах підковоподібного і кругового обрисів облік пружного відпору не представляє утруднень. Ці види оправи розраховуються методом Метродіпротранса, у якому можливе визначення реакцій породи, а також точок зони відлипання та зони пружного відпору, тобто уточнення границь епюри пружного відпору. Загальні положення методу Метродіпротрансу зводяться до наступного. Криволінійний контур нейтральної осі оправи (рис. 3.1) із змінною жорсткістю замінюється вписаним багатокутником [21, 26].

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

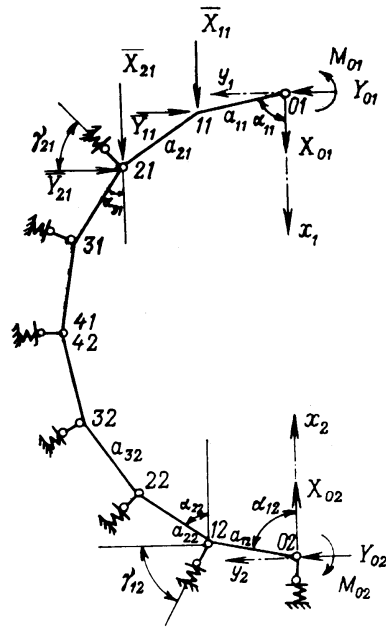


Рисунок 3.1 – Основна схема методу Метродіпротрансу

Його сторони наділяються різною жорсткістю, рівною середній жорсткості конструкції в межах відповідної ділянки. Тому безперервна зміна жорсткості замінюється ступінчастою. Вписаний багатокутник може мати сторони різної довжини в межах відпорної зони, де діє пружний відпір породного масиву, і безвідпорної зони, де пружний відпір породного масиву відсутній. Безвідпорна зона приймається з центральним кутом $2\varphi^0=90-150^\circ$. Відпорна зона напівсклепіння ділиться на $(j+0,5)$ частин і вершини багатокутника розташовуються на межах між ними. Інша частина напівсклепіння, яка лежить вище крайньої вершини безвідпорної зони, ділиться на три – шість частин із розташуванням вершин на межах між ними і в замку склепіння. У збірних конструкціях з шарнірними стиками вершини багатокутника приймаються в стиках і середніх перетинах елементів. Збільшення числа сторін багатокутника підвищує точність розрахунків, але разом із тим збільшує об'єм обчислювальних операцій.

Активні навантаження (гірський тиск, власна вага конструкцій тощо) прикладаються у вершинах багатокутника у вигляді зосереджених сил. Ці сили приймаються рівними рівнодіючим розподілених навантажень у межах діляниць між серединами суміжних сторін вписаного багатокутника.

									011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Породи, які взаємодіють з оправою в межах відпорної зони, замінюються пружними опорами у вершинах вписаного багатокутника. Якщо сили тертя між оправою і породою не враховуються, пружні опори розташовуються по нормалі до зовнішньої поверхні оправи, а при врахуванні сил тертя – повертаються вниз на кут тертя. Якщо коефіцієнт пружного відпору змінюється по висоті оправи, жорсткість пружних опор приймається різною і рівною добутку опірної площі конструкції між серединами суміжних сторін багатокутника і середньої величини коефіцієнта пружного відпору в межах цієї площі.

Для розрахунку таких пружних систем використовується метод сил. Основну систему доцільно утворити введенням шарнірів у вузлах багатокутника, де встановлені пружні опори, а також у замковому перетині, якщо в ньому відсутній конструктивний шарнір. Тоді зайвими невідомими будуть парні згинаючі моменти M_k у вказаних перетинах.

Система канонічних рівнянь для визначення невідомих M_k має вигляд

$$\sum_{k=0}^{k=n} M_k \delta_{ik} + \Delta_{ip} = 0 \quad (i = 0, 1, 2, \dots, n), \quad (3.1)$$

де (δ_{ik} – переміщення основної системи у напрямі невідомого M_i від дії парних моментів у точках k ; Δ_{ip} – переміщення у тому ж напрямі від навантажень.

У матричній формі рівняння (3.1) записується таким чином:

$$AX + \Delta_p = 0, \quad (3.2)$$

де A – збільшена в E разів матриця переміщень δ_{ik} ; X – матриця-стовпець невідомих M_k ; Δ_p – збільшена в E разів матриця-стовпець переміщень Δ_{ip} .

Вказані переміщення δ_{ik} визначаються рівнянням

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.MP.2021.000				

$$\delta_{ik} = \sum \int \frac{\bar{M}_i \bar{M}_k}{EI_m} ds + \sum \frac{\bar{N}_i \bar{N}_k}{EF_m} a_m + \sum \frac{\bar{R}_i \bar{R}_k}{bk_m a'_m}, \quad (3.3)$$

а переміщення Δ_{ip} – тим же рівнянням (3.3) при заміні $\bar{M}_k, \bar{N}_k, \bar{R}_k$ відповідно на M_p, N_p, R_p , де підсумовування здійснюється по m , що вказує індекс стержня системи; $\bar{M}_i, \bar{N}_i, \bar{R}_i$ – згинаючі моменти, нормальні сили та опорні зусилля в основній системі від дії парних одиничних моментів у точках i ; $\bar{M}_k, \bar{N}_k, \bar{R}_k$ – ті ж зусилля від дії парних одиничних моментів в точках k ; M_p, N_p, R_p – ті ж зусилля від дії навантажень; I_m, F_m, a_m – відповідно момент інерції, площа перетину і довжина m -го стержня багатокутника; b – розрахункова ширина оправи на поздовжній осі виробки; k – середній коефіцієнт пружного відпору породи на площі ba'_m ; a'_m – напівсума довжин суміжних стержнів m і $(m-1)$; m – індекс стержня багатокутника, відповідний індексу верхнього вузла.

Перший член рівняння (3.3) враховує вплив згинання стержнів на переміщення основної системи, другий – нормальних зусиль у стержнях, третій – осадки пружних опор.

Визначення моментів $\bar{M}_i, \bar{M}_k, \bar{M}_p$ ускладнень не викликає. Для визначення нормальних сил $\bar{N}_i, \bar{N}_k, \bar{N}_p$ і опорних зусиль $\bar{R}_i, \bar{R}_k, \bar{R}_p$ доцільно скористатися методом послідовного вирізання вузлів основної системи.

Правильність обчислення зусиль в основній системі можна перевірити, визначивши їх від одиничних моментів, прикладених відразу у напрямі всіх невідомих, і потім перевіривши вірність таким рівнянням:

$$\begin{aligned} \sum \bar{M}_{mk} &= 1; \\ \sum \bar{N}_{mk} &= 0; \\ \sum \bar{R}_{mk} &= 0. \end{aligned} \quad (3.4)$$

						011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

У правильності обчислення зусиль від зовнішнього навантаження можна пересвідчитися, вирізавши частини основної системи і спроектувавши зусилля на осі координат.

Для контролю правильності визначення переміщень основної системи доцільно скористатися такими рівняннями:

$$\delta_{ss} = \sum \delta_{ik} ; \quad (3.5)$$

$$\Delta_{sp} = \sum \Delta_{ip} , \quad (3.6)$$

де δ_{ss} і Δ_{sp} – контрольні переміщення, що обчислюються за формулами (3.5) і (3.6) внаслідок сполучення сумарного стану s відповідно з самим собою і з вантажним станом p .

Після визначення переміщень δ_{ik} , Δ_{ip} і перевірки їх правильності розв'язується система канонічних рівнянь відносно невідомих M_k . Тоді згинаючі моменти M_m , нормальні сили N_m і реакції опор R_m у вузлі і стержні конструкції будуть визначатись:

$$M_m = M_{mp} + \sum_k M_k \bar{M}_k ; \quad (3.7)$$

$$N_m = N_{mp} + \sum_k M_k \bar{N}_k ; \quad (3.8)$$

$$R_m = R_{mp} + \sum_k M_k \bar{R}_k , \quad (3.9)$$

де \bar{M}_{mk} , \bar{N}_{mk} , \bar{R}_{mk} – відповідно згинаючі моменти, нормальні сили і опорні зусилля у вузлі і стержні m основної системи від парних одиничних моментів у вузлах k ; \bar{M}_{mp} , \bar{N}_{mp} , \bar{R}_{mp} – ті ж зусилля від дії навантажень.

З'єднавши ординати згинаючих моментів M_m у вузлових точках

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.MP.2021.000					

(вершинах багатокутника) прямими лініями, отримаємо епюру згинаючих моментів в конструкції. Для побудови епюри нормальних сил потрібно визначити їх ординати у вершинах багатокутника як напівсуми нормальних сил у суміжних стержнях, а потім з'єднати ординати прямими лініями. Епюра пружного відпору має ступінчастий контур.

Результати розрахунку контролюються за умови рівноваги окремих частин конструкції або шляхом визначення переміщень, величини яких дорівнюють нулю (наприклад, взаємний кут повороту стержнів у замковому перетині або будь-якій з вершин багатокутника).

3.2.2 Модифікація методу Метродіпротрансу

Відмінності модифікованого методу Метродіпротрансу викладені в роботі [26]:

1. На відміну від методу Метродіпротрансу рішення систем і описання невідомих напружень і деформацій виконується не вирізанням вузлу, а рішенням конструкції в цілому. Це можливо за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ), який не розбиває конструкцію, а знаходить невідомі, враховуючи зв'язок між частинами. Таким чином, знімається проблема, пов'язана з гіпотезою місцевих деформацій, яка автоматично перетворюється в гіпотезу загальних деформацій.

2. Стержні еквівалентної жорсткості розглядаються у загальному випадку як пружні тіла.

3. Розбивка криволінійної осі тунелю в загальному випадку не обмежується, але підбирається так, щоб відповідати умовам вірної дискретизації.

4. Закріплення стержнів еквівалентної жорсткості – нерухоме із умови існування ґрунту.

5. Постановка стержнів по всьому контуру. В першому приближенні – знаходження стержнів, які недопустимо розтягнулись і зруйнувались; в другому – знаходження стержнів з мінімальними зусиллями розтягу.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.МР.2021.000				

3.2.3 Створення моделі модифікованого методу Метродіпротрансу в SCAD

Вибір розрахункової схеми – найбільш важливий елемент розрахунку. Вона повинна найбільшою мірою відповідати реальним умовам статичної роботи оправи, відображаючи конструктивні особливості, матеріал оправи, інженерно-геологічні умови, а також технологію виконання робіт. Під час призначення розрахункової схеми неминучі певні припущення [4, 21, 34]. Від того, наскільки вони обґрунтовані і який ступінь їх відповідності дійсним умовам роботи станційної конструкції, залежить достовірність і точність результатів розрахунку. Прийняті припущення повинні забезпечувати запас міцності оправи [27].

Як розрахункову приймають ту схему конструкції, що відповідає експлуатаційній стадії. В магістерській роботі постановка задачі є плоскою, а розрахункова схема перегінного тунелю – стержневою, навантаження вважається рівнорозподіленим. Основною робочою гіпотезою під час створення розрахункової схеми є те, що ґрунт за оправою, пружність якого характеризується коефіцієнтом пружного відпору, замінюється стержнями еквівалентної жорсткості. Ці стержні, поставлені в границях пружного відпору, достатньо відображають пружні властивості ґрунту, його здатність до стиску. Кількість цих стержнів у процесі розрахунку змінюється, оскільки стержні, у яких утворюється зусилля розтягу, із схеми видаляються, і перерахунок виконується до тих пір, поки не будуть знайдені точні границі зони пружного відпору. Площу еквівалентного стержня F знаходять за формулою [19]:

$$F = \frac{k'l}{En} \quad (3.10)$$

де k' – приведений по довжині коефіцієнт пружного відпору, кН/м ($k' = kb$, де b – ширина блока, k – коефіцієнт пружного відпору, кН/м²); l –

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.MP.2021.000				

довжина стержня, м; E – модуль пружності матеріалу стержня, kH/m^2 ; n – кількість стержнів.

