

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра «Мости та тунелі»

До захисту:

Завідувач кафедри МТ

_____ О. Л. Тютюкін

« ____ » _____ 2020 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 спорудження колонної станції метрополітену глибокого закладення із клинчастими перемичками»

Theme: "Substantiation of the construction
of a deep contour interval column station with wedge jumpers"

Керівник магістерської роботи	<u>К.т.н., доц.</u> (посада)	_____ (підпис)	<u>В. П. Купрій</u> (ПІБ)
Консультант розділу з БЖД	<u>К.т.н., доц.</u> (посада)	_____ (підпис)	<u>Ю. Л. Заяць</u> (ПІБ)
Нормоконтролер	<u>Д.т.н., доц.</u> (посада)	_____ (підпис)	<u>О. Л. Тютюкін</u> (ПІБ)
Виконавець, студент групи МТ1922		_____ (підпис)	<u>П. А. Візір</u> (ПІБ)
Student			<u>Pavlo Vizir</u>

2020 р.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реферат

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

Об'єкт дослідження: колонна станція метрополітену глибокого закладення із клинчастими перемичками.

Предмет дослідження: напружено-деформований стан колонної станції метрополітену глибокого закладення із клинчастими перемичками.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні спорудження колонної станції метрополітену глибокого закладення із клинчастими перемичками та визначенні параметрів напружено-деформованого стану її оправи.

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

1. Виконано геологічних та гідрогеологічних умов будівництва та проведене обґрунтування конструкції станції з клинчастими перемичками.
2. Виконані статичний розрахунок та чисельний аналіз колонної станції із клинчастими перемичками методом скінченних елементів.
3. Проведене обґрунтування спорудження колонної станції метрополітену глибокого закладення із клинчастими перемичками БВР.
4. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях при спорудженні станції метрополітену БВР.

Галузь застосування: метробудування.

Ключові слова: метрополітен, колонна станція метрополітену, глибоке закладення, клинчасті перемички, чисельний аналіз, метод скінченних елементів, буровибухові роботи, охорона праці

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

011.150004.МР.2020.ПЗ

5.9 Розрахунок параметрів БВР (пілот-тунель)	
5.10 Визначення загальної кількості шпурів під час підривання (пілот-тунель)	
5.11 Розрахунок параметрів БВР (калота середнього тунелю)	
5.12 Визначення загальної кількості шпурів для калоти під час підривання	
5.13 Розрахунок параметрів електропідривної мережі	
5.14 Паспорт БВР	
5.15 Провітрювання виробок	
Розділ 6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	
Висновки	
Бібліографічний список	

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Колонні станції метрополітену глибокого закладення, на відміну від таких же трьохсклепінчастих пілонних, мають значні переваги, які впливають із їх архітектурно-конструктивних особливостей. Колонна станція метрополітену глибокого закладення представляє собою три тунелі, що поєднуються між собою через спеціальні елементи, при цьому система прогонів або перемичок перерозподілює внутрішні зусилля, формуючи просторовий напружено-деформований стан (НДС). Важливою перевагою є наявність острівною платформи значної ширини (до 11,7 м), що дозволяє сформувати усередині станції пасажиропотоки, які зручно перерозподіляються та контролюються.

Відомо, що метрополітен – це великий і складний комплекс різноманітних споруд, оснащених сучасною автоматизованою технікою, покликаною забезпечити безперервність пасажирських перевезень за чітким графіком. Станція в системі метрополітену є вузловим стратегічним елементом, тому її конструкція повинна відповідати низці характеристик, які дозволяють повністю забезпечити експлуатацію рухомого складу, платформи із пасажирами та спорудами зв'язку із поверхнею землі. Конструкція станції повинна відповідати вимогам міцності, стійкості, надійності та довговічності.

Як вже було відмічено, колонні станції метрополітену являють собою просторову конструкцію, піддану впливам сил тиску навколишніх гірських порід. Інтенсивність силових впливів обумовлюється властивостями прорізуваних виробкою порід, характером нашарувань, гідрогеологічним режимом підземних і поверхневих вод і поруч інших геологічних ознак, що підлягають дослідженню в процесі вишукувань. НДС оправи станції можливо визначити лише в ході просторових розрахунків за допомогою чисельного аналізу. Дані про переміщення та напруження є інформацією, що надає можливості обґрунтувати конструктивні особливості станції.

Для колонних станцій метрополітену глибокого закладення матеріалом, з якого вони споруджуються, переважно обираються збірний залізобетон (блоки) або чавун (тубінги). Рекомендовано, і це обґрунтовано досвідом спорудження

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

станцій такого типу у світі, обирати варіант із залізобетону. Однак за наявності значних водопритоків та неоднорідних ґрунтів слід застосовувати станційну оправу, виконану із чавунних тюбінгів, як конструкцію підвищеної несучої здатності та герметичності.

Така конструкція потребує наукового обґрунтування її НДС, а також особливостей спорудження, оскільки воно частіш усього проходить в породах достатньої міцності і вимагає застосування буровибухових робіт (БВР). Таким чином, задача в магістерській роботі розділюється на два напрямки: 1) виконати комплекс досліджень та розрахунків станції колонного типу глибокого закладення із обґрунтуванням процесу її спорудження; 2) провести чисельний аналіз станційної конструкції із застосуванням методу скінченних елементів (МСЕ) для відшукування НДС та оцінки несучої здатності оправи із чавунних тюбінгів.

Поставлені та вирішені в рамках наданої магістерської роботи задачі дозволяють повною мірою досягти мети обґрунтування спорудження колонної станції метрополітену глибокого закладення із клинчастими перемичками та визначенні параметрів напружено-деформованого стану її оправи. Отримані результати чисельного аналізу позначені науковою новизною, а обґрунтований процес спорудження станції колонного типу глибокого закладення має практичну цінність і може бути застосований в подібних задачах метробудування.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1

Аналіз геологічних та гідрогеологічних умов будівництва

При проектуванні станції метрополітену враховуються різноманіття інженерно-геологічних факторів, а також характер її взаємодії з навколишньою породою [24, 40, 41]. Задачею інженерно-геологічних вишукувань для підземних споруджень є встановлення найбільш ймовірного прогнозу несприятливих процесів і явищ, що можуть виникнути в конкретних геологічних умовах у зв'язку з порушенням виробкою цілісності масиву, і розробка відповідних рекомендацій проти їхніх проявів.

Обсяг інженерно-геологічних робіт, їх склад і зміст визначаються стадією проекту і складністю спорудження [24, 41]. За результатами вишукувань, проведених за допомогою розвідницького буріння і електророзвідки, виконується зведений інженерно-геологічний звіт, що звичайно складається з первинних документів, загальної частини й інженерно-геологічних висновків.

Для проектування найбільш важливими є наступні дані звіту [24, 41]:

- геологічна структура і стійкість гірського масиву;
- наявність зон розмиву, провалів, зсувів і карстів, а також скидань, складок і ін.;
- очікуваний гірський тиск і імовірність зустрічі ділянок зі значним тиском;
- зони і характер можливих обвалень і вивалів породи при її розробці;
- фізико-механічні властивості порід і їхня міцність у відношенні розробки;
- опірність порід вивітрюванню і вилуговуванню;
- здимання порід і його інтенсивність;
- теплопровідність порід і очікувана температура в підземній виробці;
- кути природного укосу порід;

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

брилові ґрунти з піщано-глинистим заповненням до 30-40 %, неоднорідні потужністю до 11 м;

9. Плагіограніт сірий, зеленувато-сірий, масивний, мілко- і середньозернистий, тріщинуватий.

Основні фізико-механічні показники вищеназваних ґрунтів представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Основні фізико-механічні властивості ґрунтів

№	Питома вага ґрунту, кН/м ³	Кут внутр. тертя, град.	Питоме зчеплення, кПа	Модуль деформації, МПа	Коефіцієнт фільтрації, м/сут
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	17,84-19,60	21	3	5	0,89
4	18,52-19,70	31	1	23	1,62
5	20,58	34	-	33	3,50-50
6	18,62-19,21	24	43	14	0,003
7	18,42	23	60,5	9	0,003
8	25,87	38	-	30	0,024-15
9	25,87	40	-	40	0,024-15
10	26,10	76	-	-	3,5-10,4 м ² /сут

Різні види гранітів характеризуються різними типами кристалічної структури. Серед них зустрічаються грубозернисті, з діаметром зерен більше 5 мм, середньозернисті із зернами від 5 до 2 мм в поперечнику, дрібнозернистого

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.150004.МР.2020.ПЗ					

з діаметром зерен менше 2 мм.

Гідрогеологічні умови ділянки характеризуються наявністю одного водоносного комплексу. Водовміщуюча товща літологічно неоднорідна у розрізі і плані. Представлена супісками, суглинками, пісками, гравелистою товщою, елювієм і тріщинуватою зоною гранітів, прийнятою до глибини 50 м, нижче якої залягають монолітні граніти які являються регіональним водоупором. Водоносний комплекс являється безнапірним, постійно існуючим.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2

Обґрунтування конструкції станції з клинчастими перемичками

2.1 Вибір станційної конструкції

При виборі конструкції станції у першу чергу враховуємо умови будівництва і матеріали, що застосовуються в тій чи іншій конструкції [1, 24, 30, 33, 41]. При виборі конструктивного рішення станції необхідно порівнювати пілонні і колонні станції з різними оправами [25], причому перевагу слід віддавати колонному типу. Односклепінчастий тип станції не є переважним, оскільки значна тріщинуватість викликає значний гірський тиск, який може призвести до локального руйнування [1, 2].

Конструктивна схема колонної станції базується на ідеї об'єднання колійних тунелів і розподільного залу в одну конструкцію [2, 32, 33]. На відміну від роз'єднаних тунелів пілонної станції, тунелі в колонній станції зближені таким чином, що їх оправи перетинаються і спираються на спільні опори – внутрішні несучі конструкції. Ці конструкції, як правило, виконують у вигляді поздовжньої колонади, що не впливає на пасажиропотік.

Можливі два варіанти конструктивних схем колонних станцій. За першою схемою склепіння оправ спираються на колони через поздовжні прогони. За другою схемою розімкнена оправа тунелів спирається на колони через стандартні тюрінгові клинчасті перемички, що входять до складу кілець оправи тунелів, аналогічно пілонним станціям. Перша схема прийнятна для станцій як з чавунною, так і із залізобетонною оправами, друга – тільки з чавунною [33].

У разі чавунної тюрінгової оправи у вузлі сполучення склепінь з колонами елементи пов'язані болтовими зв'язками (жорсткий вузол). Жорстким буде сполучення склепінь і в разі монолітної залізобетонної оправи станційних тунелів.

Розглядаються два варіанти конструкції станції. Для цього виконується аналіз інженерно-геологічних умов оскільки властивості породного масиву у якому розташовується станція є основними критеріями вибору її типу та

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалу оправи.

Проаналізувавши інженерно-геологічні умови місця будування станції у породах середньої міцності тріщинуватих найкращим із типів станцій є колонна з різними типами оправи. Відмітна особливість колонної станції – наявність додаткових опор перекриття: металевих або залізобетонних колон, розташованих паралельно поздовжній осі станції. Оправу згідно геологічного розрізу доцільно призначити із чавуну та збірного залізобетону.

2.2 Розрахунок параметрів станції зі збірного залізобетону

У ході розробки нових конструктивних рішень колонної станції з оправами із збірного залізобетону за основу була прийнята традиційна схема станції колонного типу з розташуванням посадочних платформ у колійних тунелях [28, 33]. В умовах значних навантажень на конструкцію (до 1,5 МПа) і великого прогону колійних тунелів станції необхідно звести до мінімуму негативну дію згинальних моментів в опорних вузлах, де сполучаються залізобетонні елементи оправи, і знизити матеріаломісткість внутрішніх несучих конструкцій. Це завдання вирішується за рахунок улаштування шарнірного сполучення елементів у опорному вузлі, де з'єднуються склепіння оправ колійних тунелів і склепіння середнього залу (рис. 2.1).

Основним конструктивним елементом оправи колійних тунелів станції є типові кільця оправи зовнішнім діаметром 8,5 м із залізобетонних тубінгів. У кожне таке кільце (з боку осі станції) включені опорні чавунні тубінги 1 і залізобетонні фундаментні блоки 6. Лоткові тубінги замінені плоскими залізобетонними блоками. Розімкнені кільця колійних тунелів через чавунні опорні елементи вгорі й залізобетонні фундаментні блоки внизу спираються на систему внутрішніх несучих конструкцій.

Ця система складається зі сталевих двоконсольних прогонів 3 коробчастого перерізу з криволінійним нижнім поясом, зі сталевих колон 4 коробчастого перерізу й нижнього прогону 5, виконаного з монолітного або збірного залізобетону.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

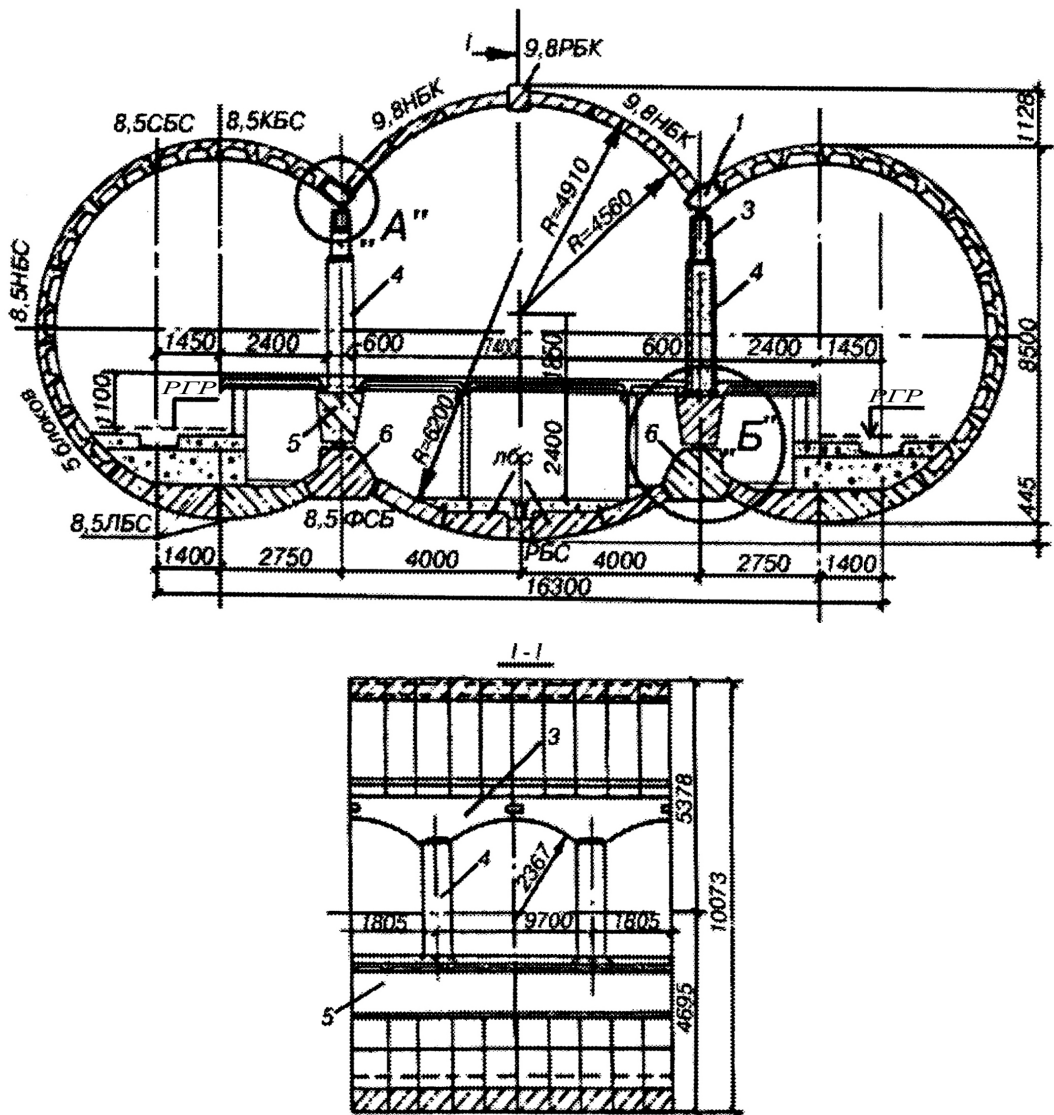


Рисунок 2.1 – Конструкція з оправою із залізобетонних елементів та фундаментними блоками (вузол «А» – фасонний тубінг, вузол «Б» – кріплення нижнього прогону)

Для виключення ексцентриситетів навантаження від тубінгових оправ передається на систему металоконструкцій: вгорі через циліндровий шарнір 2 на верхній пояс двоконсольного ригеля, а внизу через циліндровий шарнір і опорну частину – на залізобетонний прогін. Двоконсольний ригель і колона зварної коробчастої конструкції виготовлені з листів високоміцної низьколегованої сталі завтовшки 75...90 мм. Шарнірне обпирання розімкнених кілець оправи колійних тунелів на внутрішні несучі конструкції дозволило

						011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

скоротити габаритні розміри цих конструкцій і розмістити їх повністю всередині бічних тунелів діаметром 8,5 м. При цьому відстань до краю платформи склала 2,4 м, а висота проходу – більше 3 м при кроці колон 3,79 м.

Склепіння середнього залу станції виконане з не пов'язаних одна з одною арок циркульного контуру. Кожна арка складається із залізобетонних блоків суцільного перерізу. У замковий блок вмонтовані плоскі домкрати для обтискання склепіння на ґрунт. Для центрованої передачі нормальної сили між блоками встановлені вініпластові прокладки. Аналогічне за конструкцією зворотне склепіння середнього залу. Багатошарнірна схема склепінь середнього залу станції дозволила понизити армування залізобетонних елементів. Регульоване обтискання склепінь на породу дає можливість зафіксувати положення колон у вертикальній площині й зменшити осідання земної поверхні під час спорудження станції [2, 26].

Основними розмірами станції є: довжина і ширина посадочних платформ, довжина і ширина середнього залу станції, висота станції у світу, ширина і висота проходів, число ескалаторів [33].

1. Довжина пасажирської платформи станції приймається згідно з кількістю вагонів, які експлуатуються в поїздах, що проходять через станцію:

$$L_{пл} = l \cdot n + a$$

де l – довжина вагонів між зчепленнями, $l = 19,2$ м;

n – кількість вагонів у поїзді, $n = 5$ шт.;

a – запас на неточність зупинки поїзда – 2 м.

$$L_{пл} = 19,2 \cdot 5 + 2 = 98\text{ м}$$

Довжина платформи має бути кратною кількості кілець ширина яких 0,75 м та відстані між колонами 3,75 м:

									011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$\frac{L_{пл}}{0,75} = 130,67 \text{шт.}$$

Округлюємо до 131 кільця, остаточно довжина платформи складає:

$$\frac{131 \cdot 0,75}{3,75} = \frac{98,25}{3,75} = 27_{\text{колон}}$$

$$27 \cdot 3,75 = 101,25 \text{м}$$

$$L_{пл} = 101,25 \text{м}$$

$$\frac{L_{пл}}{0,75} = 135 \text{кілець}$$

2. Площа платформи:

$$\omega = P_{пл} \cdot \eta$$

де $P_{пл}$ – кількість пасажирів, які знаходяться на платформі в часи «пік»;

$\eta = 0,75$ – щільність заповнення платформи, м²/чол.;

Кількість пасажирів, які знаходяться на платформі:

$$P_{пл} = A \cdot n \cdot K_{п.в.}$$

де, А – розрахункова величина пасажиромісткості вагона, А = 170 чол.

$K_{п.в.} = 0,9$ – коефіцієнт посадки-висадки пасажирів.

$$P_{пл} = 170 \cdot 5 \cdot 0,9 = 765 \text{чол.}$$

Тоді площа платформи:

$$\omega = 765 \cdot 0,75 = 573,75 \text{м}^2$$

3. Розрахункова довжина платформи дорівнює повній довжині поїзду без врахування відстані від початку поїзда до першої двері і від останньої двері до кінця поїзду (≈ 7).

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$l_p = L_{nl} - 7$$

$$l_p = 99 - 7 = 92 \text{ м}$$

4. Необхідна ширина платформи:

Ширина платформи для колонної станції з основною платформою визначається по формулі:

$$B = 2 \cdot v + v_0$$

Відстань від краю платформи яка враховує переміщення людей

вздовж платформи –

$$v = \frac{\omega}{l_p} = \frac{673,75}{92} \approx 6,25$$

$$B = 2 \cdot 6,25 + 3 = 15,5 \text{ м},$$

Приймаєм $B = 16 \text{ м}$

5. Кількість ескалаторів:

Число ескалаторів залежить від часового пасажиропотока станції і пропускної спроможності одного ескалатора:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot n_{\text{л}} \cdot P_{\text{nl}}}{8500}$$

$n_{\text{л}}$ – число пар поїздів на годину

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_n = \frac{60}{t},$$

де t – перерва між двома потягами

$$n_n = \frac{60}{2} = 30 \text{ шт.},$$

8500 – Пропускна спроможність ескалатора при нормальній експлуатації,
чол/год

$$n_3 = \frac{2 \cdot 30 \cdot 553}{8500} = 3,9 \text{ шт}$$

Приймаємо $n_3 = 4 \text{ шт}$.

2.3 Розрахунок параметрів станції з чавунних тюбінгів

Жорсткий вузол обмежує зсув верху колон, але в ньому виникають значні згинальні моменти. У збірній залізобетонній оправі слід передбачити вільне спирання елементів у вузлі сполучення (шарнірний вузол). Таке рішення виключає появу згинальних моментів у вузлі, а це не тільки дозволяє застосовувати блокову оправу (без зв'язків розтягування в стиках), але й приводить до центрованої передачі навантаження на колони [33].

У сучасних конструкціях колонних станцій з чавунною оправою та клинчастими перемичками використовується типова станційна оправа з чавунних тюбінгів діаметром 8,5 і 9,5 м (рис. 2.2).

Внутрішні несучі конструкції складаються тільки з однотипних колон з опорними майданчиками для склепіння бокових тунелів і середнього склепіння станції. Башмаки, опорні балки, залізобетонні ростверки й плити в основі колон виключені повністю. Прогони замінені чавунними типовими клинчастими перемичками з фасонних тюбінгів, які під час проходки тунелів входять до складу кілець, які монтуються.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

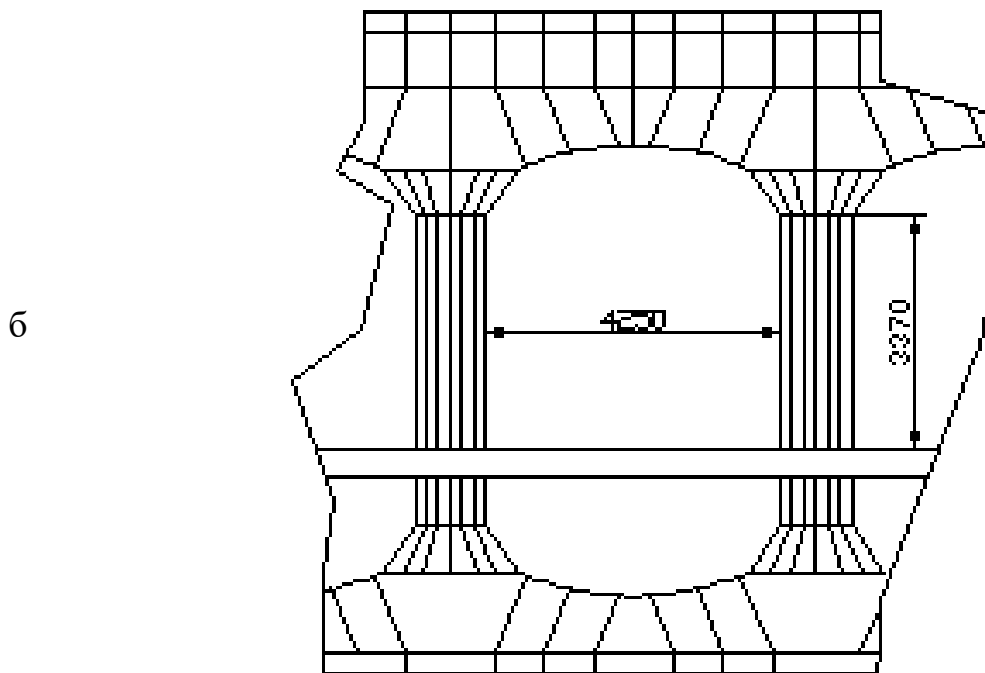
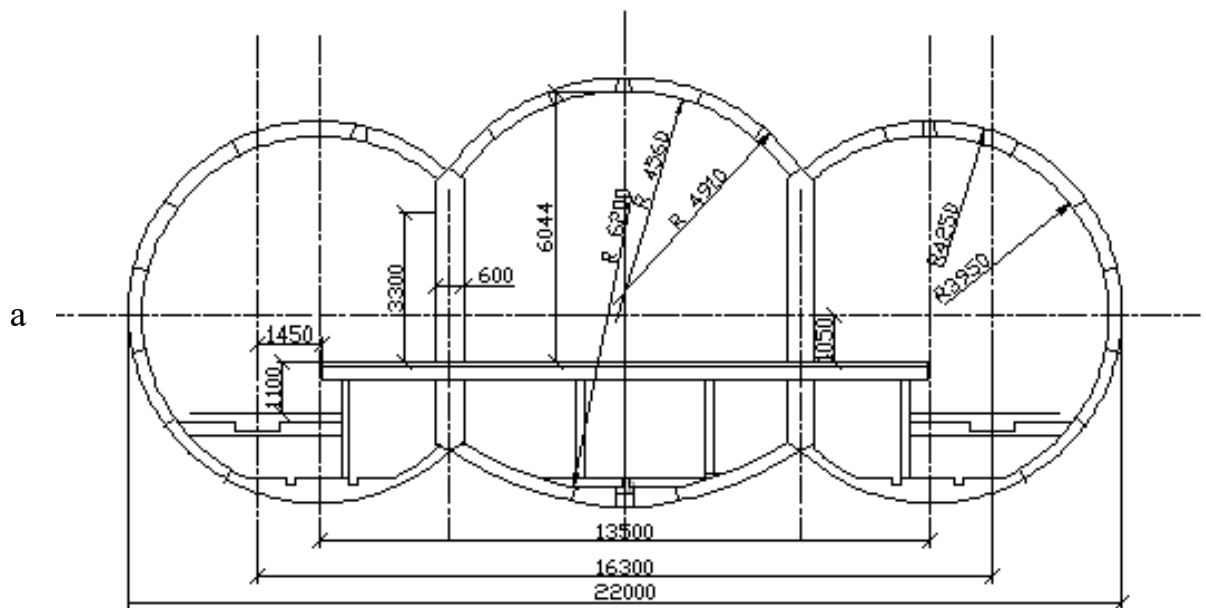


Рисунок 2.2 – Конструкція станцій колонного типу з чавунними тюбінгами (а) і клинчастими перемичками (б)

Типова конструкція клинчастої перемички (рис. 2.3) дозволяє довести ширину проходу у світлі до 4,25 м.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

011.150004.МР.2020.ПЗ

Арк.

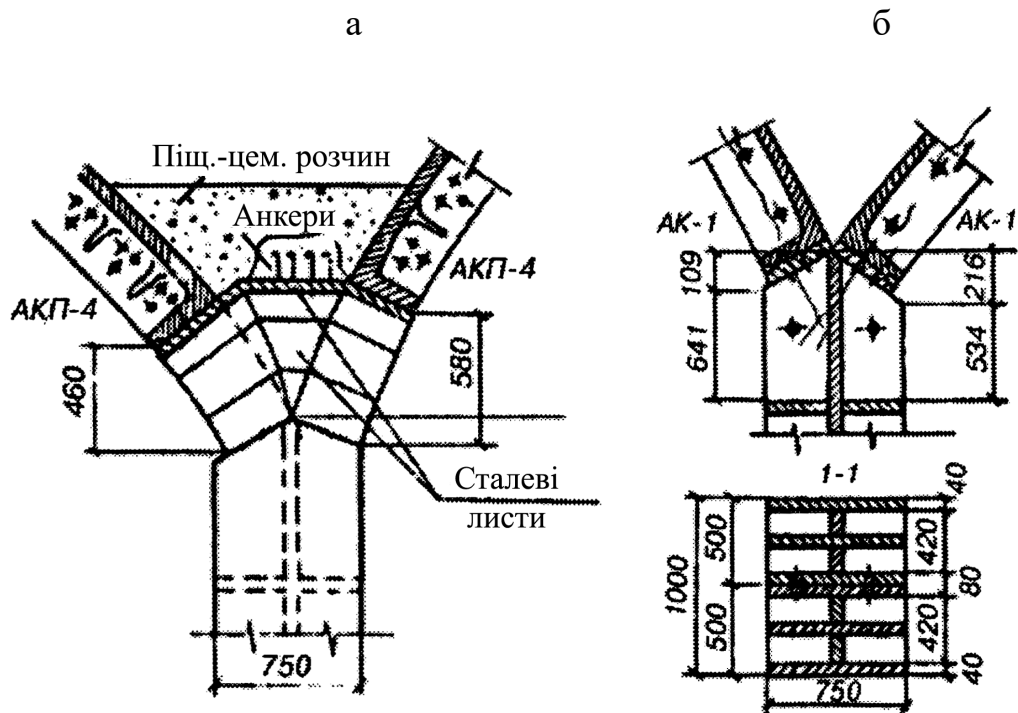


Рисунок 2.3 – Конструкція клинчастої перемички:

а – у місці проходу; б – у місці колони

Спарені перемички над проходом об'єднані сталевими листами гідроізоляції, за які нагнітається цементно-піщаний розчин. Колони станції складаються з двох гілок, які сполучають болтами в процесі монтажу. Колону зварюють з широколистової сталі марки Ст-3 завтовшки 40 мм. Вона має ребристий переріз і масу 7...8 т. Через опорні майданчики колони скріпляються болтами з п'ятковими елементами перемичок.

Основними розмірами станції є: довжина і ширина посадочних платформ, довжина і ширина середнього залу станції, висота станції у світу, ширина і висота проходів, число ескалаторів.

1. Довжина пасажирської платформи станції приймається згідно з кількістю вагонів, які експлуатуються в поїздах, що проходять через станцію:

$$L_{пл} = l \cdot n + a$$

										011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

де l – довжина вагонів між зчепленнями, $l = 19,2$ м;

n – кількість вагонів у поїзді, $n = 5$ шт.;

a – запас на неточність зупинки поїзда – 2 м

$$L_{пл} = 19,2 \cdot 5 + 2 = 98 м$$

Довжина платформи має бути кратною кількості кілець ширина яких 0,75 м та відстані між колонами 5,25 м (між центрами)

$$\frac{L_{пл}}{0,75} = 130,67 шт.$$

Округлюємо до 131 кільця, остаточно довжина платформи складає:

$$\frac{131 \cdot 0,75}{5,25} = \frac{98,25}{5,25} = 19 колон$$

$$19 \cdot 5,25 = 99,75 м$$

$$L_{пл} = 99,75 м$$

$$\frac{L_{пл}}{0,75} = 133 кільця$$

2. Площа платформи:

$$\omega = P_{пл} \cdot \eta$$

де, $P_{пл}$ – кількість пасажирів, які знаходяться на платформі в часи «пік»;

$\eta = 0,75$ – щільність заповнення платформи, м²/чол.;

Кількість пасажирів, які знаходяться на платформі:

$$P_{пл} = A \cdot n \cdot K_{н.в.}$$

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де, A – розрахункова величина пасажиромісткості вагона, $A = 170$ чол.

$K_{п.в.} = 0,9$ – коефіцієнт посадки-висадки пасажирів.

$$P_{пл} = 170 \cdot 5 \cdot 0,9 = 765 \text{ чол.}$$

Тоді площа платформи :

$$\omega = 765 \cdot 0,75 = 573,75 \text{ м}^2$$

3. Розрахункова довжина платформи дорівнює повній довжині поїзду без врахування відстані від початку поїзда до першої двері і від останньої двері до кінця поїзду (≈ 7).

$$l_p = L_{пл} - 7$$

$$l_p = 99 - 7 = 92 \text{ м}$$

4. Необхідна ширина платформи:

Ширина платформи для колонної станції з основною платформою визначається по формулі:

$$B = 2 \cdot v + v_0$$

Відстань від краю платформи яка враховує переміщення людей

вздовж платформи –

$$v = \frac{\omega}{l_p} = \frac{673,75}{92} \approx 6,25$$

$$B = 2 \cdot 6,25 + 3 = 15,5 \text{ м,}$$

Приймаєм $B = 16 \text{ м}$

5. Кількість ескалаторів:

Число ескалаторів залежить від часового пасажиропотока станції і пропускної спроможності одного ескалатора:

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_э = \frac{2 \cdot n_n \cdot P_{nl}}{8500}$$

n_n – число пар поїздів на годину

$$n_n = \frac{60}{t},$$

де t – перерва між двома потягами

$$n_n = \frac{60}{2} = 30 \text{ шт.},$$

8500 – Пропускна спроможність ескалятора при нормальній експлуатації,
чол/год

$$n_э = \frac{2 \cdot 30 \cdot 553}{8500} = 3,9 \text{ шт}$$

Приймаємо $n_э = 4 \text{ шт}$.

2.4 Об'єми робіт для спорудження оправи зі збірного залізобетону

Варіант №1

$$L_{\text{пл}} = 101,25 \text{ м}$$

Лівий станційний тунель:

$$R_{\text{зв}} = 4,25 \text{ м};$$

$$R_{\text{вн}} = 3,75 \text{ м}$$

Середній станційний тунель:

$$R_{\text{зв}} = 4,75 \text{ м};$$

$$R_{\text{вн}} = 4,25 \text{ м}$$

Правий станційний тунель:

$$R_{\text{зв}} = 4,25 \text{ м};$$

$$R_{\text{вн}} = 3,75 \text{ м}$$

1. Проходка тунелю еректором із застосуванням БВР (лівий та правий

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

станційний тунелі).

$$V_1 = 2 \cdot S_{\text{лів}} \cdot L_{\text{пл}}$$

$$S_{\text{лів}} = S_{\text{прав.}} = \pi R_{\text{зв}}^2 = 3,14 \cdot 4,25^2 = 56,7 \text{ м}^2$$

$$V_1 = 2 \cdot 56,7 \cdot 101,25 = 11482 \text{ м}^3$$

2. Вкладання збірної залізобетонної оправи із блоків (лівий, правий, середній станційні тунелі).