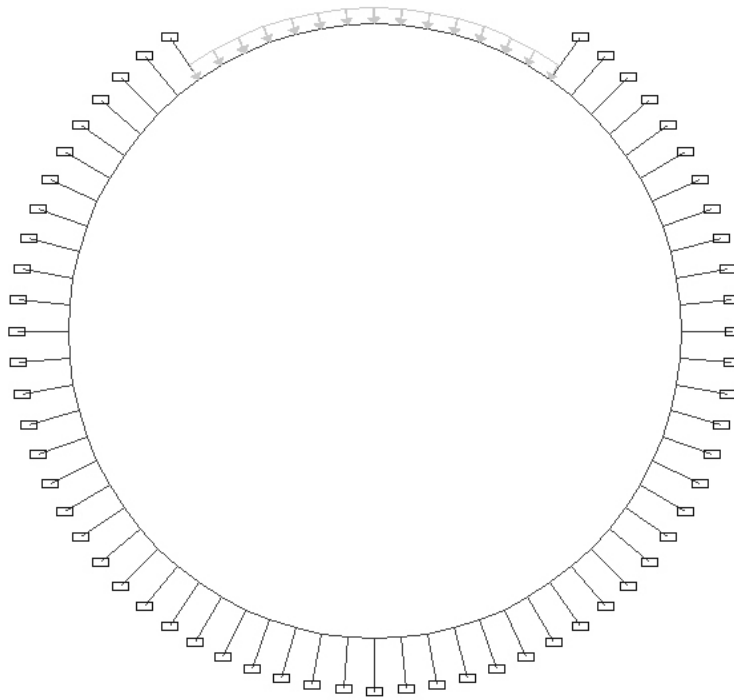


Рисунок 3.2 – Розрахункова модель № 1

Перед тим, як розрахувати площу еквівалентного стержня, проведемо ітераційний пошук крайніх еквівалентних стержнів, в якому відбувається розтяг. Оскільки це неприпустимо для ґрунту, ці еквівалентні стержні зі схеми видаляються, і тільки після цього підраховується їх кількість та визначається площа їх поперечного перерізу за формулою (3.10). На рис. 3.2. наведено першу модель до ітерації.

Шляхом відкидання стержнів виконано ітераційний пошук тієї моделі, в крайньому еквівалентному стержні нормальна сила є нульовою, тобто віднайдено границю між активним навантаженням («зона відлипання») і пружним відпором. На рис. 3.3 наведено скінченно-елементну модель перегінного тунелю, яка відповідає шостій ітерації пошуку розтягнутих стержнів. Надана модель приймається до подальшого розрахунку при дослідженні та аналізі варіації оправи.

									011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

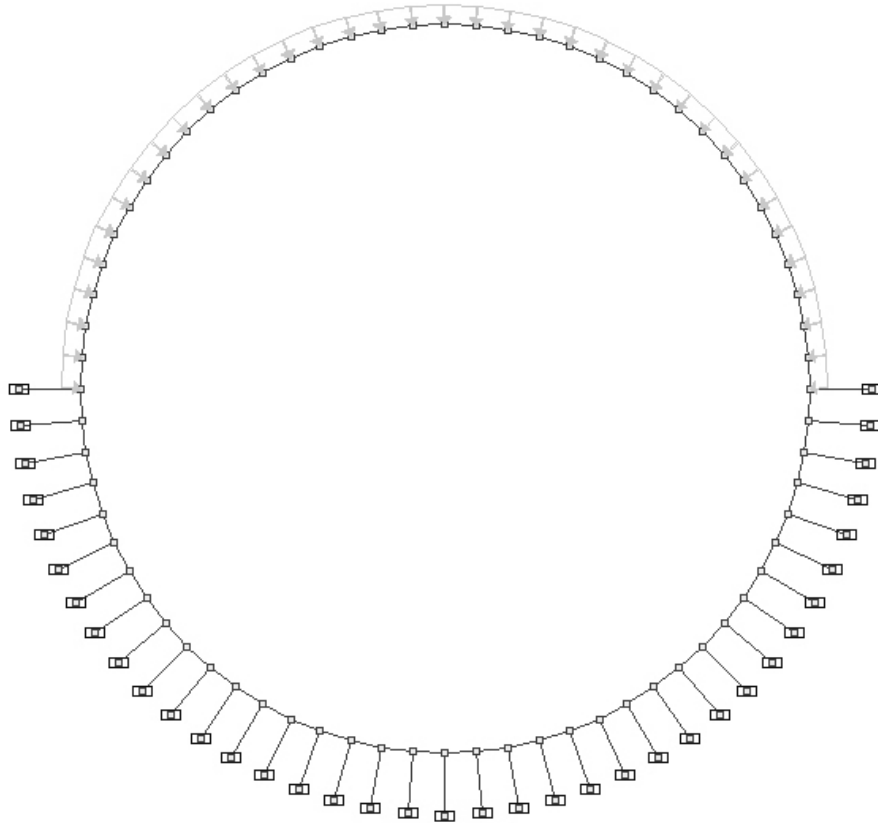


Рисунок 3.3 – Розрахункова модель № 6

Площу еквівалентного стержня F для наданої моделі

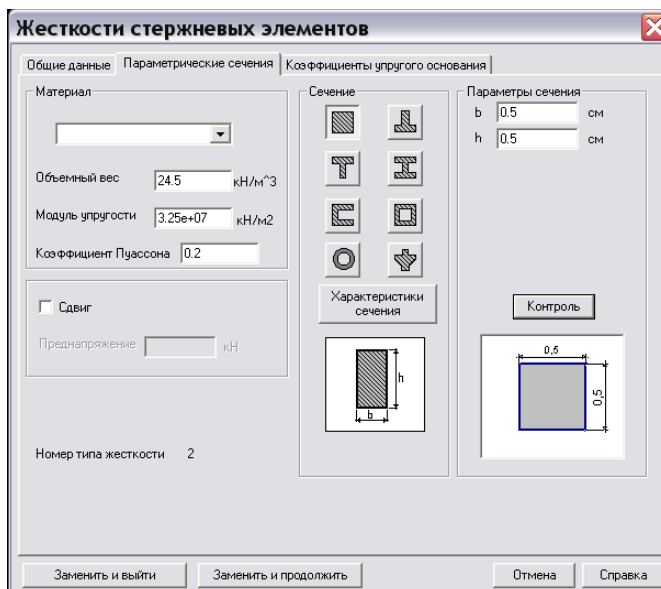
$$F = \frac{k'l}{En} = \frac{6 \cdot 10^4 \cdot 0,5}{3,25 \cdot 10^7 \cdot 37} = 0,000025 \text{ м}^2.$$

де $k' = k \cdot L = 5 \cdot 10^4 \cdot 1,2 = 5 \cdot 10^4 \text{ кН/м}^3$; $l = 0,5 \text{ м}$; $E = 3,25 \cdot 10^7 \text{ кН/м}^2$; $n = 37$.

Відповідно, прийнявши еквівалентний стержень квадратного перетину, його сторона буде дорівнювати $a = \sqrt{F} = \sqrt{0,000025} = 0,005 \text{ м} = 0,5 \text{ см}$. Після визначення площі еквівалентного стержня його геометричні та деформаційні властивості присвоюються відповідним елементами моделі (рис. 3.4), прикладається розраховане в п. 4.1 розподілене навантаження $165,77 \text{ кН/м}^2$, яке збільшено, оскільки площа його дії складає не 1 пог. м, а 1,2 м (ширину блоку). Таким чином, розрахункове навантаження складає $165,77 \cdot 1,2 = 198,9 \text{ кН/м}^2$, воно прикладається до моделі та виконується розрахунок.

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а)



б)

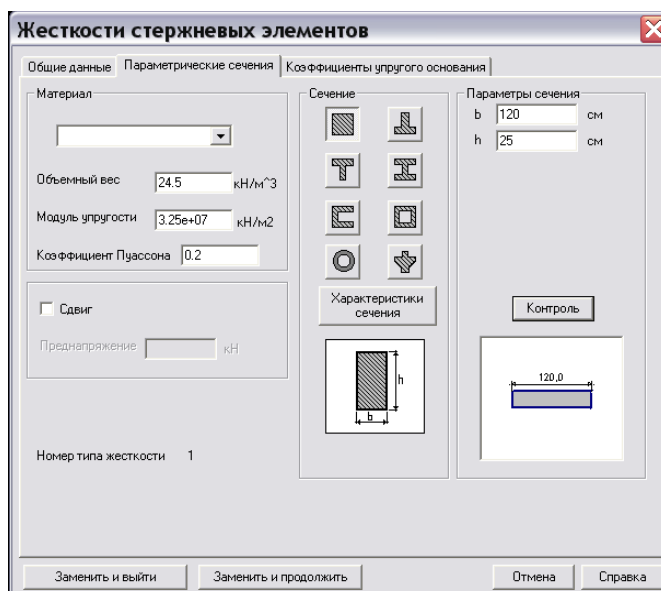


Рисунок 3.4 – Діалог в SCAD із присвоєнням властивостей стержням оправи (а) та еквівалентним стержням (б)

Результатами розрахунку є згинальні моменти й нормальні сили, епюри яких наводяться нижче (рис. 3.5-3.6). Також наводиться протокол розрахунку мовою оригіналу.

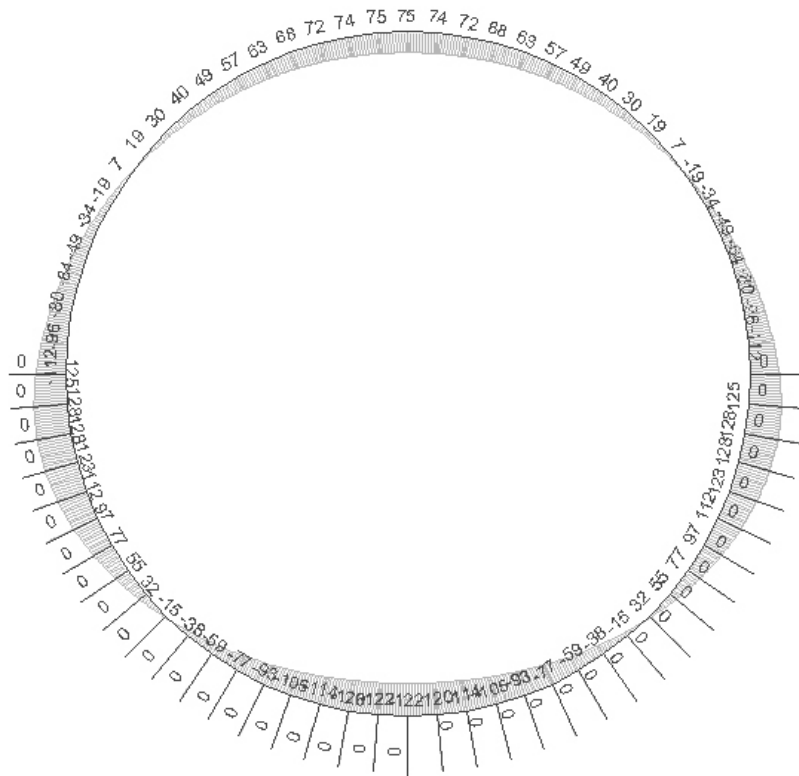


Рисунок 3.5 – Епюра згинальних моментів
(максимальний згинальний момент в замку – + 75 кН·м)

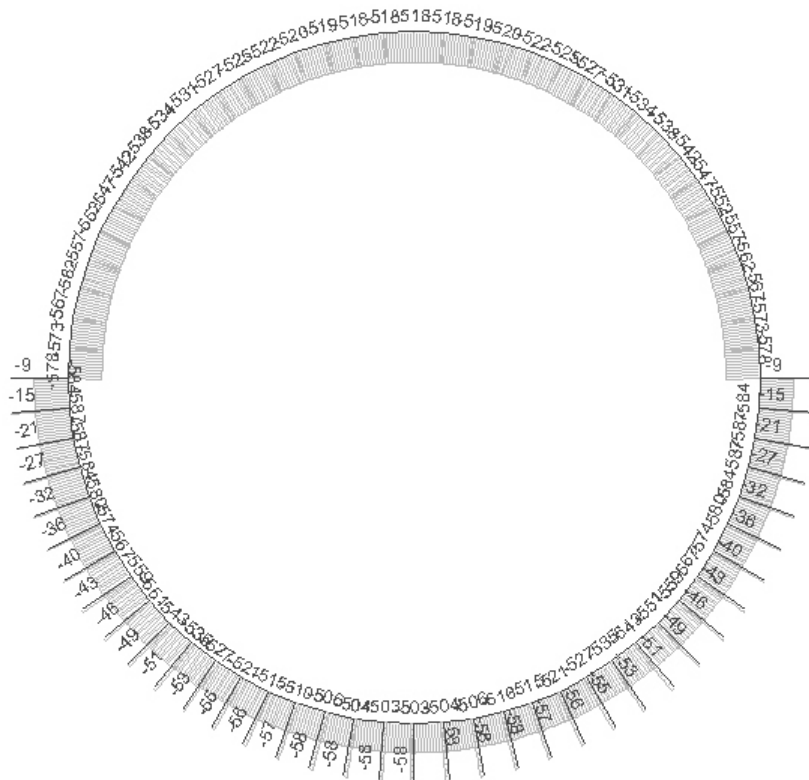


Рисунок 3.6 – Епюра нормальної сили
(максимальна нормальна сила в замку – - 518 кН)

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПРОТОКОЛ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТА

Полный расчет.