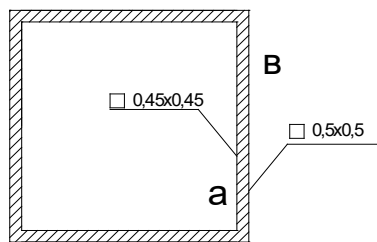
$$S_{\text{лів}} = S_{\text{прав.}} = \pi \cdot (R_{\text{зн}}^2 - R_{\text{вн}}^2) = 3,14 \cdot (4,25^2 - 3,75^2) = 12,6 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{сп}} = \pi \cdot (R_{\text{зн}}^2 - R_{\text{вн}}^2) = 3,14 \cdot (4,75^2 - 4,25^2) = 14,2 \text{ м}^2$$

$$\Sigma S = \frac{4}{6} S_{\text{сп}} + 2 \cdot \frac{5}{6} S_{\text{лів}} = \frac{4}{6} \cdot 14,2 + 2 \cdot \frac{5}{6} \cdot 12,6 = 30,5 \text{ м}^2$$

$$V_2 = \Sigma S \cdot L_{\text{пл}} = 30,5 \cdot 101,25 = 3088,1 \text{ м}^3$$

3. Влаштування опорних башмаків та сталевих колон.



$$\gamma_{\text{стали}} = 7,2 \frac{\text{т}}{\text{м}^3}$$

$$m_{\text{к}} = S_{\text{к}} \cdot h_{\text{к}} \cdot \gamma_{\text{стали}} = 0,05 \cdot 3,75 \cdot 7,8 = 1,5 \text{ т}$$

$$S_{\text{к}} = b^2 - a^2 = 0,5^2 - 0,45^2 = 0,05 \text{ м}^2$$

$$M_{\text{к}} = m_{\text{к}} \cdot 27 \cdot 2 = 1,5 \cdot 27 \cdot 2 = 81 \text{ т}$$

4. Розробка калоти шириною до 9 м

$$S_{\text{кл}} = \frac{R_{\text{зн}}^2}{2} (\frac{\pi \lambda}{180} - \sin \lambda)$$

$$S_{\text{кл}} = \frac{4,75^2}{2} (\frac{3,14 \cdot 120}{180} - \sin 120) = 12,96 \text{ м}^2$$

$$V_4 = S_{\text{кл}} \cdot L_{\text{пл}} = 12,96 \cdot 101,25 = 1312,2 \text{ м}^3$$

5. Розробка середньої штроси (ядро) і лоткової частини.

						011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$S_{cp} = \frac{\pi D_{зн}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 9,5^2}{4} = 70,85 \text{ м}^2$$

$$S_5 = S_{cp} - S_{кл} - 2S_{лев}^c - 2S_{прав}^c$$

$$2S_{лев}^c = 2S_{прав}^c = \frac{R_{зн}^2}{2} \left(\frac{\pi \lambda}{180} - \sin \lambda \right) = \frac{4,75^2}{2} \left(\frac{3,14 \cdot 60}{180} - \sin 60 \right) = 2,6 \text{ м}^2$$

$$S_5 = 70,85 - 2 \cdot 2,6 - 2 \cdot 2,6 - 12,96 = 47,5 \text{ м}^2$$

$$V_5 = S_5 \cdot L_{пл} = 47,5 \cdot 101,25 = 4809,4 \text{ м}^3$$

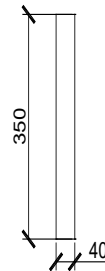
6. Влаштування колійних стін.

$$h_{кол} = 3,5 \text{ м}$$

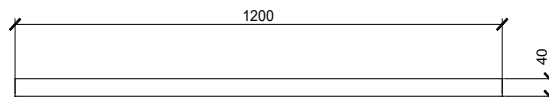
$$t_{кол} = 0,4 \text{ м}$$

$$S_6 = t_{кол} \cdot h_{кол} = 3,5 \cdot 0,4 = 1,4 \text{ м}^2$$

$$V_6 = 2 \cdot S_6 \cdot L_{пл} = 2 \cdot 1,4 \cdot 101,25 = 283,5 \text{ м}^3$$



7. Влаштування платформи.



$$S_7 = 12 \cdot 0,4 = 4,8 \text{ м}^2$$

$$V_7 = S_7 \cdot L_{пл} = 4,8 \cdot 101,25 = 486 \text{ м}^3$$

2.5 Об'єми робіт для спорудження оправи з чавунних тюрбінгів

Варіант №1

$$L_{пл} = 99,75 \text{ м}$$

Лівий станційний тунель:

$$R_{зв} = 4,25 \text{ м};$$

$$R_{вн} = 3,9 \text{ м}$$

Середній станційний тунель:

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{зв}=4,75\text{м} ;$$

$$R_{вн}=4,4\text{м}$$

Правий станційний тунель:

$$R_{зв}=4,25\text{м} ;$$

$$R_{вн}=3,9\text{м}$$

1. Проходка тунелю еректором із застосуванням БВР (лівий та правий станційний тунелі).

$$V_1 = 2 \cdot S_{лів} \cdot L_{пл}$$

$$S_{лів} = S_{прав.} = \pi R_{зв}^2 = 3,14 \cdot 4,25^2 = 56,7\text{м}^2$$

$$V_1 = 2 \cdot 56,7 \cdot 99,75 = 11311,6\text{м}^3$$

2. Вкладання чавунної оправи (лівий, правий, середній станційні тунелі).

$$S_{лів} = S_{прав.} = \pi \cdot (R_{зн}^2 - R_{вн}^2) = 3,14 \cdot (4,25^2 - 3,9^2) = 8,96\text{м}^2$$

$$S_{сп} = \pi \cdot (R_{зн}^2 - R_{вн}^2) = 3,14 \cdot (4,75^2 - 4,4^2) = 10,05\text{м}^2$$

$$\Sigma S = \frac{4}{6} S_{сп} + 2 \cdot \frac{5}{6} S_{лів} = \frac{4}{6} 10,05 + 2 \cdot \frac{5}{6} 8,96 = 21,63\text{м}^2$$

$$\gamma_{чав} = 7,2 \frac{\text{м}}{\text{м}^3}$$

$$m = 0,24 \cdot \gamma_{чав} \cdot \Sigma S \cdot L_{пл}$$

$$m = 0,24 \cdot 7,2 \cdot 21,63 \cdot 99,75 = 3728,3\text{т}$$

3. Влаштування опорних башмаків та сталевих колон.

$$\gamma_{стали} = 7,2 \frac{\text{м}}{\text{м}^3}$$

$$m_k = S_k \cdot h_k \cdot \gamma_{стали} = 0,108 \cdot 3,75 \cdot 7,8 = 3,159\text{т}$$

$$S_k = 1,065 - 0,957^2 = 0,108\text{м}^2$$

$$M_k = m_k \cdot 27 \cdot 2 = 3,159 \cdot 19 \cdot 2 = 120\text{т}$$

4. Розробка калоти шириною до 9 м

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{кл} = \frac{R_{зн}^2}{2} (\frac{\pi\lambda}{180} - \sin \lambda)$$

$$S_{кл} = \frac{4,75^2}{2} (\frac{3,14 \cdot 120}{180} - \sin 120) = 12,96 м^2$$

$$V_4 = S_{кл} \cdot L_{пл} = 12,96 \cdot 99,75 = 1292,7 м^3$$

5. Розробка середньої штроси (ядро) і лоткової частини.

$$S_{сп} = \frac{\pi D_{зн}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 9,5^2}{4} = 70,85 м^2$$

$$S_5 = S_{сп} - S_{кл} - 2S_{лів}^c - 2S_{прав}^c$$

$$2S_{лів}^c = 2S_{прав}^c = \frac{R_{зн}^2}{2} (\frac{\pi\lambda}{180} - \sin \lambda) = \frac{4,75^2}{2} (\frac{3,14 \cdot 60}{180} - \sin 60) = 2,6 м^2$$

$$S_5 = 70,85 - 2 \cdot 2,6 - 2 \cdot 2,6 - 12,96 = 47,5 м^2$$

$$V_5 = S_5 \cdot L_{пл} = 47,5 \cdot 99,75 = 4738,2 м^3$$

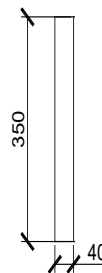
6. Влаштування колійних стін.

$$h_{кол} = 3,5 м$$

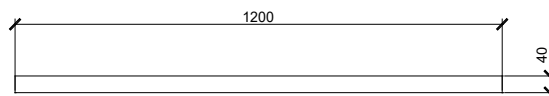
$$t_{кол} = 0,4 м$$

$$S_6 = t_{кол} \cdot h_{кол} = 3,5 \cdot 0,4 = 1,4 м^2$$

$$V_6 = 2 \cdot S_6 \cdot L_{пл} = 2 \cdot 1,4 \cdot 99,75 = 279,3 м^3$$



7. Влаштування платформи.



$$S_7 = 12 \cdot 0,4 = 4,8 м^2$$

$$V_7 = S_7 \cdot L_{пл} = 4,8 \cdot 99,75 = 478,8 м^3$$

2.6 Техніко-економічне порівняння варіантів

Проведемо його у вигляді таблиць 2.1 і 2.2, спираючись на [12, 13].

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1

Спорудження колонної станції із залізобетонних блоків

№ з/п	Назва роботи	Шифр	Вимірювач	Об'єм	Трудовитрати на одиницю, чол·год	Трудовитрати на об'єм, чол·год
1.	Проходка тунелю еректором із застосуванням БВР (лівий та правий станційні тунелі)	29-80-10	100 м ³ ґрунту	11482	42,0 (V-VII група)	4822,44
2.	Вкладання збірної залізобетонної оправи із блоків (лівий, правий та середній станційні тунелі)	29-126-11	100 м ³ з/б	3088,1	1548,4	47816,15
3.	Влаштування опорних металевих башмаків та сталевих колон	29-129-2	1 т сталі	81	18,8	1504
4.	Розробка калоти шириною до 9 метрів	29-49-5	100 м ³ ґрунту	1312,2	1015,94 (IV група)	13331,15
5.	Розробка середньої штроси (ядро) і лоткової частини	29-52-3	100 м ³ з/б	4809,4	203,82 (IV група)	9801,7
6.	Влаштування шляхових стін	29-155-1	100 м ³ з/б	283,5	1300,3	3686,4
7.	Влаштування платформи	29-153-2	100 м ³ з/б	486	1227,7	5966,6
						86928,5

					011.150004.МР.2020.ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Спорудження колонної станції із чавунних тубінгів

(№ з/п)	Назва роботи	Шифр	Вимірювач	Об'єм	Трудовитрати на одиницю, чол·год	Трудовитрати на об'єм, чол·год
1.	Проходка тунелю еректором із застосуванням БВР (лівий та правий станційні тунелі)	29-80-9	100 м ³ ґрунту	11311	38,6 (IV група)	4366
2.	Вкладання чавунної оправи (лівий, правий та середній станційні тунелі)	29-128-4	1 т чавуну	4774,6	4,55	21724,4
3.	Влаштування опорних металевих башмаків та сталевих колон	29-129-2	1 т сталі	120	18,8	2256
4.	Розробка калоти шириною до 9 метрів	29-49-5	100 м ³ ґрунту	1292,7	1015,94 (IV група)	13133,6
5.	Розробка середньої штроби (ядро) і лоткової частини	29-52-3	100 м ³ з/б	3728,3	203,82 (IV група)	7600,4
6.	Влаштування шляхових стін	29-155-1	100 м ³ з/б	279,3	1300,3	3686,4
7.	Влаштування платформи	29-153-2	100 м ³ з/б	478	1227,7	5868,4
						72882,8

На підставі порівняння можна зробити висновок, що найменші витрати праці та вартість спорудження одного погонного метру тунелю має варіант № 2 – він є найбільш доцільним.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.150004.МР.2020.ПЗ				

Розділ 3
Статичний розрахунок колонної станції
методом скінчених елементів

Головним завданням статичного розрахунку конструкцій підземних станцій метрополітену є оцінка їх несучої здатності [32, 33, 41]. Основою цієї оцінки є розрахунок тунельних конструкцій за граничними станами. Для цього необхідно визначити напружено-деформований стан конструкції (НДС), тобто розрахувати величини внутрішніх зусиль і деформацій в оправі. Використовуючи величини цих зусиль, оцінюється міцність найбільш напружених перерізів оправі, а в ряді випадків і стійкість форми конструкції.

Складність розрахунку станційних споруд змушує удаватися до різного роду припущень, що ідеалізують як конструкцію оправі, так і ґрунтовий масив. Застосовувати відомі розрахункові методи безпосередньо до аналізу реальної підземної конструкції практично неможливо. Тому розрахункові методи, як правило, їх застосовують до математичних моделей. Простою математичною моделлю є розрахункова схема станції. Вибір і обґрунтування розрахункової схеми – перший найважливіший етап розрахунку [2, 5, 8, 32].

Розрахункову схему конструкції станції необхідно вибирати так, щоб вона найбільшою мірою відповідала реальним умовам статичної роботи оправі, відображаючи конструктивні особливості, матеріал оправі, інженерно-геологічні умови, а також спосіб виконання робіт [11, 15, 32]. Під час призначення розрахункової схеми неминучі певні припущення. Від того, наскільки обґрунтовані прийняті припущення і який ступінь їх відповідності дійсним умовам роботи станційної конструкції, залежить достовірність і точність результатів розрахунку. Прийняті припущення повинні забезпечувати запас міцності оправі.

За основу побудови розрахункової схеми конструкції станційного тунелю, розташованого в однорідному ґрунтовому середовищі, прийнята плоска задача [32, 41]. Таке припущення правомірне, оскільки довжина тунелю

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зростає прямо пропорційно глибині відносно поверхні землі.

Характеристичні значення вертикальної і горизонтальної складових цього поля, kH/m^2 , на довільній глибині H , м, слід визначати відповідно до формул [14]:

$$\delta_x = -q \sum \rho_i \cdot h_i;$$

$$\delta_y = \delta_l = -\lambda \cdot q \sum \rho_i \cdot h$$

$$\delta_x = -q \sum \rho_i \cdot h_i;$$

$$\delta_y = \delta_l = -\lambda \cdot q \sum \rho_i \cdot h$$

$$\delta_x = -9,81 \cdot \sum 2,5 \cdot 40 = -981 kH / m^2;$$

$$\delta_y = \delta_l = -0,333 \cdot 9,81 \sum 2,5 \cdot 40 = -326,7 kH / m^2$$

де δ_x , δ_y , δ_l – відповідно вертикальна та горизонтальна складові;

$q=9,81 m/c^2$ – прискорення тяжіння;

ρ_i та h_i – відповідно щільність та потужність і-го шару ґрунту;

$$\lambda = \frac{\nu}{1-\nu}$$

– коефіцієнт бокового тиску в пружному масиві в межах і-го ґрунтового пласта, що вміщає виробку;

ν – коефіцієнт поперечної деформації пласту ґрунту, що вміщає виробку;

Навантаження від гірського тиску є головним зовнішнім силовим фактором. При розрахунку конструкції, яка працює в режимі заданих навантажень, величина гірського тиску визначається як вага ґрунту в об'ємі можливої зони руйнування ґрунту в зоні незакріпленої виробки, яка в значній мірі, залежить від несучої здатності ґрунтів. При цьому гірський тиск представлений в виді зовнішньої вертикальної q та горизонтальної p навантажень на конструкцію оправи. Ці навантаження, в залежності від глибини закладення станції та властивості ґрунтів, визначають по одній із наступних гіпотез: від ваги всіх порід над станцією; від ваги ґрунта в об'ємі окремих вивалів та стін виробки; по гіпотезі своду обвалення.

Визначення навантажень, які діють на оправу станції, є однією з основних частин статичного розрахунку. Визначаючи навантаження, користуються [14], згідно з яким нормативна величина вертикального гірського тиску дорівнює

									011.150004.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

повній вазі порід над станцією:

$$q_B^u = \sum \gamma_i h_i,$$

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

Якщо станція розташована в масиві міцних скельних порід, то навантаження на оправу необхідно необхідно визначати на основі проф. М. М. Протод'яконова:

$$q_B^u = \gamma h_1,$$

$$h_1 = \frac{L}{2f},$$

$$L = L_{ce} + 2H_{ce} \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right),$$

де h_1 і L – відповідно висота і ширина склепіння обвалення; f – коефіцієнт міцності породи за проф. М. М. Протод'яконовим, $f=4$; L_{ce} та H_{ce} – відповідно ширина і висота станційної конструкції у світлі (рис. 4.1), $L_{ce} = 24,78 \text{ м}$, $H_{ce} = 9,5 \text{ м}$; φ – кут внутрішнього тертя, $\varphi = 65^\circ$;

$$L = 24,78 + 2 \cdot 9,5 \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{65}{2} \right) = 28,56 \text{ м}$$

$$h_1 = \frac{28,56}{2 \cdot 4} = 3,57 \text{ м}$$

$$q_B^u = 25 \cdot 3,57 = 89,25 \text{ кН / м}^2,$$

Відповідно до вимог [14] у розрахунку оправи за несучою здатністю величину розрахункових навантажень визначають шляхом множення нормативних навантажень на коефіцієнт перевантаження n ($n=1,5$):

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_6^p = nq_6^u$$

$$q_6^p = 1,5 \cdot 89,25 = 133,87$$

Визначення навантаження

$$\delta_z = \gamma H = 25 \cdot 40 = 1000 \text{ kH}/\text{m}^2$$

$$\delta_x = \delta_y = k\gamma H = 0,333 \cdot 25 \cdot 40 = 333 \text{ kH}/\text{m}^2$$

$$k = \frac{\gamma}{1-\gamma} = \frac{0,25}{1-0,25} = 0,333$$

де:

H – глибина закладення, м

k – геостатичний коефіцієнт

Бічний тиск

$$\delta_z = 3\gamma h = 3 \cdot 25 \cdot 40 = 3000 \text{ kH}/\text{m}^2$$

Розрахунок тиску вертикального (повний стовп):

$$q^u = \gamma H \left[\frac{\text{kH}}{\text{m}^2} \right]$$

$$q^u = 25 \cdot 40 = 1000 \text{ kH}/\text{m}^2$$

$$q^p = q^u \cdot K_p$$

$$q^p = 1000 \cdot 1,1 = 1100 \text{ kH}/\text{m}^2$$

де K_p – коефіцієнт перевантаження (від ваги всього масиву).

Порівняння розрахункового тиску

$$n = \frac{q^p}{q_6^p} = \frac{1100}{133,87} = 8,21$$

Висновок: вертикальний тиск від ваги всього масиву у 8,21 разів більший за тиск обвалення склепіння.

Горизонтальний тиск у породах пасивний – у вигляді пружного відпору .

Коефіцієнт пружного відпору $k = 4 \cdot 10^5 \left[\frac{\text{kH}}{\text{m}^2} \right]$

Сутність методу скінченних елементів полягає в розбивці розрахункової області на значну кількість менших областей простого геометричного окреслення – скінченних елементів.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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.

Для магістерської роботи постановка задачі є плоскою, а розрахункова схема станції – стержневою, навантаження вважається рівнорозподіленим [29]. Основною робочою гіпотезою під час створення розрахункової схеми є гіпотеза місцевих деформацій, яка практично втілюється в моделі таким чином, 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, їх схеми видаляються, і перерахунок виконується до тих пір, поки не будуть знайдені точні границі зони пружного відпору.

Площу еквівалентного стержня F знаходять за формулою [29]:

$$F = \frac{k \cdot l}{E \cdot n} ,$$

де k – приведений по довжині коефіцієнт пружного відпору, $k = 4 \cdot 10^5 \text{ кН} / \text{м}^3$; l – довжина стержня, $l = 1 \text{ м}$; E – модуль пружності матеріалу стержня, $E = 100 \cdot 10^3 \text{ МПа}$; n – кількість стержнів, $n = 35$.

$$F = \frac{4 \cdot 10^5 \cdot 1}{100 \cdot 10^6 \cdot 35} = 0,000102 \text{ м}^2$$

Довжина однієї сторони стержня:

$$\sqrt{F} = \sqrt{0,000102} = 0,01 \text{ м} = 1 \text{ см}.$$

Результати статичного розрахунку колонної станції методом скінченних елементів наведені на рис. 3.1-3.4.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

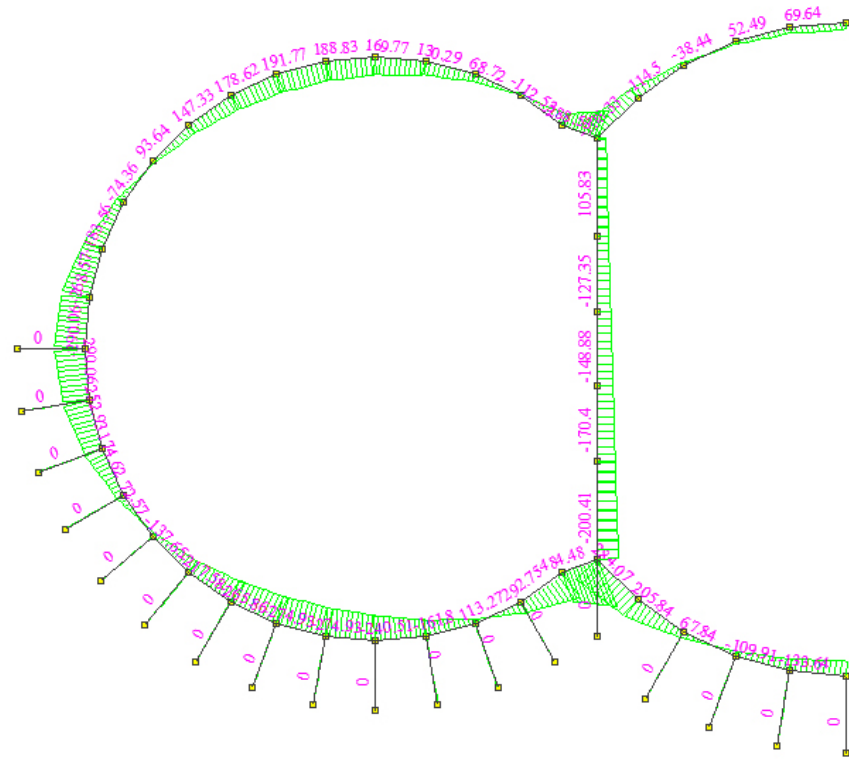


Рисунок 3.1 – Епюра згинальних моментів (склепіння обвалення)
 Максимальне значення згинального моменту $M=191,77$ кН·м

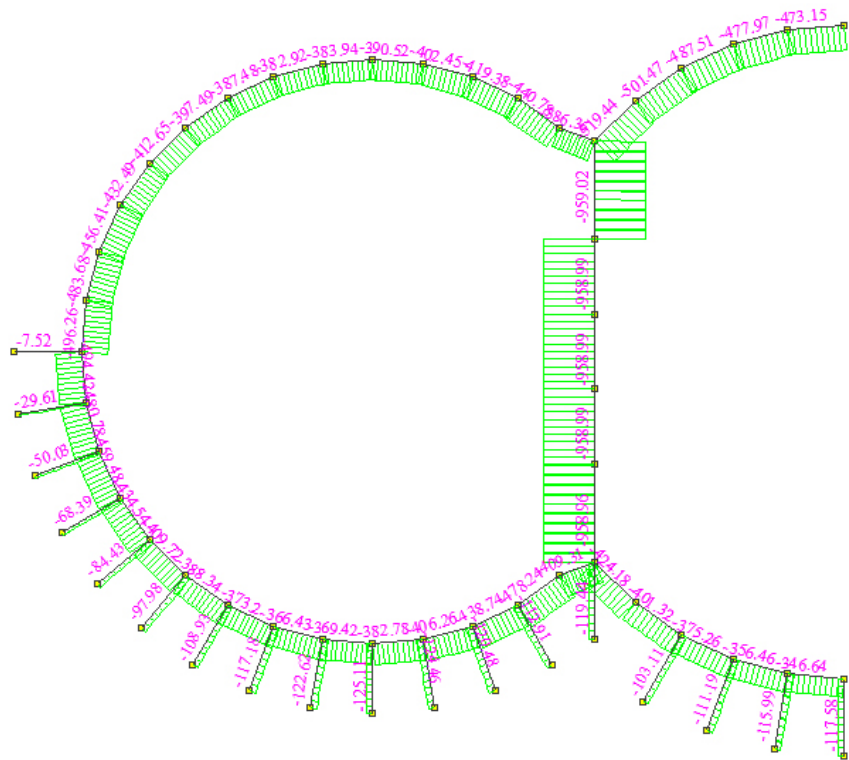


Рисунок 3.2 – Епюра нормальних сил (склепіння обвалення)
 Максимальне значення нормальної сили в елементі $N=-382,92$ кН

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

011.150004.МР.2020.ПЗ

Арк.

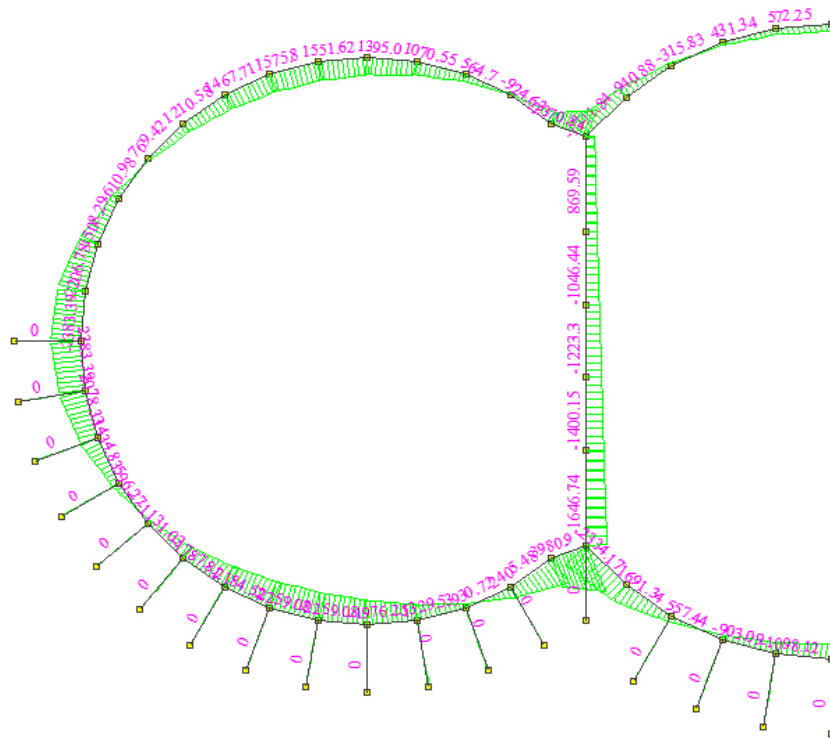


Рисунок 3.3 – Епюра згинальних моментів (від ваги всього масиву)

Максимальне значення згинального моменту $M=1575,8 \text{ кН}\cdot\text{м}$

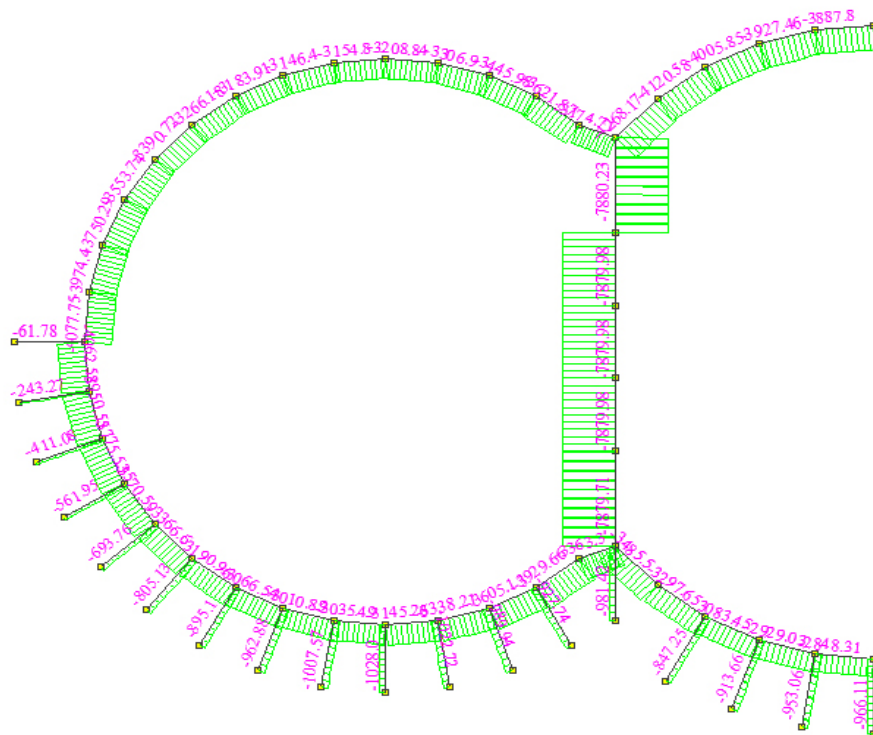


Рисунок 3.4 – Епюра нормальних сил (від ваги всього масиву)

Максимальне значення нормальної сили в елементі $N=-3146,4 \text{ кН}$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

011.150004.МР.2020.ПЗ

Арк.

Після визначення згинальних моментів і нормальних сил у перерізах оправи з максимальним згинальним моментом виконують перевірку на міцність.

Перевірка на міцність оправи з чавуну

Перевірку на міцність чавунних тюбінгів виконують за формулами:

$$\frac{N}{F} - \frac{My_1}{I} \leq R_c$$

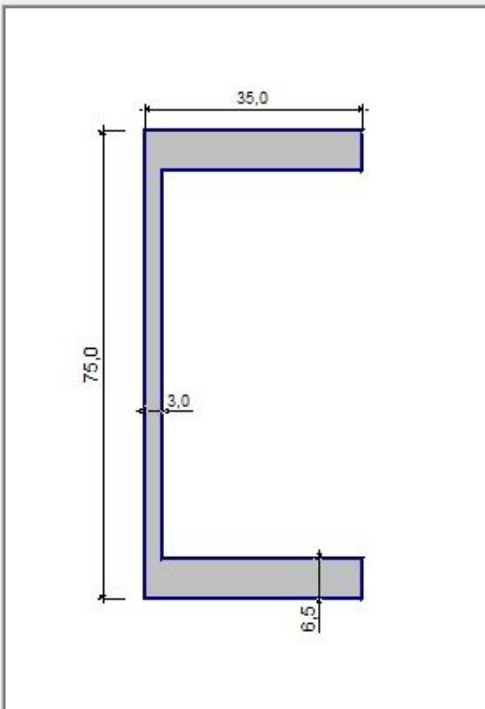
$$\frac{N}{F} + \frac{My_2}{I} \leq R_u$$

де:

N та M – відповідно поздовжня сила та момент у перерізі ,який перевіряється ;

F та I – відповідно площа поперечного перерізу та момент інерції чавунного тюбінга; y_1 та y_2 – відстань від центру ваги перерізу до стиснутої фібри тюбінга відповідно ; R_c та R_u – розрахункові опори чавуну на стиск та розтяг відповідно.

Модуль упругості E	100000000,0 кН/м ²
Об'ємний вес	72,0 кН/м ³
Коефіцієнт Пуассона	0,2
EF	6409999,7кН
EI _y	594927,37 кН*м ²
EI _z	80386,6 кН*м ²
GI _{кр}	1758,1 кН*м ²
GF _y	1368142,2 кН
GF _z	1878615,2 кН
Y ₁	5,7 см
Y ₂	9,8 см
Z ₁	24,7 см
Z ₂	24,7 см
Площадь сечения	641,0 см ²
I _y	594927,4 см ⁴
I _z	80386,6 см ⁴
I _{кр}	4219,4 см ⁴
b	3,0 см
h	75,0 см
b ₁	35,0 см
h ₁	6,5 см



$$R_c = 180 \text{ мПа}$$

$$R_u = 60 \text{ мПа}$$

Розрахунок згідно склепіння обвалення

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.150004.МР.2020.ПЗ				

$$\frac{N}{F} - \frac{My_1}{I} \leq R_c$$

$$\frac{N}{F} + \frac{My_2}{I} \leq R_u$$

$$\frac{382,92}{641} - \frac{19177 \cdot 5,7}{80386,6} \leq 180000$$

$$\frac{382,92}{641} + \frac{19177 \cdot 9,8}{80386,6} \leq 60000$$

$$19563 \leq 180000 \text{кН / м}$$

$$17468,8 \leq 60000 \text{кН / м}$$

Умова виконується.

Розрахунок від ваги всього масиву

$$\frac{N}{F} - \frac{My_1}{I} \leq R_c$$

$$\frac{N}{F} + \frac{My_2}{I} \leq R_u$$

$$\frac{3146,4}{641} - \frac{157580 \cdot 5,7}{80386,6} \leq 180000$$

$$\frac{3146,4}{641} + \frac{157580 \cdot 9,8}{80386,6} \leq 60000$$

$$160000 \leq 180000 \text{кН / м}$$

$$149300 \leq 60000 \text{кН / м}$$

Умова не виконується.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 4

Чисельний аналіз колонної станції із клинчастими перемичками методом скінченних елементів

Проведення гірських робіт супроводжується порушенням початкового напруженого стану породних масивів. Гірничі роботи завжди пов'язані з утворенням в породному масиві гірничих виробок. Оточуючі виробку гірські породи переміщуються в бік виробленого простору, причому величина цих переміщень тим більше, чим ближче гірські породи розташовані до породного оголення, тобто, вмещаючи гірську виробку, породний масив деформується [5, 8, 9]. Деформації розтягу в напрямку виробки (в «радіальному» напрямі) супроводжуються деформаціями стиснення у взаємноперпендикулярних напрямках (в «окружному» і «поздовжньому» напрямках), які зазвичай збігаються з напрямками обрису контуру виробки. Виникаючі навколо виробки деформації розтягування і стиснення гірських порід визначають появу відповідних за знаком і величиною додаткових напружень, які спотворюють або порушують початкову напружений стан породних масивів.