файл - "C:\SDATA\Магистр Антон (МодифМет
рогипротранс)\Перегонный модифицированный Метрогипротранс7.SPR",
шифр - "Перегонный модифицированный Метрогипротранс".

13:19:46

Ввод исходных данных основной схемы

13:19:46

Подготовка данных многофронтального метода

13:19:46

Информация о расчетной схеме:

- порядок системы уравнений	543
- ширина ленты	435
- количество элементов	134
- количество узлов	131
- количество загрузений	1

13:19:47

Необходимая для выполнения расчета дисковая память:

матрица жесткости основной схемы -	61 Кб
динамика -	0 Кб
перемещения -	4 Кб
усилия -	3 Кб
рабочие файлы -	56 Кб

всего -	0.124 Мб

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13:19:47

Разложение матрицы жесткости многофронтальным методом.

13:19:47

Накопление нагрузок основной схемы.

Суммарные внешние нагрузки на основную схему

	X	Y	Z	UX	UY	UZ
1-	0	0	58.5	0	0	0

13:19:47

ВНИМАНИЕ: Дана сумма всех внешних нагрузок на основную схему

13:19:47

Вычисление перемещений в основной схеме.

13:19:47

Работа внешних сил

1 - 0.657501

13:19:47

Контроль решения для основной схемы.

13:19:47

Вычисление усилий в основной схеме.

13:19:47

Вычисление сочетаний нагружений в основной схеме.

13:19:48

Вычисление перемещений по сочетаниям

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нагрузок в основной схеме.

13:19:48

ЗАДАНИЕ ВЫПОЛНЕНО

Затраченное время : 0.03 мин.

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 [19].

Перед проведенням перевірки оправи на міцність виконується 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 $\mu=1,5...3\%$, тобто площа поперечного перерізу арматури $A_s^{сум}$ повинна становити $1,5...3\%$ поперечного перерізу бетону A_b .

1. Визначення площі поперечного перерізу блока:

$$A_b = bh,$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

011.170002.MP.2021.000

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

$$A_b = 1,2 \cdot 0,25 = 0,3 \text{ м}^2.$$

2. Попереднє визначення площі арматури:

$$A_s^{\text{сум}} = \mu A_b.$$

$$A_s^{\text{сум}} = \mu A_b = 0,015 \cdot 0,3 = 0,0045 \text{ м}^2.$$

3. Площа поперечного перерізу одного стержня становить:

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

де $r_{\text{ст}}^2$ – радіус стержня арматури, приймаємо 18 мм.

$$A_{\text{ст}} = \pi r_{\text{ст}}^2 = 3,14 \cdot 0,009^2 = 0,000254 \text{ м}^2.$$

4. Визначення кількості стержнів робочої арматури:

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

$$n = \frac{A_s^{\text{сум}}}{A_{\text{ст}}} = \frac{0,0045}{0,000254} = 17,7.$$

Кількість стержнів округлюється до цілого парного значення.

Приймаємо 18 стержнів.

5. Фактична площа арматури становить:

$$A_s^{\text{факт}} = A_s + A'_s = n A_{\text{ст}}.$$

$$A_s^{\text{факт}} = A_s + A'_s = n A_{\text{ст}} = 18 \cdot 0,00254 = 0,0046 \text{ м}^2.$$

6. Площа розтягнутої A_s та стиснутої A'_s арматури:

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$A_s = A'_s = \frac{A_s^{\text{факт}}}{2} = \frac{0,0046}{2} = 0,0023 \text{ м}^2.$$

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

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{75}{518} = 0,14 \text{ м.}$$

8. 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); R_b – розрахунковий опір бетону на стиск; 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. 3.7).

Ексцентриситет нормальної сили N відносно центра розтягнутої арматури:

$$e = e_0 + \frac{h}{2} - a = 0,14 + \frac{0,25}{2} - 0,029 = 0,24 \text{ м.}$$

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.МР.2021.000					

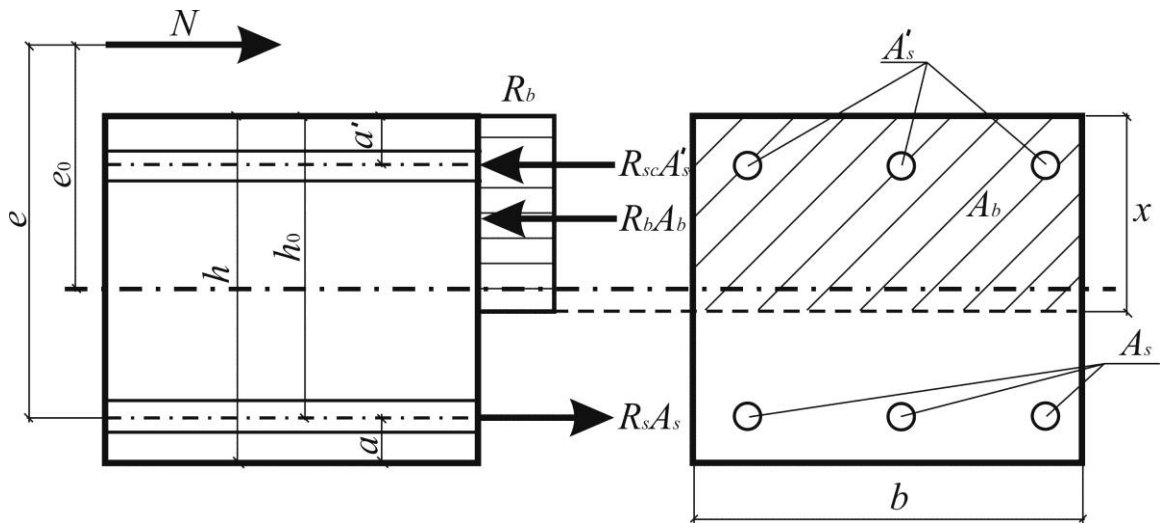


Рисунок 3.7 – Схема позначень для розрахунку на міцність

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 наданому випадку – 20 мм); в) при товщині елемента більше 500 мм – 35...40 мм. В агресивному середовищі товщина шару повинна бути збільшена на 10 мм.

9. 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

$$x = \frac{N}{R_b b} = \frac{518}{22000 \cdot 1,2} = 0,02 \text{ м.}$$

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

$$518 \cdot 0,24 < 22000 \cdot 1,2 \cdot 0,02 (0,221 - 0,5 \cdot 0,02) + 280000 \cdot 0,0023 (0,221 - 0,029);$$

$$124,3 < 111,4 + 123,6;$$

$$124,3 < 235.$$

Умова виконується, отже переріз елементів оправи та стержнів армування підібраний вірно (запас міцності: $235/124,3=1,9$ рази).

						011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

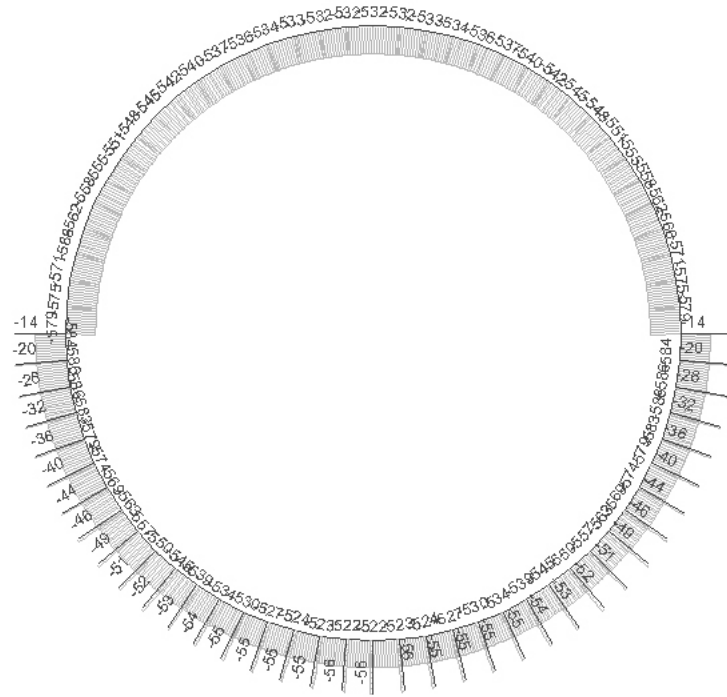


Рис. 4.2. Епюра нормальної сили Варіанту 1 ($h=20$ см)
 (максимальна нормальна сила в замку – -532 кН)

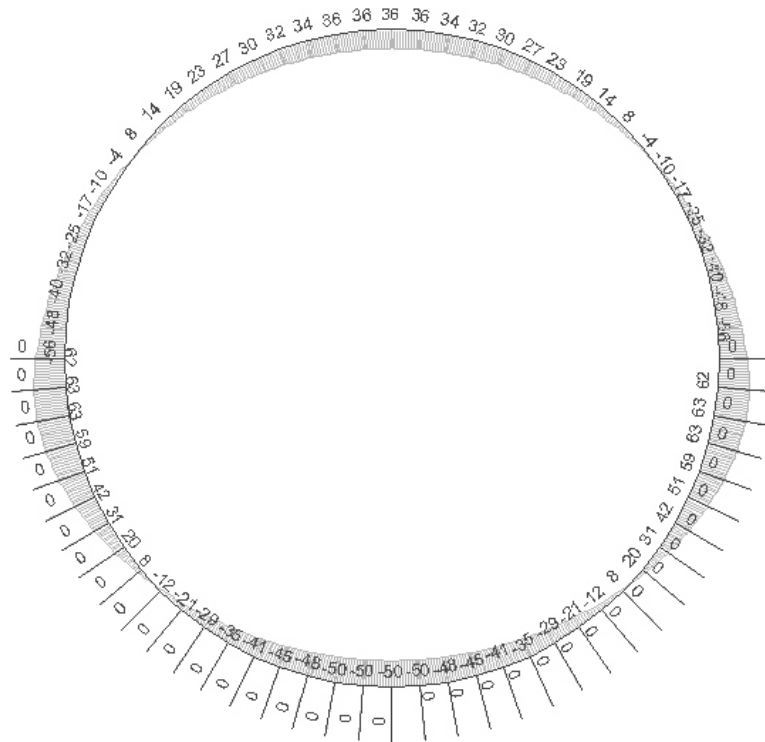


Рис. 4.3. Епюра згинальних моментів Варіанту 2 ($h=15$ см)
 (максимальний згинальний момент в замку – +36 кН·м)

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

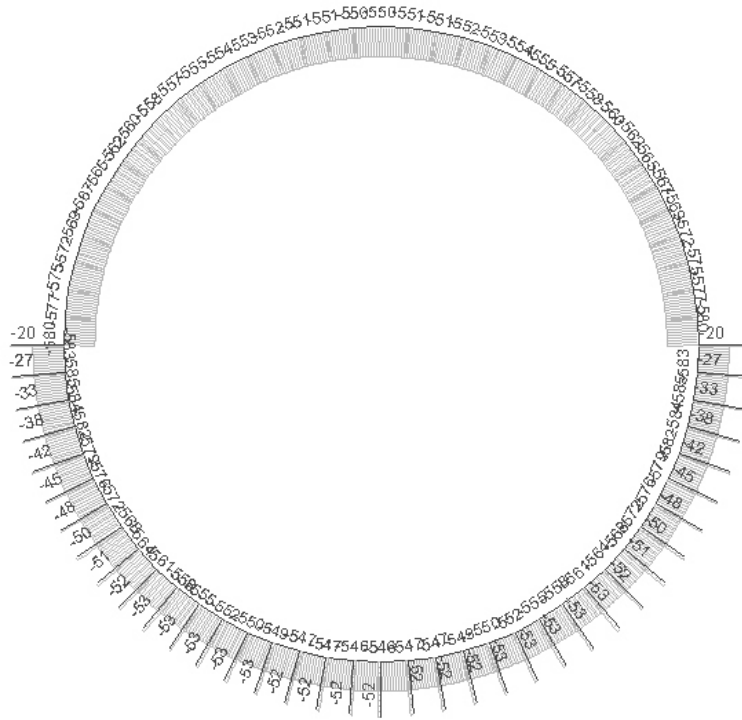


Рис. 4.4. Епюра нормальної сили Варіанту 2 ($h=15$ см)
 (максимальна нормальна сила в замку – -550 кН)

Для автоматизації розрахунку скористаємося програмою Розрахунок прямокутного залізобетонного перерізу (блоку) на міцність.xls, в якій запрограмовані формули з перевірки на міцність елементів оправи із залізобетону, наведені в п. 3.3.

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 4

Аналіз варіації оправи із дослідженням силових факторів

Метою аналізу варіації оправи є дослідження силових факторів в оправі при зміні її товщини, що обґрунтоване достатнім запасом міцності оправи із товщиною $h=25$ см, розрахованим в розділі 3 (1,9 рази).