Навколо гірських виробок формується новий напружено-деформований стан, який істотно відрізняється від початкового [6, 20], поблизу контуру виробок, і практично не відрізняється далеко від контуру. Іншою характерною рисою нового напружено-деформованого стану навколо виробок зазвичай є відносне збільшення або концентрація «окружних» нормальних напружень і відносне зменшення або деконцентрація «радіальних» нормальних напружень. Концентрація напружень формує так звані області опорного тиску, а деконцентрація – області розвантаження в породному масиві.

Якщо новий напружено-деформований стан перевершує певний граничний для породного масиву рівень, починається його руйнування, яке у свою чергу змінює напружено-деформований стан навколо виробок. Концентрація напружень або опорний тиск зміщується вглиб масиву, розвантажуючи його приконтурну область.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Руйнування на контурі виробок може носити спокійний статичний характер або динамічний у вигляді гірських ударів і викидів. Але навіть при статичному руйнуванні гірських порід вони становлять небезпеку для нормальної експлуатації виробок, так як можуть втратити стійкість і обрушитися у виробку.

Розрахунок об'єктів зі складною геометрією, до яких відноситься і трьохсклепінчаста станція [11, 26-28], вирішуються чисельними методами, до яких відноситься метод скінчених елементів [3, 4]. Побудова математичної моделі містить у собі ідеалізацію властивостей конструкції й зовнішніх впливів. При математичному описі поведінки моделі часто доводиться вводити додаткові припущення, що спрощують, про характер окремих властивостей моделі і її матеріалу. Цим порозумівається, зокрема, існування для одного й того ж фізичного об'єкта декількох різних математичних моделей [7, 17].

Коротко викладемо сутність МКЕ до основні етапи його практичної реалізації. Основна ідея методу скінчених елементів полягає в тому, що будь-яку безперервну величину (переміщення, температура, тиск тощо) можна апроксимувати моделлю, що складається з окремих елементів (ділянок) [36, 37]. На кожному із цих елементів досліджувана безперервна величина апроксимується кусочно-безперервною функцією, що будується на значеннях безперервної величини в кінцевому числі точок розглянутого елемента.

У загальному випадку безперервна величина заздалегідь невідома, і потрібно визначити: значення цієї величини в деяких внутрішніх точках області. Дискретну модель, однак, дуже легко побудувати, якщо спочатку припустити, що відомо числові значення цієї величини в деяких внутрішніх точках області (надалі ці точки називаються «вузлами»). У суцільному середовищі число точок зв'язку нескінченно, і саме це становить основні труднощі одержання чисельних рішень у теорії пружності. Поняття «скінчених елементів» являє собою спробу перебороти ці труднощі шляхом розбивки суцільного тіла на окремі елементи, взаємодіючі між собою тільки у вузлових точках, у яких уводяться фіктивні сили, еквівалентні поверхневим

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напруженням, розподіленим по границях елементів. Якщо така ідеалізація припустима, то завдання зводиться до звичайного завдання будівельної механіки, що може бути вирішена чисельно.

Правило знаків для переміщень і напружень. Правило знаків для переміщень прийнято таким чином, що лінійні переміщення додатні, якщо вони направлені в сторону зростання відповідної координати, а кути повороту додатні, якщо вони відповідають правилу правого гвинта.

Модель трьохсклепінчастої станції колонного типу з клинчастими побудована на основі геометричних розмірів та застосування розрахункового професійного комплексу Structure CAD for Windows, version 7.29 R.3 (SCAD) (рис. 4.1) [29, 45].

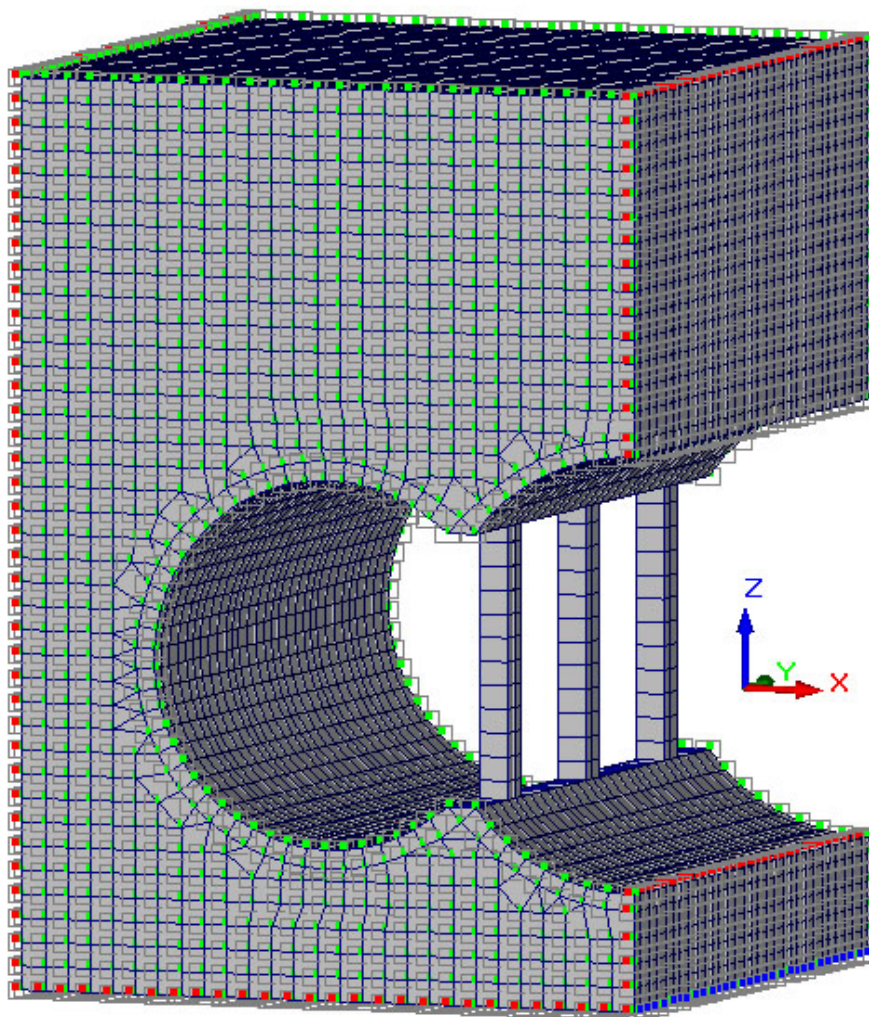


Рисунок 4.1 – Скінченно-елементна модель колонної станції

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

011.150004.MP.2020.ПЗ

Колонна частина

Пройомна частина

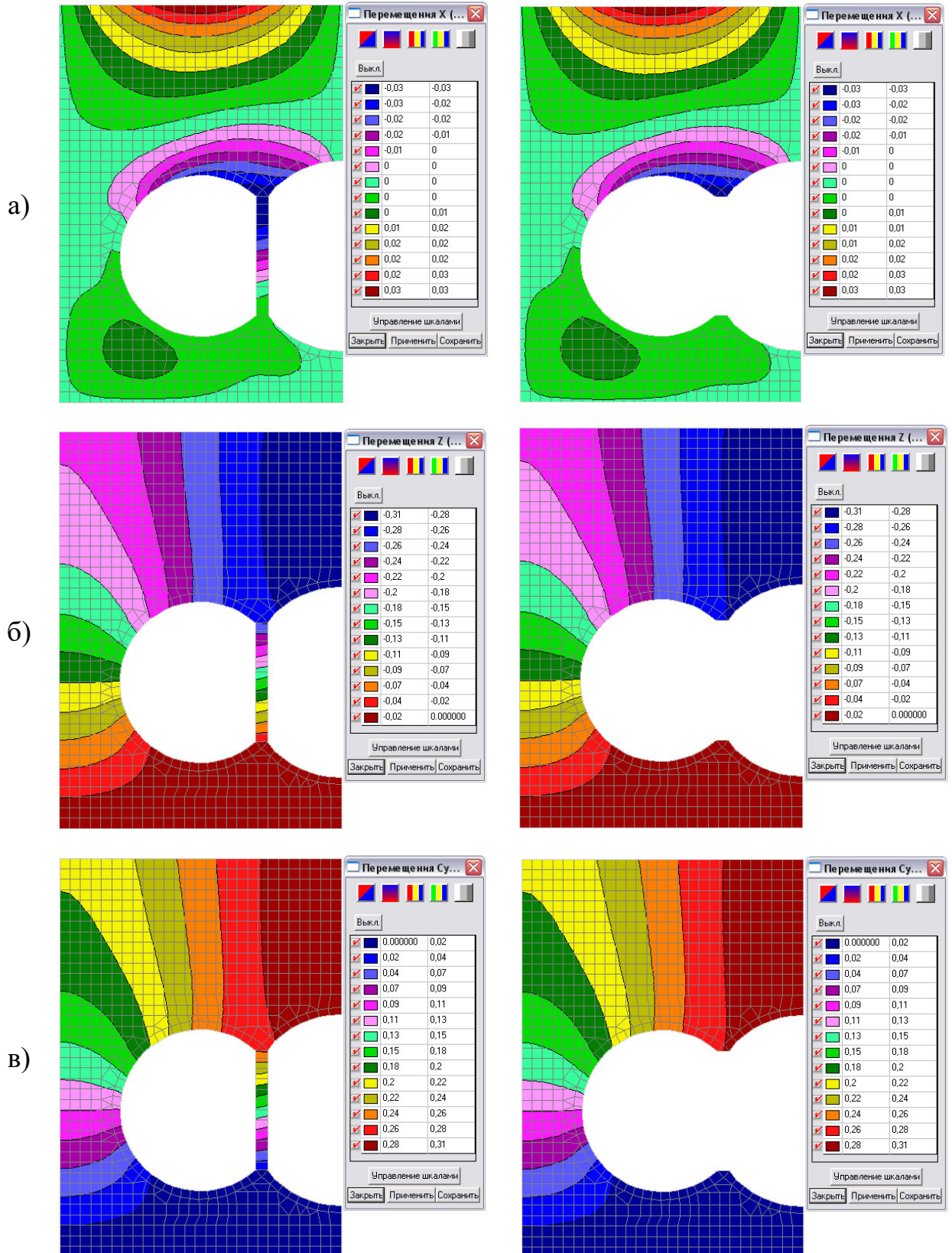


Рисунок 4.3 – Ізолії та ізополя деформованого стану (крок 4,25 м):

а) горизонтальні переміщення; б) вертикальні переміщення;

в) сумарні переміщення

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

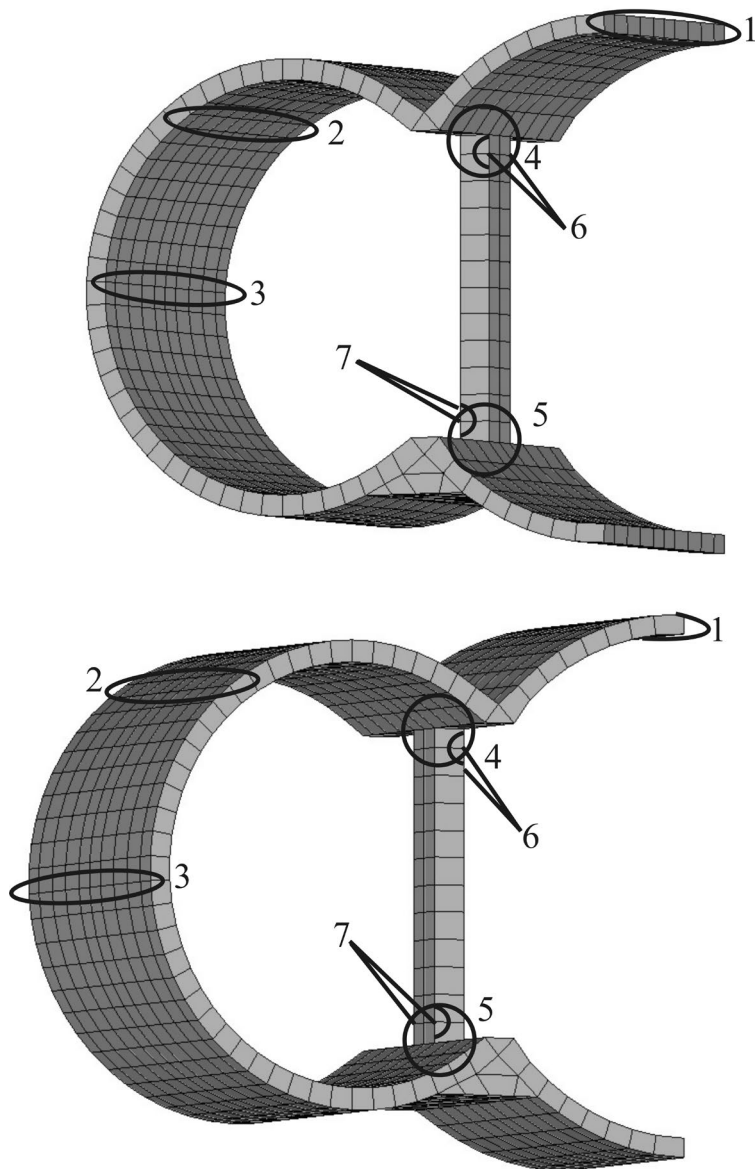


Рисунок 4.4 – Схема точок і областей концентрації напружень

Для пошуку еквівалентних напружень $\sigma_{екв}$ застосуємо четверту теорію міцності (енергетичну), виразом для якої є [38]

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_x \sigma_z + \sigma_z^2 + 3\tau_{xz}^2} \leq [\sigma] \quad (4.1)$$

де σ_x та σ_z – компоненти нормальних напружень по глобальних осях X та Z; τ_{xz} – дотична компонента в площині XZ; $[\sigma]$ – межа міцності матеріалу. Межа міцності чавуну на стиск $[\sigma] = 180,0$ МПа (на розтяг 60 МПа).

Для наочного представлення, результати аналізу зведено до таблиці 4.1.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1

Визначення еквівалентних напружень (крок колон – 4,25 м)

Номер точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа
	Нормальне по осі X	Нормальне по осі Z	Дотичне в площині XZ	
1	+0,256	-0,047	-0,046	0,249
2	-0,381	-0,473	-0,349	0,956
3	-0,107	-1,115	-0,013	1,172
4	-0,107	-0,834	+0,035	0,894
5	-0,153	-1,196	+0,035	1,281
6	-0,017	-2,281	-0,061	2,292
7	-0,017	-2,281	-0,061	2,290

Як видно із табл. 4.1 значення еквівалентних напружень не досягають межі міцності матеріалу і свідчать про те, що умова міцності виконується.

											Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.150004.МР.2020.ПЗ						

Розділ 5

Обґрунтування спорудження колонної станції метрополітену глибокого закладення із клинчастими перемичками БВР

5.1 Загальні положення

Побудову тунельних споруд відносять до одного з найбільш важких видів будівельних робіт, що пояснюється стисненою призабойною зоною і виконанням робіт в умовах дії гірського та гідростатичного тиску зі сторони ґрунтового масиву. В цих умовах організація тунельного будівництва повинна бути націлена на чітку і налагоджену роботу, неухильне дотримання технології виконання всіх операцій, строге виконання вимог охорони праці [10, 19, 21, 31, 39].

Після прийняття рішення про початок будівництва ділянки лінії метрополітену, отримання і усестороннього вивчення проєктної документації починають інженерну підготовку будівництва. В цей період будівельні організації укладають договори підряду на будівництво з замовником, договори на поставку необхідних матеріалів, обладнання і т.д. одночасно оформлюють необхідні документи для фінансування будівництва, відводу земельних ділянок для будівельних майданчиків, узгоджують з відповідними організаціями порядок підключення об'єктів будівництва до електромережі, водопроводу, каналізації, телефонної мережі і іншим мережам.

Від правильної (економічної і ефективної) організації проведення будівельних робіт по спорудженні станції метрополітену глибокого закладення залежать строки виконання робіт, затрати, що суттєво впливають на прибуток від будівництва проєктних організацій і субпідрядних організацій.

Технологічна послідовність спорудження колонних станцій така. Роботи починаються з проходки одного з бокових тунелів (лівого чи правого) [32, 41].

З відставанням 30...50 м приступають до проходки другого бокового тунелю. У міру проходки тунелів в них монтують колони. Технологія монтажу визначається конструкцією колонних станцій, типом колон тощо.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення проходки бокових тунелів і монтажу колон починають проходку середнього тунелю. Як правило, середній тунель проходять уступним забоєм: спочатку розробляють верхню частину тунелю і після прибирання ґрунту монтують верхнє склепіння, яке опирається на колони.

Потім розробляють ґрунт в нижній частині тунелю і монтують оправу тунелю. У міру розробки ґрунту прибирають виступаючі частини оправи бокових тунелів. Оправу в середньому тунелі замикають лотковим блоком.

Після завершення проходки середнього тунелю виконують монтаж платформи, колійних стін, водовідвідних зонтів і гідроізоляційні роботи. Завершують будівельні роботи укладанням колії, оздоблювальними роботами і монтажем контактної рейки.