Для того, щоб виконати задачу, проведено два розрахунки скінченно-елементної моделі (див. рис. 3.3), причому в ній не змінювалися ніякі параметри, окрім товщини оправи h . В Варіанті 1 товщина складала 20 см, в Варіанті 2 – 15 см. Нижче наведені епюри згинальних моментів й нормальних сил для обох варіантів (рис. 4.1-4.6).

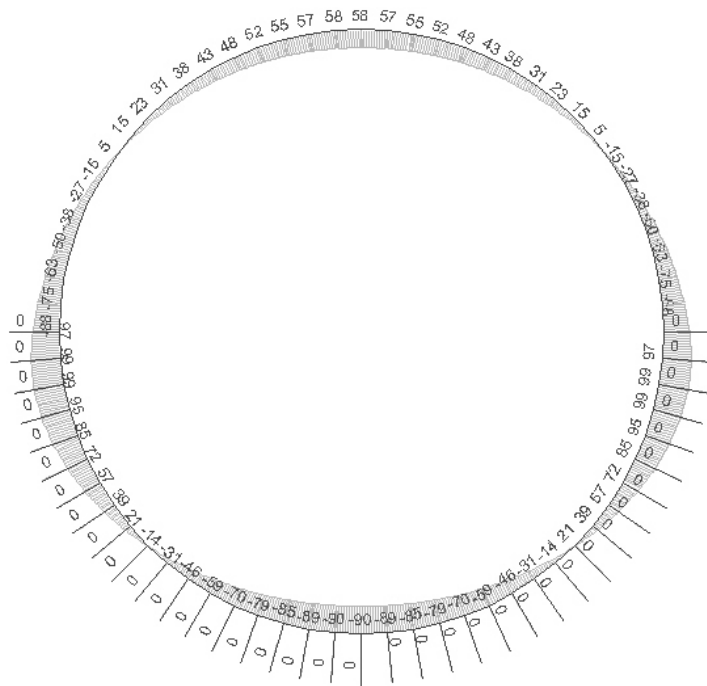


Рис. 4.1. Епюра згинальних моментів Варіанту 1 ($h=20$ см)
(максимальний згинальний момент в замку – +58 кН·м)

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок Варіанту 2 ($h=15$ см)

Геометричні характеристики блоку	
Введіть ширину блока b , м	1,2
Введіть висоту блока h , м	0,15
Площа поперечного перерізу Ab , м ²	0,18
Введіть діаметр арматури $d_{ст}$, м	0,018
Введіть коефіцієнт армування m	0,015
Попередня площа арматури A_s , м ²	0,0027
Площа стержня арматури	0,000254
Кількість стержнів арматури n , штук	10,6
Введіть n округлене до цілого парного	12
Фактична площа арматури A_s , м ²	0,0031
Площа розтягнутої арматури, м ²	0,0015
Площа стиснутої арматури, м ²	0,0015
Введіть товщину захисного шару, м	0,03
Висота перерізу до верхньої фібри h_0 , м	0,111
Сумарна відстань $a=a'$, м	0,039
Силові фактори в блоці	
Введіть нормальну силу N , кН	550
Введіть згинальний момент M , кНм	36
Ексцентриситет e_0 , м	0,07
Розрахунковий опір бетону R_b , кН/м ²	22000
Розрахунковий опір арматури R_s , кН/м ²	280000
Ширина стиснутої зони бетону x , м	0,021
Повний ексцентриситет e , м	0,10
Ліва частина рівняння	55,8
Права частина рівняння	86,1
Запас міцності N	1,5
ВИСНОВОК:	Виконується

						011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Як видно з табл. 4.1 і 4.2 умови міцності виконуються для обох варіантів, тобто зменшення товщини не призводить до зменшення міцності блоку. Спостерігається незначне зменшення запасу міцності: у Варіанті 1 – в 1,7 рази, у Варіанті 2 – в 1,5 рази. Це пояснюється тим, що чим менше товщина оправи, тим менше її жорсткість і відповідно вона може розвивати більші деформації δ в сторону ґрунту. Це викликає його більший пружний відпір ($\sigma = k\delta$, де σ – інтенсивність пружного відпору, k – коефіцієнт пружного відпору), який відіграє позитивну роль у формуванні силових факторів. Однак, зменшення товщини менше 15 см неможливе, оскільки ця товщина встановлена як найменша товщина для залізобетонного елемента.

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 5

Обґрунтування щитової проходки, що відбувається в слабкому масиві

5.1 Основні положення щитової проходки

Щитовий спосіб проходки тунелів отримав широке розповсюдження у зв'язку з такими його перевагами перед гірничим способом, як можливість безаварійного спорудження тунелів у складних горно-технічних умовах, безпека ведення робіт, високі швидкості проходки, високий рівень механізації та низька трудомісткість робіт, економічна ефективність [6, 8]. При всіх рівних умовах для проходки тунелю використовується механізований щит.

Механізовані щити успішно використовують не тільки в сипучих та м'яких нескельних породах з коефіцієнтом міцності $f=0,5...1,5$, але і у скельних породах з $f=4...5$. Механізовані щити та тунелепрохідницькі машини, обладнані для руйнування порід шарошками, дозволяють споруджувати тунелі у скельних породах з $f=6...8$ і вище.

Впродовж останніх тридцяти років у техніці та технології щитової проходки тунелів пройшли суттєві зміни. В першу чергу ці зміни торкнулись принципу роботи механізованого щита та його конструкції, що являється визначним у складі тунелепрохідницького механізованого комплексу (ТПМК) і в технології спорудження тунелів.

Створено декілька типів щитів нового покоління з герметичною забійною камерою та з улаштуваннями для активного привантаження забою. Це дозволило вести проходку тунелів діаметром від 2 до 14 м у складних інженерно-геологічних та містобудівельних умовах без застосування витратних та трудомістких методів закріплення нестійких ґрунтів та водозниження зі значними швидкостями (до 300 м в місяць) та з невеликими просадками земної поверхні (до 30 мм).

Стійкість забою в цій технології досягається використанням у щитовій камері активного привантаження, яке створюється безперервно у вигляді тиску на забій бентонітового розчину, що нагнітається у герметичну забійну камеру

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.MP.2021.000				

механізованого щита, або тиску розробленого ґрунту [11, 17]. Можливе використання привантаження у вигляді тиску стиснутого повітря, що нагнітається у забійну камеру для врівноваження гідростатичного тиску та осушення забою [14, 25].

Технологія спорудження тунелів механізованими щитами з активним привантаженням забою вимагає створення високоточних водонепроникних збірних залізобетонних оправ з еластичними прокладками у стиках блоків, якою є оправа Варіанту 3, обрана при варіантному проєктуванні. Такі оправи забезпечують водонепроникність тунелю одразу ж після закінчення монтажу кільця та обтискання його щитовими домкратами. Для ведення механізованого щита по заданій трасі та оперативного контролю за роботою його вузлів та агрегатів використовуються комп'ютерні технології [25].

З метою забезпечення мінімальних осадок земної поверхні розроблені нові технології тампонажу заоправного простору та склади тампонажних розчинів. Робота механізованих щитів з привантаженням забезпечується за допомогою спеціального обладнання для приготування та регенерації бентонітових розчинів. Таке обладнання дозволяє у максимальній степені визначати розроблений у забої ґрунт від пульпи і після збагачення повторно перекачувати її в забійний простір.

ТПМК нового покоління дозволили вирішити ряд складних задач, котрі стояли перед будівельниками тунелів [25, 35]:

– досягнуті досить високі швидкості проходки у несприятливих інженерно-геологічних умовах, зокрема в слабких та нестійких ґрунтах (до 300 м у місяць);

– з'явилася можливість спорудження тунелів в умовах щільної міської забудови без зупинки експлуатації споруд і будівель в зоні можливих деформацій та без використання спеціальних методів робіт (штучне водозниження чи укріплення нестійких ґрунтів), а також можливість ведення робіт у зоні територій, що охороняються;

– повністю ліквідована тяжка ручна праця прохідників у забої, підвищена

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

011.170002.MP.2021.000

безпека робіт;

- значно зменшений ризик створення аварійних ситуацій;
- забезпечена можливість використання надійних водонепроникних оправ з високою точністю їх монтажу;
- виключено шкідливий вплив на оточуючий простір, зберігається рівень ґрунтових вод;
- досягається позитивний економічний ефект та скорочення термінів будівництва у порівнянні з використанням спеціальних методів робіт.

Кожен тип механізованого щита з активним привантаженням забою має свою область ефективного використання. Підбір типу механізованого щита, що планується до конкретних інженерно-геологічних умов, а також комплекс допоміжного обладнання та відповідної оправи являється складною техніко-економічною задачею. Західнонімецька фірма «Херренкнехт» (Herrenknecht) є ініціатором інноваційних технологій щитів різного призначення, які є провідними у світі. Ключовою ідеєю є прокладання тунелів у складних геологічних умовах, наприклад, слабких ґрунтах, одним прохідницьким щитом, але у різних режимах роботи. Щит може бути з гідравлічним або ґрунтовим привантаженням, з кесоном чи з відкритим забоєм.

Однією із головних розробок фірми за останні роки є міксцит, відмінною конструктивною особливістю якого є децентрований привід чи плаваюча опора робочого органу. Дякуючи цьому з'явилася можливість роботи у різних режимах. Найбільш поширеним видом такого агрегату є щит з гідравлічним привантаженням. Засобом для підтримання забою та транспортувального простору тут виступає бентонітова суспензія, яка у суміші з ґрунтом видається шламовим насосом на поверхню, де у сепараційній установці суміш з води, ґрунту та бентоніту розділяється на тверду та рідку фракції. Суспензія, яка таким чином стала чистою, знову використовується у технологічному процесі шляхом подачі її по трубах у забійну зону.

Щити з ґрунтовим привантаженням типу ЕРВ зайняли провідне місце у програмі фірми «Херренкнехт». Усюди, де геологічна експертиза показує

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

011.170002.MP.2021.000

Максимальна вага блоків	2,5 т
Кількість блоків у кільці	7 штук
Маса кільця	9,06 т

Стрічковий конвеєр

Продуктивність стрічкового конвеєра	400 м ³ /год
Ширина стрічкового конвеєра	800 мм
Швидкість стрічкового конвеєра (змінна)	0-1,75 м/с
Швидкість стрічкового конвеєра з підвищенням навантаження	2,0 м/с
Довжина стрічкового конвеєра	60 м
Встановлена потужність стрічкового конвеєра	55 кВт
Діаметр приводного барабана (заповнений)	450 мм
Ізоляція приводного барабана	Гумова
Діаметр заднього барабана	350 мм
Розширений діаметр барабана	200 мм
Діаметр шківа стрічкового конвеєра	127 мм
Діаметр шківа	102 мм
Діаметр повертаючого ролика	102 мм

Редуктор

Тип	Mobilex Planetary Drive
Модель	GFR48E
Кількість (на одну стрічку)	1
Передаточне число	28,92
Комплектність	З реверсивним механізмом
Вхідна швидкість (змінна)	0-2460 об/хв.
Вихідний крутний момент	2000 Нм (безперервне) 5000Нм (пікове)

Роторний орган

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструкція роторного органа	Болтове з'єднання
Кількість блоків	2
Діаметр зі змінною накладкою	6254 мм
Діаметр по різачу	6286 мм
Довжина з ріжучим органом	1645 мм
Діаметр різання	
- мінімальний (з новим диском)	6286 мм
- з різанням по шаблону	6394 мм
- повний діаметр різання з копіром	6440 мм
Обертання	Реверсивне
Швидкість (змінна)	0-4,5 об/хв.
Крутний момент	
1,04 об/хв.	7019,23кН·м
1,46 об/хв.	5000 кН·м
3,65 об/хв.	2000 кН·м
4,05 об/хв.	1622,22 кН·м

Щитові гідроциліндри

Кількість	14
Тип монтажу	Фланцевий
Посадочний діаметр	160 мм
Діаметр штока	100 мм
Робочий тиск	250 бар (25 МПа)
Тиск гідроциліндрів при перевірці	375 бар (37,5МПа)
Зусилля штовхання 1 гідроциліндру	500 кН
Вага	145 кг
Загальна вага разом з гідроциліндрами та ріжучим органом	54000 кг

Блокоукладальник оправи

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість	1
Максимальний кут повороту	±2000
Швидкість обертання (змінна)	0-1,6 об/хв.
Привід обертання	Через цевочне колесо гідравлічного двигуна
Число двигунів	2
Число пальців цевочного колеса	140
Вага (не включаючи вагу двигунів)	12700 кг

Привід еректора та редуктора у зборі

Кількість	2
Модель	M170-CA10X-B1-V91-G18C
Тип редуктора	604006
Тип двигуна	M170-CA10X-B
Тип гальмівної системи	5870A-S1
Вага у зборі	200 кг
Передаточне число редуктора	18:1
Цевочне колесо и зубчаста передача	10.769
Максимальна частота обертання вихідного чи відомого вала	22 об/хв.
Вихідний крутний момент	
- нормальний	3400 Н·м
- максимальний при безперервному обертанні	7960 Н·м
Вихідна шестірня	
- кількість зубів	13
- передача	канавочна
Робочий тиск двигуна (максимальний)	210 бар (21МПа)
Максимальна швидкість при виході	396 об/хв
Крутний момент на виході	

									011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

- нормальний	214 Н·м при 90 бар
- максимальний при безперервному обертанні	504 Н·м при 210 бар
Крутний момент гальмівної системи	
- Статичний	9850 Н·м
- Динамічний	7550 Н·м
Тиск у гальмівній системі (мінімум)	19 бар

5.3 Розробка породи при технології щитової проходки

Щит складається з трьох головних складових: ножове кільце, опорне кільце та хвостова оболонка щита. Ножове кільце щита з привареною кесонною перегородкою являє собою опору для приводу ротора та сприймає зусилля від тиску ротора на забій. Ротор виконано у вигляді ріжучої частини планшайби з каналами для пропуску ґрунту. Ротор має можливість обертатися у праву та ліву сторону з максимальною швидкістю 3 обороти за хвилину. Швидкість та напрям проходки, тиск у забійній камері, швидкість обертання ротору та швидкість транспортування ґрунту регулюється з кабіни керування. У кесонній перегородці розташовані чотири отвори для нагнітання піни або розчину бентонітової глини у робочу камеру.