5.2 Організація будівельного майданчика

Будівельний майданчик служить для організації будівельно-монтажних робіт зі спорудження об'єкта. Його розташовують на вільній території або у дворі будинків залежно від забудови територій, складності будівельної ситуації. Від місця розташування будівельного майданчика залежать його розміри і план розміщення будівель та споруд на ньому. За обмежених розмірів на його території розміщують основні споруди та будівлі, що забезпечують виконання будівельно-монтажних робіт, а також склади невеликих розмірів, розраховані на 1-3 добовий запас конструкцій та матеріалів. Решта матеріалів на майданчик доставляється на робочі місця на автомобілях, перед виконанням монтажних робіт.

Для даних інженерно-геологічних умов та типу станції на будівельному майданчику потрібно розташувати наступні споруди та комплекси (рис. 5.1): 1) вагон начальника дільниці; 2) мийку; 3) кран-балку; 4) майстерні; 5) місце для зварювальних робіт; 6) бункер для цементу; 7) будівлю підйомної машини; 8) житлові вагони; 9) бункерну естакаду; 10) шахтний стовбур; 11) туалет; 12) тельферну естакаду; 13) будівлю вентилятора; 14) апарати для заморожування; 15) рейки з вагонетками.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

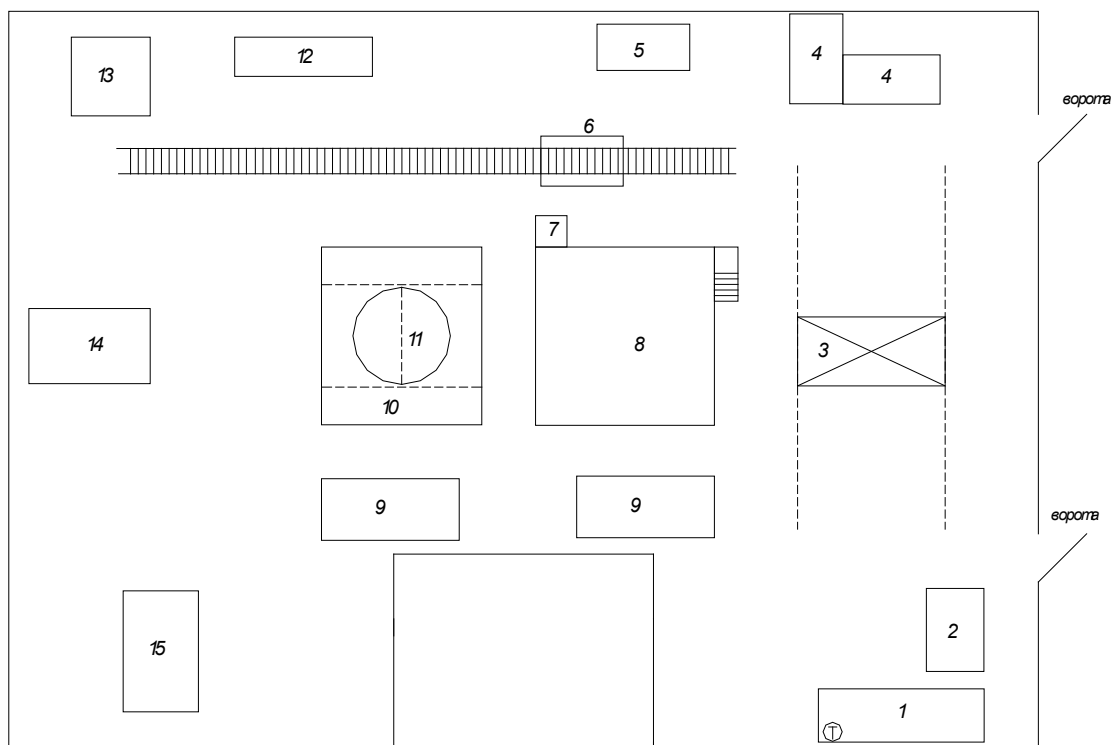


Рисунок 5.1 – Схема будівельного майданчика:

- 1 – вагончик начальника дільниці; 2 – мийка; 3 – кран балка; 4 – майстерні;
 5 – місце для зварювальних робіт; 6 – вагонетка; 7 – бункер для цементу;
 8 – будівля підйомної машини; 9 – житлові вагони ;10 – бункерна естакада;
 11 – шахтний стовбур; 12 – станція апаратів для заморожування;
 13 – туалет; 14 – тельферна естакада; 15 – будівля вентилятора

5.3 Організація гірничого комплексу

Як правило гірничий комплекс має мінімальні розміри 55×35 м. Сюди входить шахтний стовбур, який призначається для відкриття фронту робіт та організації прохідницьких та будівельних робіт. Біля стовбуру шахти розміщують підйомну машину, бункерну і тельферну естакади. На висоті 6-7 метрів влаштовують площадку з рейковою колією для обміну вагонів, розміщують кругові перекидачі для прийому та розвантаження породи. Під ними встановлюють бункери для прийому ґрунту ємністю по 20...25 м³. Для забезпечення обміну вагонів використовують поперечні візки, лебідки,

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.150004.МР.2020.ПЗ					

штопхачі верхньої та нижньої дії (рис. 5.2) [44].

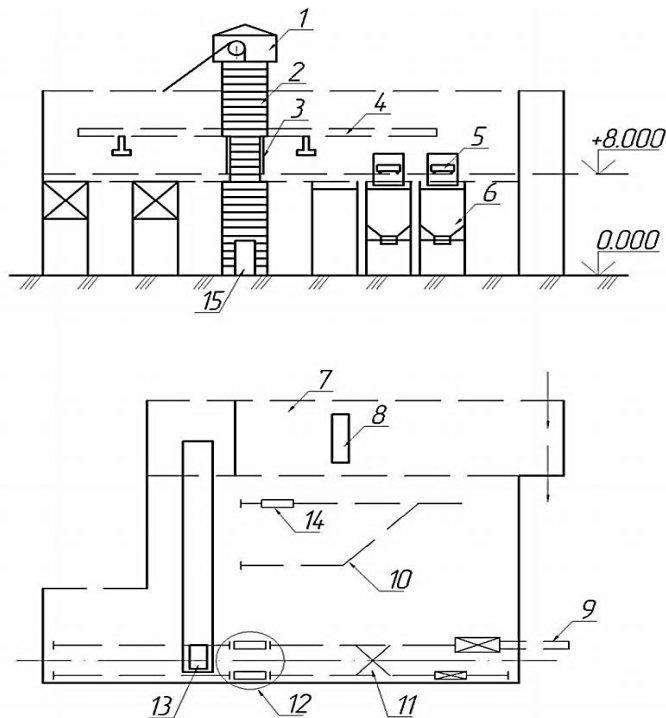


Рисунок 5.2 – Схема гірничого комплексу:

1 – обвідний шків на копрі; 2 – тубінговий шахтний копер;
 3 – запобіжні ґрати; 4 – штопхач верхньої дії; 5 – круговий перекидач вагонеток; 6 – бункери-накопичувачі; 7 – кранова естакада для складування тубінгів; 8 – кран-балка; 9 – штангові штопхачі для виштопхування вагонеток;
 10 – колія шириною 900 мм; 11 – перехресний з'їзд;
 12 – кліті; 13 – поперечний візок для переставлення тубінгів та вагонеток з однієї колії на іншу; 14 – допоміжний підйомник; 15 – прохід до лісопуску та драбинне відділення

5.4 Визначення необхідної кількості будівельних матеріалів, конструкцій та вузлів

1) Кільця оправи:

Лівий тунель – $99,75/0,75=133$ шт.

Правий тунель – $99,75/0,75=133$ шт.

Середній тунель – $99,75/0,75=133$ шт.

Всього: 399 шт.

Відповідно до ТУ до кожного кільця встановлюється нормована кількість

									011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

болтів, шайб, пробок для нагнітання піщано-цементного розчину.

2) Підплатформні стіни

$0,4 \times 0,2 \times 3\text{ м} - \text{блоки.}$

Висота: 2,2 м.

Довжина платформи: 99,75 м.

По висоті: $2,2/0,2=11$ шт,

По довжині: $99,75/3=34$ шт.

Всього на одну стіну $27 \times 11=374$ шт.

Всього $374 \times 5=1870$ шт.

3) Колійні стіни

Висота 3,5м.

Кількість блоків на одну стіну: $3,5/0,4=9$ шт.

При довжині 99,75 м: $99,75/3=34$ шт.

Всього: $34 \times 9=306$ шт.

4) Водовідвідні зонти

$$S_{\text{зонти}} = 1,5 \cdot 1,5 = 2,25\text{ м}^2$$

$$S_T^{\text{лів}} = S_T^{\text{пр}} = 8,5 \cdot 99,75 = 847,87\text{ м}^2$$

Кількість зонтів: $847,87/2,25=380$ шт – для лівого та правого тунелів.

$$S_T^{\text{сєр}} = 9,5 \cdot 99,75 = 947,6\text{ м}^2$$

$$947,6/2,25=422 \text{ шт}$$

Всього: 1182 шт

Кількість анкерів визначається виходячи із схеми підвіски.

5) Улаштування колії

Відстань між шпалами 0,65м.

$L_p=199,5+199,5=399\text{ м}$ – довжина рейки

Кількість $2(2 \times 99,75)/0,65=614$ шт

6) Кількість бетону для укладання колії на станції

$$V^{B7,5} = 1,02 \cdot 99,75 \cdot 2 = 203,5\text{ м}^3$$

$$V^{B10} = 3,2 \cdot 99,75 \cdot 2 = 638,4\text{ м}^3$$

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.5 Визначення обсягів прохідницьких, монтажних і загально-будівельних робіт

До детального обґрунтування спорудження буровибуховим способом (БВР) прийнята колонна станція метрополітену глибокого закладення із клинчастими перемичками (рис. 5.3).

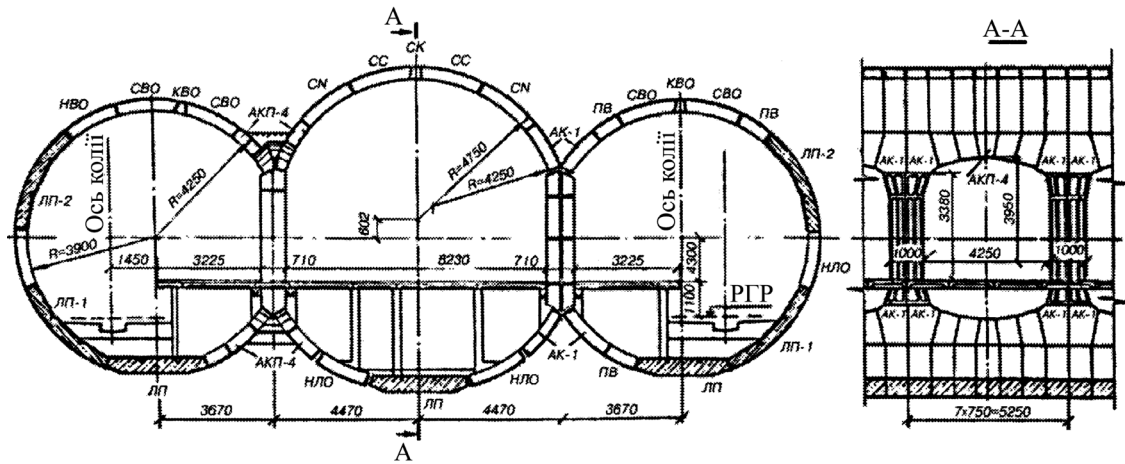


Рисунок 5.3 – Конструкція станції колонного типу з чавунною оправою та клинчастими перемичками

- 1) Розробка ґрунту підготовчої виробки

$$S^{лів} = S^{np} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 8,5^2}{4} = 56,7 \text{ м}^2$$

$$S^{сер} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 9,5^2}{4} = 70,85 \text{ м}^2$$

$$V^{лів} = V^{np} = 56,7 \cdot 5 = 283,5 \text{ м}^3$$

$$V^{сер} = 70,85 \cdot 5 = 354,25 \text{ м}^3$$

- 2) Проходка тунелів еректором із застосуванням БВР

$$V^{лів} = V^{np} = 56,7 \cdot 99,75 = 5655,8 \text{ м}^3$$

$$V^{сер} = 70,85 \cdot 99,75 = 7067,3 \text{ м}^3$$

- 3) Монтаж оправи

						011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$S_{лів} = S_{прав.} = \pi \cdot (R_{зн}^2 - R_{вн}^2) = 3,14 \cdot (4,25^2 - 3,9^2) = 8,96 м^2$$

$$S_{сп} = \pi \cdot (R_{зн}^2 - R_{вн}^2) = 3,14 \cdot (4,75^2 - 4,4^2) = 10,05 м^2$$

$$\Sigma S = \frac{4}{6} S_{сп} + 2 \cdot \frac{5}{6} S_{лів} = \frac{4}{6} 10,05 + 2 \cdot \frac{5}{6} 8,96 = 21,63 м^2$$

$$\gamma_{чав} = 7,2 \frac{т}{м^3}$$

$$m = 0,24 \cdot \gamma_{чав} \cdot \Sigma S \cdot L_{пл}$$

$$m = 0,24 \cdot 7,2 \cdot 21,63 \cdot 99,75 = 3728,3 т$$

4) Нагнітання за оправу

$$S^{лів} = S^{сп} = \pi D_{зовн} = 3,14 \cdot 8,5 = 26,7 м^2$$

$$S^{сп} = \pi D_{зовн} = 3,14 \cdot 9,5 = 29,83 м^2$$

5) Монтаж колон

$$S = 1 \cdot 0,71 = 0,71 м^2$$

$$V = S \cdot L_k \cdot n_k = 0,71 \cdot 3,75 \cdot 19 = 50,6 м^3$$

$$m = V \cdot \gamma = 7,8 \cdot 50,6 = 50,6 т$$

5.6 Основні положення спорудження станції БВР

Більшість транспортних тунелів проходить через міцні скельні породи. Розробка ґрунтів міцністю $f > 3$ потребує спеціальної дорогої техніки, великих трудозатрат та затрат в часі. Досить дешевим та альтернативним способом розробки ґрунту є підривання його за допомогою патронів з вибуховими речовинами, такі як: детоніт, грануліт, динафталіт, акватол, різні види амоналу та амоніту.

Буровибухові роботи – це комплекс бурових та вибухових робіт, які виконують з метою раціонального і безпечного руйнування скельних ґрунтів та енергії вибуху.

Бурові роботи – процес утворення циліндричних виробок (шпурів або свердловин) для подальшого розміщення в них зарядів. В залежності від міцності породи буріння шпурів може проводитися наступними способами:

- обертальне буріння (в слабких породах);
- обертально-ударне буріння ($f=5 \dots 14$);

										011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

– ударно-обертальне буріння ($f=2\dots 18$);

– ударне буріння ($f=6\dots 20$).

Вибухові речовини – хімічні сполуки або механічні суміші, які під дією зовнішнього імпульсу можуть переходити із одного агрегатного стану в інший з виділенням великої кількості механічної енергії та тепла. Вибух супроводжується сильним звуковим ефектом, який виникає в результаті ослаблення ударної хвилі і переходу її в звукову.

В магістерській роботі потрібно розрахувати кількість шпурів та масу зарядів для підривання забою тунелю.

Вирішальним при виборі буріння – є забезпечення мінімальних затрат часу на буріння шпурів згідно з циклограмою робіт. Крім того враховується міцність ґрунтів, їх структура. Для буріння шпурів у граніті, $f=7$, використовують ударно-обертальне буріння. При ударно-обертальному бурінні руйнування ґрунту здійснюється за рахунок ударного навантаження, а осьова сила та крутильний момент повинні бути достатніми, щоб зрізати породу тонкими стрічками й зачищати шпури. Цей спосіб реалізують на важких бурових машинах типу НКР-100М, або Tamrock.

5.7 Вибір параметрів шпурових зарядів

Під час проходки підземних виробок найчастіше використовують саме шпурові заряди, які, відповідно до призначення, поділяються на врубові, відбійні, контурні та підшовні [34].

Врубіві шпури слугують для утворення в забої площини оголення. Тому ці заряди підривають першими. Частіш усього врубові заряди підривають у центральній частині забою.

Тип врубу – клиновий;

Кількість шпурів – 4 шт.;

Кут нахилу – 68°

Точність оконтурювання підземної виробки забезпечується правильним розміщенням контурних і підшовних шпурів, які рівномірно розташовуються

									011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

по її контуруз інтервалом між шпурами 0,5 м.

У разі контурного руйнування відбійні шпури розміщують між лініями врубових, контурних та підошовних зарядів таким способом, щоб кожному шпуру відповідав приблизно однаковому об'єму породи, який підлягає руйнуванню, за умови його якісного дроблення.

5.8 Вибір вибухових речовин та засобів ініціювання

Залежно від даних умов застосовую вибухову речовину Амоніт №6 ЖВ (ГОСТ 21989-76) – незапобіжна ВР середньої потужності. Складається із 79% аміачної селітри та 21% тротилу. Поставляється у вигляді патронів. Використовую для всіх типів шпурів – врубового, відбійного, контурного.

Для ініціювання вибухових речовин використовую наступні електродетонатори:

Для врубових зарядів – ЕД-8-Ж (електродетонатор миттєвої дії)

Для відбійних зарядів – ЕДК-3-25 (електродетонатор сповільненої дії – 25 мс)

Для контурних зарядів – ЕДК-3-30 (електродетонатор сповільненої дії – 30 мс)

5.9 Розрахунок параметрів БВР (пілот-тунель)

Контур виробки тунелю можна приймати по зовнішньому контуру оправи тунелю.