Ґрунт у призабійному просторі відокремлюється від масиву за допомогою різців, які знаходяться на роторі, який обертається. Через отвори у роторі ґрунт попадає у робочу камеру. Тут він змішується з вже існуючою у камері пластичною пульпою. Зусилля гідроциліндрів через кесонну перегородку передається на пульпу, що перешкоджає неконтрольованому вивалу ґрунту з призабійного простору. Стан рівноваги між статичним тиском ґрунту та опорним тиском пульпи у робочій камері забезпечує розробку породи без осідання або спучення поверхні перед щитом.

Ґрунт розробляється і навантажується на стрічковий конвеєр за допомогою шнеку. Потім ґрунт за допомогою стрічкового транспортеру переміщується до машин, які здійснюють відкатку породи до бункеру. По мірі

						011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

5.4 Транспортування ґрунту

Розроблений ґрунт через отвори у роторі попадає у робочу камеру, а з неї – на шнековий транспортер, який транспортує ґрунт від забою і розвантажує ґрунт на стрічковий конвеєр, що змонтований по центру [33]. Безперервний стрічковий конвеєр переміщує ґрунт до розвантажувального кузова, що розташований під конвеєром на вантажному автомобілі. Цей конвеєр розвантажує ґрунт у кузов, а потім ґрунт вивозиться автомобілями по змонтованому тунелю під кран для видачі на поверхню.

Кожух шнекового транспортеру оснащено п'ятьма отворами для нагнітання піни. Діаметр шнеку та його сердечника визначає максимально допустимий розмір частинок – 240 мм. Шнековий транспортер запирається засувкою, яка зачиняється за допомогою гідроциліндрів та має аварійну функцію зачинення у разі вимкнення електроенергії. З загрузочної воронки ґрунт попадає на стрічковий транспортер, який доставляє його до автомобіля. Стрічковий транспортер має довжину 60 м. Гумова стрічка транспортеру має бокові направляючі. Очистка стрічки відбувається за допомогою скребка, який регулюється механічно та влаштований на приводній станції.

Ґрунт з стрічкового транспортеру попадає до знімного кузова, який встановлено на автомобілі КрАЗ. Розроблений на довжину 1,2 м ґрунт (на одне кільце оправи) завантажується на чотири автомашини. Автомашини, перша з яких завозить комплект блоків на кільце оправи, слідує по тунелю одна за одною та послідовно завантажується ґрунтом. Автомобіль доставляє ґрунт у камеру, де проводиться стропування кузова за чотири провусини та підйом його на поверхню за допомогою козлового крану КС-50-42Б. На обладнаній площадці розвантаження кузов опускають на землю, стропують його на дві передні провусини по дві стропи на провусину, відкривають кріплення заднього борту та виконують розвантаження ґрунту. Потім кузов опускають на землю, запирають кріплення заднього борту, стропують кузов за чотири точки, опускають у монтажну камеру та встановлюють на автомобіль. Автомобіль

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.МР.2021.000				

проїжджає по тунелю, а на його місце під розвантаження заїжджає наступний автомобіль з ґрунтом. На майданчику розвантаження екскаватор «пряма лопата» або автовантажувач проводять навантаження ґрунту на автосамоскиди, які вивозять ґрунт за межі будівельного майданчику.

5.5 Переміщення тунелепрохідницького комплексу

Сучасні ТПМК з механізованими щитами з активним привантаженням забою оснащуються навігаційними системами, які дозволяють в більшості випадків автоматизувати управління веденням механізованих щитів по трасі. Такі системи показують на дисплеї пульта управління механізованого щита поточну інформацію про фактичне положення щита при його русі, прогнозуючи його корекцію. Рішення про зміну режиму руху приймаються обслуговуючим персоналом та маркшейдерською службою. Маркшейдерська зйомка залишається обов'язковою операцією у технологічному циклі проходки тунелю.

В навігаційній системі використовуються орієнтований по напрямленню осі тунелю лазерний промінь та мішені, що закріплені на щиті. На моніторі пульта управління машиніста відображаються горизонтальні та вертикальні відхилення осі щита відносно проєктної осі тунелю в міліметрах, крен та ухил щита в градусах, які розраховані по двом опорним точкам на щиті.

Крім того наводяться дані по фактичному положенню змонтованого кільця оправи та його відхиленням від проєкту, а також дані, що відображають параметри роботи ротора (момент, частота обертання, швидкість подачі, потужність, параметри артикуляції).

Сучасна навігаційна система дозволяє виконувати поточне управління щитом та видавати прогнозований комплекс даних по проходці тунелю вперед на одне кільце. Усі дані відображаються в реальному часі як на дисплеї пульта управління машиніста щита, так одночасно і у офісі управління будівництвом. На кожне кільце оправи комп'ютером роздруковується протокол, в якому відображена інформація про положення щита та змонтованого кільця оправи.

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

водонасиченого ґрунту та розчину, яким проводиться нагнітання, крізь щілину між хвостовою оболонкою ТПК та тунельною оправою. Крім того, це ущільнення дозволяє підтримувати тиск на чоло забою на необхідному рівні. Зовнішній ряд щіткового ущільнення обладнаний пластинами зворотного потоку, які перешкоджають потраплянню розчину, яким проводиться нагнітання за тунельну оправу, до забійної зони. Технологічне обладнання щита розміщується на частково відкритих порталних візках, які пересуваються за прохідницьким щитом за допомогою коліс. На технологічних візках встановлено усе необхідне обладнання, яке потрібно для роботи щита з ґрунтопригрузом та для монтажу оправи.

5.6 Монтаж тунельної оправи

При спорудженні збірних залізобетонних оправ тунелів виконуються правила, що встановлені ДБН В.2.3-7-2010. Для вкладання нового кільця оправи після циклу проходки необхідно перемикнути на пульті керування у робочій режим «Установка кільця». Тільки після включення робочого режиму «Установка кільця» пульт дистанційного керування блокоукладальника буде розблоковано. Блокоукладальник встановлено під захистом хвостової оболонки щита, він є телескопічним маніпулятором та вільним центром має 6 ступенів свободи.

Привід блокоукладальника гідравлічний, а його кінематика та великі запаси зусиль дозволяють детально регулювати положення блоків, що встановлюються. У період часу, необхідного для монтажу блоків оправи, оператор блокоукладальника має можливість керувати щитовими гідроциліндрами. Пересування ТПК у цьому режимі неможливе, доки оператор не передасть керування машиністу щита на пульт керування. У кожен блок при формовці у центрі тяжіння закладається пластмасовий дубель з різьбою під вантажний гвинт.

Розвантаження та складування доставлених на будівельний майданчик блоків оправи виконуються краном у місцях, зазначених на будівельному

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.МР.2021.000				

генплані. Скошене універсальне кільце оправи складається з семи оригінальних залізобетонних блоків, які маркуються латинськими літерами «А, В, С, D, Е, F» та «G». Усі блоки одного кільця оправи виготовляються у одному комплекті форм, що контролюється цифрою на блоці. Усі сім блоків кільця оправи доставляються у кузові (внутрішня ширина кузова 2700 мм) до місця розвантаження у ТПК за одну ходку автомашини. Подавання блоків до знімного кузова виконується на поверхні.

Блоки вкладаються по три у штабель на два спеціальних пристрої для підйому блоків. Між суміжними блоками у штабелі вкладаються дерев'яні бруски. Стропувальник проводить стропову штабелю та встановлює його у кузов, знаходячись за межами кузова. Другий штабель з трьома блоками оправи встановлюють паралельно першому. В останню чергу у задній частині кузова розміщують замковий блок. Кузов з блоками за допомогою козлового крану КС-50-42Б опускають у монтажну камеру та встановлюють на автомобіль КрАЗ. Автомобіль доставляє блоки до зони розвантаження у ТПК – візок №4.

За допомогою тьюбінгового крану блоки по одному захоплюють та переміщують на подавальник блоків, де блок розгортають на 90° та вкладають на пристрій для подачі блоків до технологічного візку №3. За допомогою транспортного товкача вкладений блок переміщують на одну позицію вперед, та вертають транспортний товкач у початкове положення. Повторюють процес до тих пір, доки на пристрої подачі блоків не буде вкладено всі сім блоків кільця.

Завантаження блоків у подавальник відбувається у тій же послідовності, у якій блоки встановлюються у кільце оправи. Монтаж кожного кільця оправи виконується по схемі, яка розрахована комп'ютером ТПК та перевірена маркшейдерською службою. Пристрій подачі використовується як магазин для блоків, він підводить блоки у вірному положенні блокоукладальник.

Перед початком монтажу блоків наступного кільця, фланцева поверхня попереднього кільця очищається. Першим у кільце монтується блок «D», який має форму трапеції, причому цей блок встановлюють вузькою стороною до

										011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

забою. Далі блоки монтують по одному з обох сторін блоку «D», у відповідності зі схемою розміщення блоків у кільце. Перед подачею блоку оправи у зону монтажу виконуються наступні підготовчі роботи:

- направляюча штанга закріплюється у гніздах на одному торці блоку за допомогою в'язкого мастила;
- закручується вантажний гвинт у пластмасовий дубель;
- блок подається на монтаж тією стороною до раніше змонтованого кільця, де є спеціальний паз на фланцевому торці блоку;
- забиваються кувалдою з'єднувальні пластмасові шпильки;
- перед монтажем, фланцева поверхня попереднього кільця та стики поверхні блоку, що монтується, очищається від бруду;
- блок або тубінг подається без перекосу відносно площини попередньо змонтованого кільця.

Перед монтажем кожного кільця, проводяться заміри горизонтального та вертикального випередження, а також відхилення площини кільця від проєктного положення. Для того, щоб виконувати геометрію кільця, що монтується, обов'язково проводиться інструментальний контроль установки першого блоку у проєктне положення.

Монтаж кільця оправи виконують у наступній послідовності:

- прибирають щитові гідроциліндри на ділянці одного елемента оправи, що монтується. Прибирання надто великої кількості гідроциліндрів може призвести до переміщення щита назад;
- монтують блоки в кільце по схемі, що надає маркшейдерська служба, знизу доверху, розпочинаючи з лоткового блоку «D». Подальший монтаж наступних блоків проводиться по чергово по правому і лівому бокам відносно лотка;
- захоплюється вантажний гвинт кліщовим захватом блокоукладальника, розміщеним на траверсі;
- за допомогою блокоукладальника блок встановлюється у проєктне положення;

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- управляючі блокоукладальником, направляють шпильки у гнізда «В-блок» системи попереднього кільця;
- піджимають блок блокоукладальником, щоб шпильки наполовину увійшли у гнізда;
- за допомогою щитових гідроциліндрів, притискають блок до контакту з раніше змонтованим кільцем оправи;
- блок утримують щитовими гідроциліндрами до закінчення монтажу кільця оправи;
- встановлюють болтові кріплення;
- встановлюють криволінійні шпильки і загвинтити їх;
- звільнюють вилку захвату;
- викручують пристрій для захвату;
- монтують інші елементи оправи до замикання кільця.

Перед монтажем ключового блоку обов'язково змазати його скошені торці змазкою для запобігання зриву стрічки набухаючої гуми у процесі монтажу. Після завершення монтажу кільця необхідно притиснути його щитовими гідроциліндрами.

Монтаж оправи ведеться під безпосереднім наглядом начальника зміни (гірничого майстра) та наглядом за дотримання геометрії кільця, що монтується, маркшейдером зміни.

5.7 Гідроізоляційні роботи при щитовій проходці

Первинне нагнітання цементно-піщаного розчину за збірну оправу тунелю виконується за кожне останнє укладене кільце. При щитовій проходці нагнітання виконується у процесі пересування щита. Процес нагнітання розчину здійснюється безперервно до повного заповнення пустот. Нагнітання виконується знизу вгору по кільцю. Закінчення нагнітання за збірні оправи визначають при появі розчину у верхніх пробкових отворах.

Виконання робіт по нагнітання розчину за тунельну оправу відбувається наступним чином:

						011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

- доставляється суміш для нагнітання автобетонозмішувачами на ділянку у визначений час і в необхідній кількості згідно замовлення ділянки та складу;
- виконується прийом суміші для нагнітання на ділянки в бетононасос через сито;
- виконується підключення шлангів до системи нагнітання ТПК для подальшого проведення первинного нагнітання розчину за оболонку щита;
- нагнітається розчин за оболонку щита під час його пересування із мінімальною швидкістю $V_{\min}=1,6 \text{ м}^3$;
- після закінчення процесу нагнітання система обов'язково промивається водою.

При щитовій проходці в складних інженерно-геологічних умовах для збереження цілісності ґрунтового масиву та забезпечення мінімальної осадки поверхні, а також для забезпечення стійкості тунельної оправи дуже важливим є якісне виконання робіт з тампонажа заоправного простору та, в разі необхідності, – по закріпленню ґрунтів перед щитом рихлих чи тих, що розрихлюються при проходці.

Заоправний простір утворюється в процесі монтажу чергового кільця обробки та при передвижці щита. Нагнітання тампонажного розчину ведеться постійно під час передвижки механізованого щита через трубки, розміщені в оболонці щита, або через пробкові отвори в блоках оправи, з контролем за дотриманням заданого тиску та об'єму нагнітаючого розчину.

Тиск, при якому виконується тампонаж, повинен бути вище тиску привантаження бентонітового розчину. Об'єм нагнітаючого тампонажного розчину повинен відповідати об'єму, необхідного для заповнення зазору між зовнішнім контуром обробки та контуром розробки забою.

В результаті такого тампонажу заоправного простору вдається попередити осадок навіть водонасиченого піщаного ґрунту. До ущільнюючого тампонажного розчину пред'являються досить жорсткі вимоги. Розчин повинен мати текучу консистенцію при малій водовіддачі та залишатися в рідкому стані

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.MP.2021.000				

на час вимушених зупинок проходки. Для приготування тампонажного розчину використовуються спеціальні установки, розміщені на поверхні або в шахті та складаються з силосів (для цементу, піску та інших заповнювачів), вагових чи об'ємних дозаторів, розчино змішувача, лабораторного обладнання.

На ділянках розчин для нагнітання та тампонажу доставляється автобетонозмішувачем. Коли відстань до ТПК не надто велика, розчин до пристрою може подаватися бетононасосом, або у розчиноперемішувачі, який доставляється до ТПК на автомашині. ТПК обладнано двома насосами для густого матеріалу (розчину), які по шлангам перекачують розчин за оправу через канали для нагнітання. Швидкість та продуктивність подаючих поршнів насосу може гідравлічно змінюватись. За допомогою важеля керування насос можна перемикнути з ходу у напрямку «вперед» на хід за напрямком «назад». Кожна з чотирьох груп каналів для нагнітання обладнана датчиком тиску, які передають дані до системи керування. Кожен з поршнів насосів оснащено індикатором, який дає можливість зафіксувати число циклів поршня на заходку, тобто кількість розчину на кільце. Таким чином, гідравлічне керування кількості розчину дозволяє узгоджувати кількість нагнітаючого розчину через кожену групу каналів зі швидкістю проходки.

Система керування дозволяє проводити нагнітання у зазор між оправою та породою одночасно з переміщенням щита у ручному або автоматичному режимі. З панелі керування на пульті можна увімкнути або вимкнути окремі точки нагнітання. Система керування також дозволяє контролювати мінімальний тиск розчину у зазорі нижче якого тиск розчину не повинен падати та максимально допустимий динамічний тиск. У точці нагнітання, при досягненні встановленого тиску, точна миттєво відключається.

Присутні автоматизовані установки для приготування та нагнітання тампонажного розчину за оправу. При роботі ТПК з активним привантаженням забою в ряді випадків необхідно виконувати як з поверхні, так безпосередньо й з механізованого щита роботи по стабілізації ґрунтів перед ним чи навколо нього. До таких випадків відносяться: вивід ТПК зі стартової

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

011.170002.MP.2021.000

камери в ґрунтовий масив, проведення крупних ремонтів, видалення перешкод, ввід в демонтажну камеру.

Після спорудження ділянки тунелю проводять роботи по гідроізоляції стиків та болтових з'єднань. Гідроізоляція тунельної оправи забезпечується використанням набухаючої гуми для ущільнення стиків блоків та нагнітанням спеціального розчину за оправу. При появі потреби в додатковій гідроізоляції її використовують по тимчасовим рекомендаціям про застосування «гідросумішей» (чеканення швів, заміна монтажних шайб на бітумні).

Щоб трубопроводи від ємкості для розчину до точки нагнітання не засмічувалися, їх необхідно дбайливо чистити. Чистка установки проводиться у залежності від часу твердіння розчину, який використовується для нагнітання. Рекомендовані виробником інтервали чистки необхідно скоротити для запобігання виникнення «пробок». Видалення «пробок» за допомогою стиснутого повітря категорично забороняється.

Для підвищення загальної водонепроникності тунельної оправи та ліквідації окремих пробоїв води після чеканки швів та закладення місць болтових з'єднань виконують ущільнювальне нагнітання, яке виконують бентонітовим розчином у місцях пробоїв води з тиском до 0,15 МПа. Ін'єктори встановлюють у пробкові отвори блоків, попередньо пробурилив у них шпур з заглибленням у породу на 10...15 см. Для ліквідації окремих пробоїв води один шпур пробурюється у місці пробою та три – навколо нього з радіусом 1,0...1,5 м. Нагнітання проводиться до тих пір, доки не припиниться поглинання розчину при граничному тиску. Якість виконаних робіт по ущільнювальному нагнітання встановлюється виходячи з зовнішнього огляду.

5.8 Розрахунок вентиляції при щитовій проходці

Штучну вентиляцію підземних виробок застосовують на усіх стадіях тунельних та будівельно-монтажних робіт, а також в період тимчасової перерви у процесі прохідницьких робіт.

Система вентиляції повинна забезпечувати реверсування повітряного

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

011.170002.MP.2021.000

струменя. Об'єм повітря, що проходить по виробкам у реверсивному режимі провітрювання, повинен складати не менше 60 % об'єму повітря, який проходить по них у нормальному режимі.

Схеми вентиляції для всіх стадій спорудження тунелю визначаються проєктом. У випадку надходження у виробку шкідливих газів, не виявлених у процесі розвідувань, зміна схем вентиляції проводиться проєктною організацією.

Вміст шкідливих і отруйних газів та пилу у повітрі підземних виробок (у місцях, де знаходяться або можуть знаходитись люди) не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК) для робочої зони, встановлених діючими «Правилами безпеки при строительстве метрополитенов и подземных сооружений».

Вентиляція підземних споруд метрополітенів у передпусковий період при виконанні будівельно-монтажних робіт в тунелях здійснюється з використанням вентиляційних установок, призначених для постійної експлуатації. Вентиляційні агрегати, повітроводи та інші елементи тимчасових вентиляційних схем приймаються з урахуванням їх використання протягом усього періоду будівництва.

Забруднене повітря видаляють безпосередньо на поверхню або у вихідний струмінь головного вентилятора. Кількість повітря, яке потрібно для вентиляції виробок, визначається за максимальною кількістю людей, одночасно зайнятих на підземних роботах, виходячи із норми не менше 6 м³/хв на людину.

При розрахунку викиду повітря із вентиляційних систем в атмосферу повинні дотримуватися ГДК шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів, встановлені санітарними правилами ДСП 173.

Кількість повітря, яке потрібно для вентиляції виробок, визначається за максимальною кількістю людей, одночасно зайнятих на підземних роботах, виходячи із норми не менше 6 м³/хв на людину за формулою:

$$Q = \frac{6N}{60}, \quad (5.1)$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

011.170002.MP.2021.000

де 6 ($\text{м}^3/\text{хв}$) – норма подачі свіжого повітря на одну людину; N – найбільша кількість людей, які знаходяться в тупиковій виробці.

Отриману за формулою (5.1) кількість повітря перевіряють за швидкістю його руху по підземній виробці, яка повинна становити $0,25 < V < 6$ м/с:

$$V = \frac{Q}{S}, \quad (5.2)$$

де S – площа перерізу виробки, що вентилюється.

Якщо швидкість руху повітря менше $0,25$ м/с, то кількість повітря ($\text{м}^3/\text{с}$) для вентиляції визначається

$$Q = 0,25S. \quad (5.3)$$

Розрахункова продуктивність вентилятора ($\text{м}^3/\text{с}$) буде дещо більше через компенсацію втрати повітря через нещільності трубопроводу:

$$Q_B = pQ, \quad (5.4)$$

де p – емпіричний коефіцієнт доставки, який знаходять за формулою:

$$p = \left(\frac{\beta d L}{3m} \sqrt{R} + 1 \right)^2, \quad (5.5)$$

де β – коефіцієнт питомої стикової повітропроникності, який дорівнює $0,001$; d – діаметр труб, м; L – довжина трубопроводу, м (але не більше 200 м); m – довжина ланки труби, м, причому $m=2,5$ м при $d \leq 0,6$ м та $m=3,5$ м при $d > 0,6$ м; R – аеродинамічний опір трубопроводу.

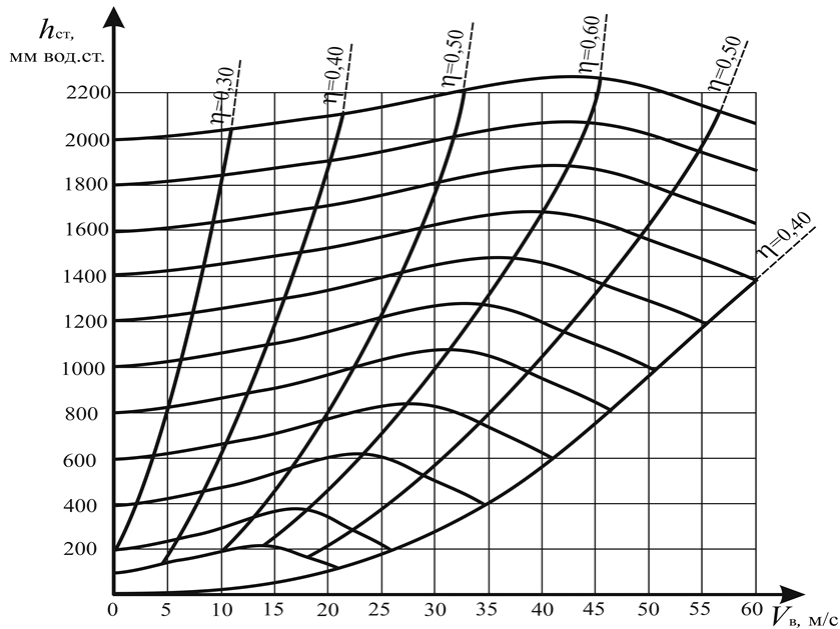
Аеродинамічний опір трубопроводу R (у кілоджоргах) складає:

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок вентиляції при виконанні робіт

	Агеєв
Прізвище	Антон
Введіть довжину дільниці L (не більше 200 м), м	100
Введіть діаметр оправи D , м	5,1
Введіть максимальну кількість працівників N , чоловік	8
Введіть діаметр труб для вентиляції d , м	0,6
Введіть довжину ланки труби m , м	2,5
Площина перерізу виробки S , м ²	20,42
Кількість повітря (за кількістю працівників) QП , м ³	48,00
Швидкість руху V , м/с (порівняти із VП)	0,04
Потрібна швидкість руху VП , м/с	0,25
Потрібна кількість повітря Q , м ³ /с	5,10
Розрахункова продуктивність вентилятора Qв , м ³ /с	5,23
Коефіцієнт доставки η	1,03
Аеродинамічний опір трубопроводу R , кіломюргів	2,51
Введіть коефіцієнт аеродинамічного опору α	0,0003
Статичний напір вентилятору h , мм. вод. ст. (даПа)	67,005908
Площа вихідного отвору вентилятору Fв , м ²	1,05
Введіть швидкість повітря Vв (за номограмою), м/с	5

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



За результатами номограми обираємо вентилятор СВМ-6М із площею вихідного отвору $1,1 \text{ м}^2$.