Для пілот-тунелю потрібно зробити виробку, що зображена на схемі (рис. 5.4).

Площу можна визначити за допомогою формули:

$$S = \pi \cdot R^2 = 23,76 \text{ м}^2$$

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

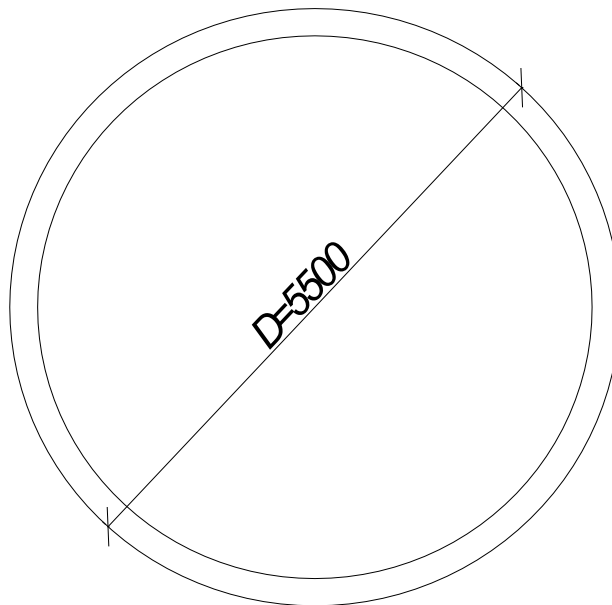


Рисунок 5. 4 – Схема виробки пілот-тунелю

Визначення глибини західки

Ефективність проходки тунелів значною мірою залежить від правильного вибору основних параметрів відносних витрат ВР, лінії найменшого опору, кількості, довжини, діаметра і схем розміщення шпурів, маси й конструкції зарядів.

Для даних умов $l_{зах} = 3.2 \text{ м}$.

Визначення коефіцієнта використання шпурів

Приймають коефіцієнт використання шпурів, який коливається в межах 0,8...0,9 і для:

Контурного підривання становить $\eta^к = 0,90$;

Для відбійного підривання становить $\eta^е = 0,85$.

Глибина комплекту шпурів:

Глибина комплекту відбійних шпурів:

$$l^е = \frac{l_{зах}}{\eta^е} = \frac{3,2}{0,85} = 3,75 \text{ м}$$

Глибина комплекту контурних шпурів:

$$l^к = \frac{l_{зах}}{\eta^к} = \frac{3,2}{0,90} = 3,55 \text{ м}$$

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тип врубу та його параметри

Для заданої міцності тип врубу клиновий.

Мінімальна кількість шпурів врубу – 4 шт.;

Кут нахилу шпурів до поверхні забою – 68° ;

Відстань між парами шпурів – 45 см.

Тип шпурових зарядів та конструкція

$\rho = 1,1 \text{ г/см}^3$ – густина заряду;

$d = 36 \text{ мм}$ – діаметр патрону;

$d_{ш} = d + 4 = 36 + 4 = 40 \text{ мм}$ – діаметр шпура;

$m = 300 \text{ г}$ – маса заряду одного патрону;

$l = 350 \text{ мм}$ – довжина патрону;

$v_{дет} = 4000 \text{ м/с}$ – швидкість детонації.

Маса вибухової речовина на 1 м довжини шпурів.

Для ВР у патронах

$$q_1 = \frac{k_{зан} \cdot \psi_0 \cdot \gamma}{l_n} = \frac{0,65 \cdot 1,1 \cdot 0,3}{0,35} = 0,62 \text{ кг}, \text{ де}$$

$k_{зан} = 0,65$ – коефіцієнт заповнення шпурів;

$\psi_0 = 1,1$ – коефіцієнт ущільнення зарядів;

$\gamma = 0,3$ – маса патрона, кг;

$l_n = 0,35$ – довжина патрона.

Визначення питомих витрат ВР

Визначення питомих витрат ВР проводиться за формулою ЦНІДСу

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

$$q = \left(0,3\sqrt{7} + \frac{2}{\sqrt{23,76}} \right) c \cdot e \cdot \psi \cdot \omega \cdot \mu = \left(0,3\sqrt{7} + \frac{2}{\sqrt{23,76}} \right) 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,33 \text{ кг/м}^3$$

де:

$f = 7$ – міцність ґрунта;

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$S = 23,76 \text{ м}^2$ – площа виробки;

$c = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує вплив діаметра заряду. Заряд діаметром 36 мм;

$e = 1,0$ – коефіцієнт еквівалентних зарядів, для Амоніту № 6 ЖВ;

$\psi = 1,1$ – коефіцієнт щільності заряджання, для патронів;

$\omega = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує структуру і тріщинуватість порід, для не тріщинуватих порід;

$\mu = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує площу виробок.

5.10 Визначення загальної кількості шпурів під час підривання (пілот-тунель)

$$N^{\text{ш}} = N_{\text{вр}} + N_{\text{від}} + N_{\text{к}} = 4 + 24 + 36 = 64 \text{ шт}$$

де:

$N_{\text{вр}}, N_{\text{від}}, N_{\text{к}}, N_{\text{п}}$ – кількість врубових, відбійних контурних та підошових шпурів відповідно.

$N_{\text{вр}} = 4$ – кількість врубових шпурів

$$N_{\text{від}} = \frac{12,7 \cdot q \cdot S'}{d^2 \cdot K_3 \cdot \Delta \cdot K_{\Delta}} + \sqrt{S'} - N_{\text{вр}} = \frac{12,7 \cdot 1,33 \cdot 14,58}{3,6^2 \cdot 0,65 \cdot 1,1 \cdot 1,1} + \sqrt{14,58} - 4 = 23,95 \approx 24 \text{ шт}$$

де, $S' = S - S_{\text{к}}$ - частина виробки без площі $S_{\text{к}}$, яка підривається всіма шпурами окрім контурних.

$$S = S - S_{\text{к}} = S - (N_{\text{к}} - 1) \cdot a_{\text{к}} (W_{\text{к}} + 0,1) = 23,76 - (36 - 1) \cdot 0,45 \cdot (0,5 + 0,1) = 14,58 \text{ м}^2$$

де:

$N_{\text{к}} = 36 \text{ шт}$ – кількість контурних шпурів,

$a_{\text{к}} = 0,5 \text{ м}$ – відстань між контурними шпурами, м;

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{\kappa} = \frac{a_{\kappa}}{m} = \frac{0,5}{0,9} = 0,5 \text{ м} \quad \text{– ЛНО контурних шпурів};$$

$m = 0,9$ – коефіцієнт зближення зарядів

$d = 3,6 \text{ см}$ – діаметр патрона ВР, см;д

$K_{\text{з}} = 0,65$ – коефіцієнт заповнення шпура;

$\Delta = 1,1$ – зарядження вибухової речовини(питома вага);

$K_{\Delta} = 1,1$ – коефіцієнт ущільнення зарядів.

Кількість контурних N_{κ} шпурів:

$$N_{\kappa} = \frac{P_{\kappa}}{a_{\kappa}} = \frac{16,64}{0,5} = 36 \text{ шт}$$

де,

$P_{\kappa} = 16,64 \text{ м}$ – периметр виробки по лінії розміщення контурних шпурів,
м (за 10 см від контуру виробки);

$a_{\kappa} = 0,5 \text{ м}$ – відстань між контурними шпурами.

Маса контурного заряду:

$$q_{\kappa} = l_{\kappa} \cdot K_{\kappa} = 3,55 \cdot 0,3 = 1,065 \text{ кг}, \text{ де}$$

$l_{\kappa}^{\text{ш}} = 3,55 \text{ м}$ – довжина контурного шпуру

$K_{\kappa}^{\text{ш}} = 0,3 \text{ кг/м}$ – маса заряду на 1 пог. м. контурного шпуру, приймається
в межах 0,2...0,4 кг/м.

Маса всіх контурних зарядів:

$$Q_{\kappa} = q_{\kappa} \cdot N_{\kappa} = 1,065 \cdot 35 = 37,27 \text{ кг}$$

Середня маса заряду решти шпурів:

$$q_{\text{сер}} = \frac{Q - Q_{\kappa}}{N - N_{\kappa}} = \frac{101,12 - 37,27}{64 - 35} = 2,2 \text{ кг/шт}, \text{ де}$$

$Q^{\text{ш}}$ – кількість ВР на цикл

$$Q = q \cdot S \cdot l_{\text{зах}} = 1,33 \cdot 23,76 \cdot 3,2 = 101,12 \text{ кг}$$

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Маса врубового заряду:

$$q_{ep} = 1,2 \cdot q_{сер} = 1,2 \cdot 2,2 = 2,6 \text{ кг / шт}$$

Маса всіх врубових зарядів:

$$Q_{ep} = q_{ep} \cdot N_{ep} = 2,6 \cdot 4 = 10,4 \text{ кг}$$

Маса відбійних і підшовових шпурів

$$Q_{від} + Q_{під} = q_{сер} \cdot (N_{від} + 0) = 2,2 \cdot (24 + 0) = 52,8 \text{ кг}$$

Уточнена маса на цикл:

$$Q_y = Q_{ep} + Q_{від} + Q_k = 10,4 + 52,8 + 37,27 = 100,47 \text{ кг}$$

Уточнена питома витрата ВР

$$q_0 = \frac{Q_y}{S \cdot l_{зах}^{ш}} = \frac{100,47}{23,76 \cdot 3,2} = 1,32 \text{ кг / м}^3$$

5.11 Розрахунок параметрів БВР (калота середнього тунелю)

Контур виробки тунелю можна приймати по зовнішньому контуру оправи тунелю (рис. 5.5).

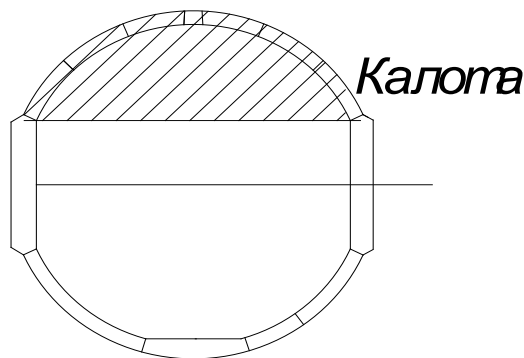


Рис 5.5 – Схема виробки калоти середнього тунелю

Для тунелю потрібно зробити виробку, що зображена на схемі. Площу калоти можна визначити за допомогою AutoCAD:

Калота:

$$S^k = 25,42 \text{ м}^2$$

Визначення глибини західки

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективність проходки тунелів значною мірою залежить від правильного вибору основних параметрів відносних витрат ВР, лінії найменшого опору, кількості, довжини, діаметра і схем розміщення шпурів, маси й конструкції зарядів.

Для даних умов $l_{зах} = 3.2 \text{ м}$.

Визначення коефіцієнта використання шпурів

Приймають коефіцієнт використання шпурів, який коливається в межах 0,8...0,9 і для:

Контурного підривання становить $\eta^к = 0,90$;

Для відбійного підривання становить $\eta^в = 0,85$.

Глибина комплекту шпурів:

Глибина комплекту відбійних шпурів:

$$l^в = \frac{l_{зах}}{\eta^в} = \frac{3,2}{0,85} = 3,75 \text{ м}$$

Глибина комплекту контурних шпурів:

$$l^к = \frac{l_{зах}}{\eta^к} = \frac{3,2}{0,90} = 3,55 \text{ м}$$

Тип врубу та його параметри

Для заданої міцності тип врубу клиновий.

Мінімальна кількість шпурів врубу – 4 шт.;

Кут нахилу шпурів до поверхні забою – 68° ;

Відстань між парами шпурів – 45 см.

Тип шпурових зарядів та конструкція

$\rho = 1,1 \text{ г / см}^3$ – густина заряду;

$d = 36 \text{ мм}$ – діаметр патрону;

$d_{ш} = d + 4 = 36 + 4 = 40 \text{ мм}$ – діаметр шпура;

$m = 300 \text{ г}$ – маса заряду одного патрону;

$l = 350 \text{ мм}$ – довжина патрону;

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$v_{дет} = 4000 \text{ м / с}$ – швидкість детонації.

Маса вибухової речовина на 1 м довжини шпурів.

Для ВР у патронах

$$q_1 = \frac{k_{зан} \cdot \psi_0 \cdot \gamma}{l_n} = \frac{0,65 \cdot 1,1 \cdot 0,3}{0,35} = 0,62 \text{ кг}$$

, де

$k_{зан} = 0,65$ – коефіцієнт заповнення шпурів;

$\psi_0 = 1,1$ – коефіцієнт ущільнення зарядів;

$\gamma = 0,3$ – маса патрона, кг;

$l_n = 0,35$ – довжина патрона.

Визначення питомих витрат ВР

Визначення питомих витрат ВР проводиться за формулою ЦНІДСу

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

$$q = \left(0,3\sqrt{7} + \frac{2}{\sqrt{25,42}} \right) c \cdot e \cdot \psi \cdot \omega \cdot \mu = \left(0,3\sqrt{7} + \frac{2}{\sqrt{25,42}} \right) 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,31 \text{ кг / м}^3$$

де:

$f = 7$ – міцність ґрунта;

$S = 25,42 \text{ м}^2$ – площа калоти;

$c = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує вплив діаметра заряду. Заряд діаметром 36 мм;

$e = 1,0$ – коефіцієнт еквівалентних зарядів, для Амоніту № 6 ЖВ;

$\psi = 1,1$ – коефіцієнт щільності заряджання, для патронів;

$\omega = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує структуру і тріщинуватість порід, для не тріщинуватих порід;

$\mu = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує площу виробок.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.12 Визначення загальної кількості шпурів для калоти під час

підривання

$$N^{\kappa} = N_{\text{вр}}^{\kappa} + N_{\text{від}}^{\kappa} + N_{\kappa}^{\kappa} = 4 + 33 + 21 = 58 \text{ шт}$$

де, $N_{\text{вр}}^{\kappa}$, $N_{\text{від}}^{\kappa}$, N_{κ}^{κ} – кількість врубових, відбійних та контурних шпурів відповідно.

$N_{\text{вр}}^{\kappa} = 4$ – кількість врубових шпурів

$$N_{\text{від}}^{\kappa} = \frac{12.7 \cdot q \cdot S'^{\kappa}}{d^2 \cdot K_3 \cdot \Delta \cdot K_{\Delta}} + \sqrt{S'^{\kappa}} - N_{\text{вр}}^{\kappa} = \frac{12.7 \cdot 1,31 \cdot 18,82}{3,6^2 \cdot 0,65 \cdot 1,1 \cdot 1,1} + \sqrt{18,82} - 4 = 31,02 \approx 32 \text{ шт}$$

де, $S'^{\kappa} = S^{\kappa} - S_{\kappa}^{\kappa}$ – частина виробки без площі S_{κ}^{κ} , яка підривається всіма шпурами окрім контурних.

$$S'^{\kappa} = S^{\kappa} - S_{\kappa}^{\kappa} = S^{\kappa} - (N_{\kappa}^{\kappa} - 1) \cdot a_{\kappa}^{\kappa} (W_{\kappa}^{\kappa} + 0,1) = 25,42 - (23 - 1) \cdot 0,5 \cdot (0,5 + 0,1) = 18,82 \text{ м}^2$$

де:

$N_{\kappa}^{\kappa} = 23$ – кількість контурних шпурів,

$a_{\kappa}^{\kappa} = 0,5 \text{ м}$ – відстань між контурними шпурами, м;

$$W_{\kappa}^{\kappa} = \frac{a_{\kappa}^{\kappa}}{m} = \frac{0,5}{0,9} = 0,5 \text{ м} \quad \text{– ЛНО контурних шпурів;}$$

$m = 0,9$ – коефіцієнт зближення зарядів

$d = 3,6 \text{ см}$ – діаметр патрона ВР, см;

$K_3 = 0,65$ – коефіцієнт заповнення шпура;

$\Delta = 1,1$ – зарядження вибухової речовини (питома вага);

$K_{\Delta} = 1,1$ – коефіцієнт ущільнення зарядів.

Кількість контурних N_{κ} і підшовових N_n шпурів визначається за виразами:

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{\kappa}^{\kappa} = \frac{P_{\kappa}^{\kappa}}{a_{\kappa}^{\kappa}} = \frac{11,35}{0,5} = 22,7 \approx 23 \text{ шт}$$

де,

$P_{\kappa}^{\kappa} = 11,35 \text{ м}$ – периметр виробки по лінії розміщення контурних шпурів, визначено за допомогою програми AutoCAD (за 10 см від контуру виробки);

$a_{\kappa}^{\kappa} = 0,5 \text{ м}$ – відстань між підошовними та контурними шпурами.

Маса контурного заряду калоти:

$$q_{\kappa}^{\kappa} = l_{\kappa}^{\kappa} \cdot K_{\kappa}^{\kappa} = 3,55 \cdot 0,3 = 1,065 \text{ кг}, \text{ де}$$

$l_{\kappa}^{\kappa} = 3,55 \text{ м}$ – довжина контурного шпуру

$K_{\kappa}^{\kappa} = 0,3 \text{ кг/м}$ – маса заряду на 1 пог. м. контурного шпуру, приймається в межах 0,2...0,4 кг/м.