5.9 Допоміжні роботи

В тунелях укладання колії виконується після закінчення гідроізоляційних та опоряджувальних робіт, укладання бетону або блоків основи під колію. До укладання колії у тунелях встановлюють колійні репери: на прямих ділянках – через 20 м, на ділянках кривих та примикаючих до перехідних кривих прямих ділянок – через 5 м. На прямих ділянках колії репери встановлюються з правого боку колії по ходу руху поїздів, а на кривих – з боку зовнішньої рейкової нитки.

На стінах тунелів масляною фарбою наносять номери пікетів, відмітки місць розташування рейкових стиків, початок та кінець перехідних і кругових кривих, місцеположення ізолюючих стиків, початок рамної рейки стрілочного переводу, математичного центру хрестовини.

Роботи по улаштуванню колії виконують у такому порядку:

- до місця укладання доставляють рейкові пліті, шпали, скріплення і монтажні деталі для розкріплення та укладання колії;
- піднімають, рихтують та розкріплюють колію за допомогою розпірних домкратів;

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.MP.2021.000					

При укладенні бетонної суміші та виконанні опоряджувальних робіт захищають рейки від забруднення. Перед здачею в експлуатацію рейки, скріплення та шпали обов'язково очищуються.

Монтаж контактної рейки і її пристроїв починається після закінчення монтажу переводів та з'їздів і опорядження колії. Регулювання положення контактної рейки по висоті виконують за допомогою укладання під кронштейни дерев'яних нашпальників. Контактна рейка, захисний короб, кронштейни та деталі скріплення після закінчення монтажу очищуються від пилу, бруду та іржі, а кронштейни і скоби ізоляторів покриваються асфальтовим лаком.

Відведення води із виробки при проходці тунелю на підйом виконується самопливом. При проходці під уклон видалення води із виробки виконується за допомогою розміщених у забої спеціальних насосів і проміжних водовідливних установок. Ухил відкритих водовідливних пристроїв призначається не меншим ніж 3 ‰.

Головна водовідливна установка повинна розміщуватися поблизу ствола. Кількість насосів головного водовідливу приймають не менше трьох із розрахунку: один – у роботі, другий – у резерві і третій – у ремонті. Добова продуктивність насосів, які знаходяться в роботі, визначається такою, що перевищує максимальний очікуваний добовий приплив води на 20 ‰.

При одному робочому насосі кількість напірних поставів труб головного водовідводу повинна бути 2, а при двох і більше працюючих насосах – 3. В насосних установках проміжного водовідливу повинно бути не менше двох насосів: один – робочий, другий – резервний. Робота усіх насосних установок здійснюється в автоматичному режимі.

Напірні постави монтуються 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 встановлюються засувки і зворотні клапани.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.МР.2021.000				

Кожна насосна установка головного водовідливу повинна бути обладнана контрольно-вимірною апаратурою. Підлога насосної камери головного водовідливу повинна бути вище за рівень відкаточних колій на 0,5 м. Місткість водозбірника насосної камери головного водовідливу призначається не меншою 150 м³ при припливі води до 300 м³/год, а при припливі води більше 300 м³/год встановлюється проектом.

Насосні установки проміжного водовідливу розміщують у тунелі або в спеціально улаштованих камерах. Камери улаштовують у виробках, передбачених для потреб експлуатації. Місткість і конструкцію водоприймача визначають ПВР.

Електропостачання метрополітенів здійснюється від міських електростанцій або підстанцій. Електроенергія, що потрапляє від джерел електропостачання у вигляді трьохфазного змінного струму напругою 6...10 кВ, перетворюється за допомогою тягових та понижуючих підстанцій в електричний струм більш низької напруги та подається до споживачів, розташованих на лініях метрополітенів. Електроенергія використовується для руху поїздів, освітлення та роботи технологічного обладнання метрополітену: ескалаторів, санітарно-технічних установок, зв'язку та пристроїв АТРП (автоматика і телемеханіка для руху поїздів) і установок для ремонтних та побутових цілей.

На електропоїздах застосовуються тягові двигуни постійного струму, які отримують електроенергію від контактної (тягової) мережі.

На метрополітенах використовується постійний струм напругою 825 В. До електроприводів ескалаторів та санітарно-технічних установок підводять змінний струм напругою 380 і 220 В. Для освітлення тунелів метрополітенів лампами накаливання та люмінесцентними лампами використовується змінний струм напругою 220 В. Пристрої СЦБ та зв'язку, що забезпечують пропускну спроможність лінії та безпеку руху поїздів, користуються електроенергією змінного струму напругою 380 чи 220 В, пристрої АДРП – 220 В.

Існують дві системи електропостачання метрополітенів – централізована

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.MP.2021.000					

і децентралізована (розподілена).

Централізована система споживання електроенергією полягає в тому, що тягові підстанції розташовують на поверхні вздовж лінії метрополітену на відстані одна від іншої, що залежить від тягових навантажень. Понижуючі підстанції розташовують біля станцій метрополітенів, на котрих зосереджена велика кількість споживачів електроенергії.

Децентралізована система електропостачання ліній метрополітену відрізняється більшим числом тягових підстанцій, розташованих разом з понижуючими підстанціями біля станцій метрополітену. Так утворюються поєднані тягово-понижуючі підстанції (ПТП), що живлять і поїзди метрополітену, і усе його електрообладнання. На метрополітенах використовується переважно децентралізована схема електропостачання.

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Розділ 6

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

6.1 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.

6.2 Машини та механізми, які задіяні на об'єкті

- тунелепрхідницький комплекс компанії «Херренкнехт»;
- козловий кран КС–50–42Б;
- автомашини КрАЗ;
- екскаватор;
- навантажувач ґрунту;
- бетонозмішувач.

6.3 Основні небезпечні виробничі фактори

- машини та механізми
- електричний струм;
- значна висота відносно поверхні землі;
- низькотемпературні розчини;
- мікроклімат робочої зони;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- токсичні матеріали та розчини, що застосовуються;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- шум та вібрація;

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- фізичне перенавантаження;
- нервово-психічне перенавантаження.

6.4 Вимоги безпеки праці під час щитової проходки

Високий рівень механізації робіт при спорудженні тунелів сучасними ТПМК суттєво покращив умови праці та безпеку робіт прохідників, яких у теперішньому представленні на механізованих щитах з активним привантаженням забою більше немає.

В той же час змінилися вимоги, які повинні враховуватись при розробці проектів організації будівництва та виробництва робіт, регламентів на технологічні процеси, інструкцій по безпеці та керівництв по експлуатації і технічному обслуговуванню ТПМК, що постачаються на будівництво. При цьому враховують, що технічні рішення та конструкція ТПМК повинні відповідати вимогам норм і правил безпеки, які відносяться до обладнання і технології, що використовуються.

При розробці заходів безпеки необхідно звернути особливу увагу на наступні питання:

- коротке замикання та запалення горючих матеріалів;
- ураження електричним струмом;
- виконання робіт під стисненим повітрям у забійній камері щита;
- пересування важких елементів (блоків тунельної оправи, труб і т.п.) в умовах обмеженого простору;
- подача потягів у межах комплексу з локомотивом у хвості;
- можливість падіння людей на настилах та драбинах у забійній камері, звільненій від матеріалу привантаження.

При розробці заходів безпеки керуються вимогами ДНАОП 60.21-1.36-84 «Правила техніки безпеки при виконанні робіт у колійному господарстві метрополітенів» Цметро/4239, «Правила безпеки в метрополітенах» НАПБ В.01.039-99/510.

Для робіт у зоні стиснутого повітря на механізованому щиті щоразу

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

011.170002.MP.2021.000

розроблюють Інструкцію по безпечному виробництву кесонних робіт, Керівництво по медичному забезпеченню кесонних робіт та Інструкцію по медичному відбору персоналу, зайнятого на кесонних роботах.

Забезпечення кесонних робіт стисненим повітрям, електроенергією, водою та зв'язком повинно виконуватися згідно з проєктною документацією. У проєкті організації будівництва розроблюються відповідні лікарняно-профілактичні заходи.

При проходці тунелів з використанням таких складних комплексів, якими є ТПМК з активним привантаженням забою, значний вплив на успішну роботу створюють кваліфікація та досвід персоналу.

Велике значення мають якість та повнота проєктної документації, якість і достовірність проведених інженерно-геологічних вишукувань, якість розрахунків необхідного привантаження забою.

Складність прохідницького обладнання, а також середовища, в якому це обладнання використовується, роблять ремонти ряду вузлів цього обладнання досить ускладненими та небезпечними. Тому до початку робіт необхідно розглянути можливі випадки, що виходять за рамки нормальної роботи та розробляти технічні заходи по безпечному вирішенню аварійних та нештатних ситуацій.

На будівельному майданчику повинні бути організовані або запрошені спеціальні лабораторії, у задачі котрих входять питання підбору складів розчинів привантаження та їх коректування у процесі проходки, тампонажного розчину, визначення якості матеріалів для їх приготування.

Шкідливий вплив на довкілля, який може створити щитова проходка, виражається в осадках ґрунту, підземних та наземних споруд та комунікацій, що потрапляють у зону впливу, у забрудненні розробленого ґрунту у випадку попадання в нього хімічних добавок. Рішення на використання таких домішок та інших матеріалів повинно бути оформлено листом безпеки та мати сертифікат.

ТПМК з активним привантаженням забою мають велику сумарну

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

011.170002.MP.2021.000

буріння із забою з випередженням його на довжину не менше 5 м. По уточненим даним, при необхідності, приймають заходи по запобіганню небезпечних осідань цих споруд та комунікацій.

Технічні характеристики щитових тунелепрохідницьких комплексів, навантажувального та іншого обладнання, зайнятого на підземних роботах, повинні відповідати умовам їх роботи та вимогам, що пред'являються до виробок по вибухо-, електробезпеці та ін.

Перед початком робіт особа технічного нагляду повинна впевнитись у безпеці стану забою, кривлі, боків виробки та кріплення, у роботі вентиляції, проконтролювати загазованість повітря експрес-методом, а також перевірити справність інструментів, механізмів та пристосувань та запобіжних пристроїв.

По закінченню монтажу тунелепрохідницького комплексу виконується випробування основних робочих вузлів, систем та технічних пристроїв комплексу, включаючи обладнання забезпечення безпечної експлуатації з оформленням актів. Керівник організації або назначена ним особа технічного нагляду приймає рішення про проходку контрольної ділянки тунелю.

Розробка породи при проходці виробок повинна виконуватися у всіх випадках починаючи з верхньої частини забою.

Розкриття тунелю на повний профіль та монтаж оправи при укладанні прорізних кілець повинні виконуватися згідно з проектом виробництва робіт (ПВР) під керівництвом особи технічного нагляду.

Всі виробки площею поперечного перетину більше $12,5 \text{ м}^2$ (діаметром 4,0 м і більше), що споруджуються суцільним забоем, повинні виконуватися з використанням спеціального прохідницького обладнання чи пересувних підмостків, забезпечуючи безпеку виробництва робіт у забої.

Вільний прохід для людей на всій протяжності виробки повинен влаштуватися з одної сторони і мати висоту не менше 1,8м. У виробках з конвеєрною доставкою ширина проходу для людей повинна бути не менше 0,7м з однієї сторони і зазор 0,4м з іншої.

Відстань відкатки завантажених вагонеток у призабійній зоні за

											Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.MP.2021.000						

допомогою вантажних машин не повинно перевищувати 25м і обмежується границями технологічного комплексу укладальника чи щита.

Для монтажу чи демонтажу елементів збірних оправ підземних виробок використовують механічні укладальники, а у виняткових випадках для тубінгової оправы – лебідки.

До управління механізмами допускаються особи, які мають відповідну кваліфікацію.

До початку робіт по монтажу збірної оправы укладальник, опори та кронштейни, по яким він пересувається, повинні бути ретельно оглянуті машиністом укладальника та черговим електрослюсарем. Результати огляду повинні бути занесені у журнал прийому-здачі змін.

При виконанні монтажних робіт забороняється прибирати з-під елементів оправы, що монтуються, висувні балки укладальника до повного замикання кільця збірної оправы.

Усі роботи по монтажу збірної оправы повинні виконуватися під захистом висувного козирка укладальника чи тимчасового кріплення.

Монтаж оправы вище горизонтального діаметру повинен виконуватися зі спеціальних висувних площадок з огороженням.

Монтаж оправы укладальниками, не обладнаними висувними запобіжними козирками, при незакріпленій кривлі та боках підземної виробки допускається лише у стійких породах з використанням захисних огорожень робочої зони від падаючих кусків породи. Конструкція цих огорожень встановлюється ПВР.

Руйнування крупних валунів та інших твердих включень чи їх виймання із ґрунтового масиву виконують при зупиненому щиті під захистом кріплення під керівництвом особи технічного нагляду.

Робоче місце машиніста щита повинно бути зв'язане світловою та звуковою сигналізацією з усіма механізмами технологічного комплексу.

При роботі механізованого щита повинні бути передбачені спеціальні пристрої для подавлення чи вловлювання пилю, що знижують її вміст у

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.МР.2021.000				

призабійній зоні до допустимого рівня. Це обладнання повинно включатися у роботу до пуску робочого органа. Допускається робота механізованого щита без використання спеціальних пристроїв для подавлення чи вловлювання пилу при забезпеченні засобами вентиляції у призабійній зоні концентрації пилу в повітрі не вище гранично допустимих рівнів.

При зупинках механізованого щита на термін більше зміни забій повинен бути закріплений згідно з ПВР, розробленим з урахуванням інженерно-геологічних умов та конструкції робочого органа щита.

Двигуни робочого органа щита повинні вмикатися тільки після того, як машиніст особисто впевниться у відсутності в забої людей, обрушення породи, залишків кріплення або інших предметів.

Роботи попереду робочого органа щита (ліквідація вивалу ґрунту та ін.) повинні виконуватися під керівництвом особи технічного нагляду. У процесі цих робіт приводи обертання та подачі робочого органа повинні бути знеструмлені, а на пульті управління повинен бути вивішений плакат «Не вмикати – працюють люди!».

Монтаж оправи з наступним обтисканням її в породу повинен виконуватися під захистом оболонки щита. У момент обтискання кільця забороняється знаходитись у небезпечній зоні, встановленій ПВР.

Усі допоміжні підземні виробки, які використовувалися при спорудженні метрополітенів і в подальшому не можуть більше застосовуватися, старанно забутовують.

Роботи по проходці тунелю повинні бути зупинені у випадку збільшення осідань і появи небезпечних деформацій наземних будівель та споруд, діючих ліній метрополітену або підземних комунікацій, що знаходяться у зоні впливу тунельних робіт. При цьому негайно вживають заходи по укріпленню будівель та споруд, забезпечуючи їх нормальну експлуатацію.

Пройдені виробки повинні бути, при необхідності, закріплені додатково.

За деформаціями будівель і споруд повинен бути встановлений щоденний маркшейдерський контроль.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

011.170002.MP.2021.000

Поновлення тунельних робіт після виявлення та усунення небезпечних факторів виконується тільки з дозволу замовника і проєктної організації.

Для запобігання впливу деформацій ґрунту при спорудженні тунелів при закритому способі робіт під будівлями та наземними інженерними спорудами або поблизу них слід:

1) споруджувати тунель переважно із застосуванням тунельної оправи, яка зменшує або виключає осідання поверхні над тунелями;

2) ліквідувати будівельний зазор між оправою та ґрунтом безпосередньо у забої шляхом безперервного нагнітання розчину за перше від забою кільце оправи;

3) обладнати щити пристроями, які зменшують деформацію кільця оправи при сході його з оболонки щита;

4) укріплювати попередньо конструкції будівель та споруд за допомогою підсилення конструкції, підведення фундаментів, штучної стабілізації ґрунтів;

Підземні комунікації, що перетинають запроєктовані тунелі або, які проходять у зоні осідання, розміщують у сталевих футлярах, які входять в колодязі за межами тунелів. При неможливості забезпечення збереження комунікацій дозволяється перекладати їх з виносом за межі зони можливих осідань. Рішення по забезпеченню збереження комунікацій, які перетинаються, повинні передбачатися проєктом.

6.5 Складання і реалізація планів ліквідації аварій на будівництві підземних споруд

План ліквідації аварій (далі – ПЛА) – документ, що визначає заходи і дії, необхідні для порятунку людей і ліквідації аварій в початковий період їх виникнення. У ПЛА мають бути передбачені всі види і місця аварій, можливих в умовах конкретного об'єкту підземного будівництва.

ПЛА об'єкту складається технічним керівником (далі – головний інженер) організації із залученням начальника ділянки (об'єкту) і фахівців організації, за участю командира підрозділу служби рятувальника, за яким

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.MP.2021.000					

закріплений об'єкт.

ПЛА підлягають узгодженню командиром загону або його заступником і затвердженню головним інженером вищестоящої організації. У організаціях, що не входять до складу об'єднань, а також у випадках, коли згідно із статутом організації вищестоящий орган не відповідає за охорону праці і забезпечення промислової безпеки, ПЛА стверджує перший керівник організації.

На кожному об'єкті адміністрація організації при підготовці ПЛА, але не рідше чим через шість місяців повинна проводити усесторонню перевірку і оцінку стану засобів протиаварійного захисту. Перевірка повинна проводитися відповідальними фахівцями організації за участю командного складу служби рятувальника. При узгодженні і затвердженні ПЛА мають бути представлені що додаються до нього: акт перевірки справності реверсивних пристроїв установки вентилятора з пропуском переверненого повітряного струменя по гірських виробленнях об'єкту; акт перевірки засобів протиаварійного захисту, передбачених в ПЛА.

Передбачені в ПЛА матеріальні і технічні засоби для здійснення заходів щодо порятунку людей і ліквідації аварій мають бути в наявності, в справному стані і у необхідній кількості. Систематичний контроль стану цих засобів і відповідності ПЛА дійсному положенню здійснюється начальником ділянки (об'єкту) і командиром підрозділу рятувальника.

ПЛА складається відповідно до фактичного положення виробок об'єкту.

При змінах в схемах провітрювання виробок, в розташуванні і кількості запасних виходів з них, в маршрутах виходу людей і ін., що не дозволяють негайно реалізувати передбачені заходи, в ПЛА в добовий термін мають бути внесені необхідні коректування, погоджені з командиром підрозділу служби рятувальника, за яким закріплений об'єкт.

При виявленні невідповідності фактичного положення на об'єкті умовам негайної реалізації передбачених в ПЛА заходів командир, що погодив цей план, має право розголошувати його в цілому по об'єкту, а командир підрозділу (якщо він не погоджував цей план) – окремі його позиції. Про відміну

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

011.170002.MP.2021.000

узгодження ПЛА або окремих його позицій командир служби рятувальника у письмовій формі повідомляє головного інженера організації, осіб, стверджуючих ПЛА, і територіальний орган Держміськтехнагляду для прийняття ними необхідних заходів.

Відповідальність за своєчасне і правильне складання ПЛА і відповідність його дійсному положенню несуть головний інженер організації і командир служби рятувальника, що погодив цей план. Начальник ділянки і командир підрозділу, за яким об'єкт закріплений, несуть відповідальність за готовність до негайної реалізації передбачених в ПЛА об'єкту першочергових заходів.

План ліквідації аварій повинен містити:

- оперативну частину (форма №1), в якій передбачаються: першочергові заходи щодо порятунку людей і ліквідації аварій; відповідальні особи і виконавці цих заходів; дороги і час виходу людей з аварійного і погрожуючих ділянок; маршрути руху і завдання відділень рятувальників;
- розподіл обов'язків між окремими працівниками адміністрації організації і персоналу об'єкту, що залучаються до ліквідації аварії, і порядок їх дій. Обов'язки розподіляються стосовно структури і штатів організації;
- список посадових осіб і установ, які мають бути негайно сповіщені про аварію, і в необхідних випадках список членів ВГК (форма №2).

До оперативної частини ПЛА мають бути прикладені наступні документи:

1. Схема підземних виробок з нанесеними на ній умовними позначеннями: мережі трубопроводів стислого повітря і водопроводів з пожежними кранами, місць розташування вогнегасників, аварійного запасу матеріалів і інструментів, насосів і водозбірників з вказівкою відповідно їх продуктивності і місткості, водотривких перемичок.

2. Вентиляційний план підземних виробок, на якій умовними позначеннями наносяться: тип і продуктивність (розрахункова і фактична) головної установки вентилятора, напрям руху вентиляційного струменя, вентиляційні пристрої (двері, перемички, станції вимірів, вентиляційні

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.МР.2021.000				

аварійної ділянки і доступ відділень рятувальників до місця аварії, у тому числі режим роботи вентиляторів місцевого провітрювання, використання стислого повітря.

3. Режим енергопостачання аварійної ділянки і інших підземних виробок (відключення електроенергії, контактній мережі відкати електровоза, освітлювальні мережі, включення аварійного освітлення і тому подібне).

4. Розставлення постів безпеки.

5. Способи і засоби активної боротьби з наслідками виниклої аварії в початковій стадії.

6. Використання підземного транспорту для швидкої евакуації людей з аварійної ділянки і доставки відділень рятувальників до місця аварії.

7. Організація роботи командного пункту.

У першочергових заходах позицій оперативної частини ПЛА виклик підрозділів рятувальників повинен передбачатися при всіх видах аварій в підземних умовах, при аваріях на будівельних майданчиках, в котлованах, траншеях і на об'єктах життєзабезпечення підземних робіт, якщо створюється загроза безпеці людям, що знаходяться в гірських виробках.

При пожежах у виробках, що мають безпосередній вихід на поверхню, і на будівельних майданчиках у вказаних вище місцях в ПЛА передбачається також виклик підрозділів державної протипожежної служби.

Оперативні завдання підрозділів служб рятувальника і протипожежної по порятунку людей і гасінню пожеж передбачаються з врахуванням інших першочергових заходів відповідної позиції ПЛА за узгодженням з командуванням підрозділів цих служб.

У цих випадках при ліквідації аварій керівник робіт рятувальників і керівник гасіння пожежі діють згідно із справжніми Правилами, взаємодіючи безпосередньо і через відповідального керівника ліквідації аварії.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

011.170002.MP.2021.000

Загальні висновки

1. Аналіз інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов будівництва доводить, що у місці будівництва дуже різноманітні інженерно-геологічні умови із переважною наявністю різного виду пісків, супіску та глини, які характеризуються як слабкі ґрунти.

2. На основі аналізу інженерно-геологічних умов проведене варіантне проектування оправ перегінного тунелю із вибором трьох видів оправ (Варіант 1. Оправа із чавунних тюрінгів, Варіант 2. Оправа із залізобетонних тюрінгів В40, Варіант 3. Оправа із залізобетонних блоків В30), для яких проведене обґрунтування розмірів та виконане техніко-економічне порівняння, яке свідчить про найбільшу доцільність застосування Варіанту 3 ($h=25$ см).

3. Виконане дослідження міцності оправи перегінного тунелю шляхом виконання розрахунку методом скінченних елементів на основі модифікованого методу Метродіпротрансу, для чого були побудовані стержневі моделі в комплексі SCAD та обґрунтований переріз елементів оправи та стержнів армування (запас міцності 1,9 рази).

4. Результати аналізу варіації оправи із дослідженням силових факторів свідчать про те, що умови міцності виконуються для варіантів із товщинами $h=20$ і 15 см, тобто зменшення товщини не призводить до зменшення міцності блоку. Спостерігається незначне зменшення запасу міцності: у Варіанті 1 – в 1,7 рази, у Варіанті 2 – в 1,5 рази, тобто раціональним варіантом може бути прийнятий варіант оправи із залізобетонних блоків В30 із товщиною $h=15$ см.

5. Обґрунтовано технологію щитової проходки перегінного тунелю в слабкому масиві із застосуванням щита «Херренкнехт» для слабких ґрунтів (з активним привантаженням забою) й основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях при щитовій проходці.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.170002.МР.2021.000				

проходки тоннелей [Текст] / Ю. С. Фролов, Ю. А. Мордвинков // Метро и тоннели. – 2006. – № 5. – С. 32-35.

32. Чеботаев, В. В. Прогнозирование деформаций грунтового массива при сооружении тоннелей щитами с активным пригрузом забоя (на примере Серебряноборских тоннелей) [Текст] / В. В. Чеботаев, Е. В. Щекудов, А. Г. Андриянов // Метро и тоннели. – 2007. – № 2. – С. 38-39.

33. Шестопалов, К. К. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование: Учеб. пособие [Текст] / К. К. Шестопалов. – Москва : Мастерство, 2002. – 320 с.

34. Юркевич, П. Б. Подземное проектирование – комплексный подход [Текст] / П. Б. Юркевич // Метро и тоннели. – 2002. – № 5. – С. 24-29.

35. Mitsubishi. Heavy Industrials Ltd. Tunneling machines [Текст]. – Prospect. 2003. – p. 40.

					011.170002.MP.2021.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		