Маса всіх контурних зарядів:

$$Q_{\kappa}^{\kappa} = q_{\kappa}^{\kappa} \cdot N_{\kappa}^{\kappa} = 1,065 \cdot 23 = 24,5 \text{ кг}$$

Середня маса заряду решти шпурів:

$$q_{\text{сер}}^{\kappa} = \frac{Q^{\kappa} - Q_{\kappa}^{\kappa}}{N^{\kappa} - N_{\kappa}^{\kappa}} = \frac{106,56 - 24,5}{59 - 23} = 2,28 \text{ кг/шт}, \text{ де}$$

Q^{κ} – кількість ВР на цикл

$$Q^{\kappa} = q^{\kappa} \cdot S^{\kappa} \cdot l_{\text{зах}}^{\kappa} = 1,31 \cdot 25,42 \cdot 3,2 = 106,56 \text{ кг}$$

Маса врубового заряду:

$$q_{\text{вр}}^{\kappa} = 1,2 \cdot q_{\text{сер}}^{\kappa} = 1,2 \cdot 2,28 = 2,8 \text{ кг/шт}$$

Маса всіх врубових зарядів:

$$Q_{\text{вр}}^{\kappa} = q_{\text{вр}}^{\kappa} \cdot N_{\text{вр}}^{\kappa} = 2,8 \cdot 4 = 11,23 \text{ кг}$$

Маса відбійних шпурів

$$Q_{\text{від}}^{\kappa} + Q_{\text{від}}^{\kappa} = q_{\text{сер}}^{\kappa} \cdot N_{\text{від}}^{\kappa} = 2,28 \cdot 32 = 72,9 \text{ кг}$$

						011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Уточнена маса на цикл:

$$Q_y^k = Q_{ep}^k + Q_{vid}^k + Q_k^k = 11,23 + 24,5 + 72,9 = 108,63 \text{ кг}$$

Уточнена питома витрата ВР

$$q_0 = \frac{Q_y^k}{S^k \cdot l_{zax}^k} = \frac{108,63}{25,42 \cdot 3,2} = 1,336 \text{ кг / м}^3$$

5.13 Розрахунок параметрів електропідривної мережі

Для підривання у підземних умовах застосовую електричний спосіб підривання. Для даних умов використано паралельно-последовному з'єднанні схему підривання зарядів.

Монтаж електричної мережі здійснюється за допомогою спеціально підібраних провідників або кабелів відповідно до схеми розташування шпурів. Поперечний переріз провідників обирають, виходячи з достатнього електричного опору мережі й забезпечення міцності провідника. Мінімальна довжина магістральних провідників за умовами безпеки не повинна бути меншою 150 метрів.

Опір підривної мережі для заданої схеми підривання визначається за формулою:

$$R_{zaz} = R_m + R_n,$$

де R_m – опір магістральних провідників, Ом;

R_n – загальний опір кількох паралельних груп ЕД, Ом;

Якщо опір ЕД однаковий, то $R_n = R_{ep} / n_{ep}$, де n_{ep} – кількість паралельно увімкнених груп ЕД.

Загальний опір групи

$$R_n = \frac{R_{ed} + R_z + R_k}{n},$$

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де m_n – кількість паралельно з'єднаних ЕД;

R_z – опір з'єднувальних провідників, Ом;

$R_{дільн}$ – опір дільничних провідників, Ом;

R_k – опір кінцевих провідників, Ом;

$R_{ед}$ – загальний опір ЕД, Ом;

Струм, який подається до групи:

$$I_n = \frac{U}{R_{заг}},$$

де U – напруга джерела живлення.

Струм, що надходить до електродетонатора:

$$I_{ед} = \frac{I_n}{n},$$

де n – кількість ЕД в групі;

Отримана сила струму повинна бути більшою за гарантований струм I_2 .

При постійному струмі $I_2 = 1 \text{ A}$ при кількості ЕД до 100, і $I_2 = 1,3 \text{ A}$ при їх кількості більше 100. Якщо в електропідривної мережі не забезпечується мінімальна сила струму, то необхідно збільшити схему з'єднання, або застосувати більш потужне джерело підривання.

5.14 Паспорт БВР

Паспорт БВР – це основний технічний документ, який визначає основні параметри буровибухових робіт під час проходки підземних виробок. У таблицях 5.1, 5.2, наводяться розрахункові дані щодо умов і показників підривання і шпурових зарядів.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1

Умови та показники підривання пілот-тунелю

Умови і показники підривання	Одиниця вимірювання	Кількість
Площа поперечного перерізу виробки	м ²	23,76
Коефіцієнт міцності f за Протодьяконовим	-	7
Глибина західки $l_{зах}$	м	3,2
коефіцієнт використання шпурів η		
- Врубових	-	0,85
- Відбійних та контурних	-	0,9
Довжина комплектів шпурів:		
- Врубових	м	3,75
- Відбійних та контурних	м	3,55
Загальна кількість шпурів у забої.	шт.	64
У тому числі;		
- Врубових	шт.	4
- Відбійних	шт.	24
- Контурних	шт.	36
Питома витрата ВР q	кг/м ³	1,33
Витрати ВР на заходку Q	кг	101,12
Вихід породи за один вибух	м ³	76,032
Загальна кількість шпурометрів на цикл	м	240,3
вихід шпурометрів на м ³ породи	м/м ³	3,15
Бурові механізми		Tamrock

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2

Умови та показники підривання калоти

Умови і показники підривання	Одиниця вимірювання	Кількість
Площа поперечного перерізу виробки в проходці	м ²	25,42
Коефіцієнт міцності f за Протодьяконовим	-	7
Глибина західки $l_{зах}$	м	3,2
коефіцієнт використання шпурів η - Врубових - Відбійних, контурних та підшовних	- - -	0,85 0,90
Довжина комплектів шпурів - Врубових - Відбійних, контурних та підшовних	м м	3,75 3,55
Загальна кількість шпурів у забої	шт.	58
У тому числі; - Врубових - Відбійних - Контурних	шт. шт. шт.	4 32 23
Питома витрата ВР q	кг/м ³	1,31
Витрати ВР на заходку Q	кг	106,56
Вихід породи за один вибух	м ³	81,34
Загальна кількість шпурометрів на цикл	м	221,3
вихід шпурометрів на м ³ породи	м/м ³	2,72
Бурові механізми		Tamrock

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.150004.МР.2020.ПЗ					

5.15 Провітрювання виробок

Вентиляція виробок повинна проводитися за спеціальним проектом. У міру проходки підземних виробок не рідше одного разу на місяць технічним керівником (головним інженером) спільно з головним механіком і начальником дільниці будівельного підрозділу, що веде роботи по ремонту або реконструкції тунелю, повинна переглядатися схема вентиляції з внесенням в неї необхідних змін або складанням акта про відповідність вентиляції затвердженою схемою. Виконання робіт у підземних виробках при відсутності схеми вентиляції або наявності схеми з простроченим терміном її перегляду забороняється.

Глухі забої підземних виробок довжиною понад 10 м в період виробництва робіт повинні мати штучну вентиляцію. Забороняється провітрювання забою струменем стисненого повітря без застосування ежектора.

Непровітрювані підземні виробки повинні бути закриті ґратчастими перегородками, що виключають можливість проходу працівників через них. При перевищенні гранично допустимих концентрацій вмісту газів і пилу в повітрі робочої зони і невідповідність температури повітря вищенаведених значень слід негайно вивести з вироблення працівників і вжити заходів по

Мінімальна швидкість руху струменя повітря у виробках приймається 0,15 м/с. Максимальна швидкість – 6 м/с.

Відставання в монтажі вентиляційних труб від вибою не повинна перевищувати 10 м у горизонтальних виробках і 5 м – у вертикальних. При роботі вентиляторів у всмоктуючому режимі ці норми знижуються в 1,5 рази.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 6

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Вимоги безпеки праці під час виконання робіт по спорудженню колонної станції глибокого закладення

Перелік робіт під час спорудження колонної станції глибокого закладення

- проходка лівого тунелю (буровибухові роботи);
- монтаж оправи;
- нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу;
- проходка правого тунелю (буровибухові роботи);
- монтаж оправи;
- нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу;
- проходка середнього тунелю (калота, буровибухові роботи);
- проходка середнього тунелю (ядро, буровибухові роботи);
- монтаж оправи;
- нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу;
- монтаж клинчастих перемичок і колон;
- монтаж внутрішніх конструкцій:
- підплатформні стіни;
- платформа;
- шляхові стіни;
- водовідвідні зонти;
- бетонування колії;
- укладання колії;
- укладання контактної рейки.

Необхідне обладнання, машини і комплекси для будівництва станції

- бурова Atlas Corpo Boomer 282;

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- тюрбінгоукладальник;
- ручна лебідка;
- візки нагнітальні з двома нагнітачами;
- тельфери;
- кран-балка;
- вагонетки;
- насоси;
- ручні бурильні установки;
- вентилятор ВЦП-16М,
- розчинонагнітач;
- бетонозмішувач;
- електровоз;
- ручні інструменти;
- ПД-8В та Atlas Copco ST1030.

Небезпечні фактори на виробництві

Шкідливими для здоров'я фізичними факторами є: підвищена або знижена температура повітря робочої зони; високі вологість і швидкість руху повітря; підвищені рівні шуму, вібрації, ультразвуку та різних випромінювань – теплових, іонізуючих, електромагнітних, інфрачервоних та ін. До шкідливих фізичних факторів належать також запиленість і загазованість повітря робочої зони; недостатня освітленість робочих місць, проходів і проїздів; підвищена яскравість світла й пульсація світлового потоку.

Хімічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори за характером дії на організм людини підрозділяються на наступні підгрупи: общетоксические, дратівливі, сенсibiliзуючі (що викликають алергічні захворювання), канцерогенні (викликають розвиток пухлин), мутогенні (діють на статеві клітини організму). У цю групу входять численні пари й гази: пари бензолу й толуолу, окис вуглецю, сірчистий ангідрид, оксиди азоту, аерозолі свинцю й ін, токсичні пилю, що утворюються, наприклад, при обробці різанням берилію,

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

свинцовистих бронз і латуней і деяких пластмас з шкідливими наповнювачами. До цієї групи відносяться агресивні рідини (кислоти, луги), які можуть заподіяти хімічні опіки шкірного покриву при зіткненні з ними.

До біологічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів відносяться мікроорганізми (бактерії, віруси та ін) і макроорганізми (рослини і тварини), вплив яких на працюючих викликає травми або захворювання.

До психофізіологічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів відносяться фізичні перевантаження (статичні і динамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів слуху, зору та ін).

Рівні впливу на працюючих шкідливих виробничих факторів нормовані гранично-допустимими рівнями, значення яких зазначені у відповідних стандартах системи стандартів безпеки праці та санітарно-гігієнічних правилах.

Конкретні виробничі умови характеризуються сукупністю негативних факторів, а також розрізняються за рівнями шкідливих факторів і ризику прояви травмуючих факторів.

До особливо небезпечних робіт на промислових підприємствах відносять:

- монтаж і демонтаж важкого устаткування масою більше 500 кг;
- транспортування балонів із стисненими газами, небезпечних речовин;
- монтажні роботи на висоті понад 1,5 м із застосуванням пристосувань;
- земляні роботи в зоні розташування енергетичних мереж;
- монтаж, демонтаж та ремонт вантажопідйомних кранів і підкранових колій; такелажні роботи з переміщення важких та крупногабаритних предметів при відсутності підйомних кранів;
- гідравлічні і пневматичні випробування судин і виробів;
- чистка та ремонт колл, газоходів, циклонів та іншого устаткування котельних установок, а також ряд інших робіт.

Джерелами негативних впливів на виробництві є не тільки технічні пристрої. На рівень травматизму впливають психофізичний стан і дії працюючих.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вплив негативних факторів виробничого середовища призводить до травмування та професійних захворювань працюючих.

Основні вимоги безпеки під час будівництва станції

До початку робіт необхідно привести робоче місце і проходи в стан, що забезпечує повну безпеку. Слід переконатися у тому, щоб на шляху руху транспортних засобів не було працівників, а також прийняті заходи по забезпеченню переміщень вантажів і матеріалів за розробленими схемами, затвердженими керівником будівельного підрозділу.

Прохід до місця робіт дозволяється тільки за встановленими для цього маршрутами. Неосвітленими виробках будь-який рух забороняється.. Кожен працівник перед початком роботи повинен одержати цільовий інструктаж на робочому місці.. Кожен працівник повинен точно знати значення сигналів, що подаються при роботі механізмів і машин.

Місця проведення зварювальних робіт повинні бути забезпечені засобами пожежегасіння – вогнегасником, ящиком з піском та лопатою, ємностями для води. Займисті від тепла та іскор конструкції і обладнання при зварювальних роботах повинні огорожуватися щитами з негорючих матеріалів або металевими листами.

При спорудженні тунелів у глухих вибоях, віддалених виробках, а також виконанні робіт, пов'язаних з рухом поїздів, для ведення робіт дозволяється направляти тільки досвідчених робітників, не менш двох осіб одночасно.

До початку робіт з проходки тунельних виробок при будівництві тунелю всі керівники і працівники повинні бути ознайомлені з геологічними та гідрогеологічними умовами, в яких будуть проводитися роботи.

Для кожного об'єкта, де чекають вибухові роботи, повинні бути розроблені конкретні заходи щодо забезпечення безпеки вибухових робіт з урахуванням місцевих умов, особливостей конструкції споруди.

Персонал, який здійснює буровибухові роботи, повинен бути

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ознайомлений під розпис з технічною документацією на ці роботи [16, 23].

Перед початком заряджання на кордонах забороненою (небезпечною) зони повинні бути виставлені пости охорони, що перешкоджають проходу до місця проведення підривних робіт сторонніх людей, транспорту і т. д.

Буріння шпурів повинно здійснюватися відповідно до паспорта буропідривних робіт (БВР).

Буріння ручним бурильним інструментом шпурів і свердловин, розташованих на висоті більше 1,3 м від підшви виробки, повинно проводитися з риштування або спеціальних бурових візків, рам, кареток.

Бурити шпури з укосу підірваної породи допускається тільки за умови влаштування вирівняною стійкої майданчики і знаходженні бурильника поза зоною дії породонавантажувальною машини і відсутності небезпеки зсуву породи при її відвантаженні.

Працівники, зайняті на бурінні шпурів і свердловин, повинні бути забезпечені захисними окулярами.

Буріння шпурів ручними перфораторами повинно проводитися із застосуванням забурників довжиною 0,5...0,8 м. Застосування більш довгих бурів для забурювання забороняється.

При бурінні шпурів і свердловин повинні бути вжиті заходи по пилепридушення.

Стиснене повітря слід подавати до перфораторів з пневматичним шлангами довжиною 10...15 м від повітророзподільника.

При здійсненні вибухів обов'язкове застосування попереджувальних звукових або світлових сигналів. Звукові сигнали повинні бути добре чути, а світлові – добре видно на межах небезпечної зони. Спосіб, час подачі та призначення сигналів повинні бути доведені до відома населення прилеглого району та всіх працівників, причетних до робіт на даній ділянці.

Значення і порядок сигналів наступні:

- перший сигнал – попереджувальний (один тривалий). Цей сигнал подається перед заряджанням. Після заряджання особи, пов'язані з цими

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботами, видаляються із забою, підрильники приступають до монтажу вибухової мережі;

- другий сигнал – бойовий (два тривалих). Після подачі цього сигналу проводиться вибух;

- третій сигнал – відбій (три коротких). Цей сигнал означає закінчення вибухових робіт. Сигнали повинні подаватися старшим підрильником (або підрильником), що виконують вибухові роботи, а при масових вибухах – спеціально призначеним працівником підприємства. Забороняється подача сигналів голосом, а також із застосуванням вибухових речовин. Затверджений паспорт буропідрильних робіт повинен бути виданий під розписку начальнику ділянки, керівнику БВР, змінним інженерам і гірничим майстрам; один примірник паспорта з розписами перелічених осіб має зберігатися в технічному відділі будівельного підрозділу.

З паспортом БВР повинні бути ознайомлені під розписку всі прохідники та підрильники, що безпосередньо працюють у даному забої. Вибухові роботи в калотах здійснюються при наступних умовах:

- підривання зарядів у обох сторонах калоти має проводитися неодноразово;

- гранична довжина заходки в калотах залежно від міцності і стійкості ґрунту визначається ППР, але не повинна перевищувати 1 м;

- для монтажу тубінгової або блокової оправи тунелів повинні застосовуватися механічні укладальники. Монтування збірної оправи іншими засобами забороняється.

До початку робіт з монтажу збірної оправи укладальник повинен бути оглянутий механіком дільниці; результати огляду відображаються в журналі приймання і здачі змін. Забороняється перебувати в зоні обертання важеля укладальника під час його роботи, а також під його рамою при пересуванні укладальника. Присутність в зоні робіт працівників, не пов'язаних безпосередньо з роботою по монтажу оправи, забороняється.

Збірка кільця оправи тунелю повинна проводитися під захистом оболонки

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

еректора з дотриманням наступних вимог безпеки:

- монтаж повинен вестися послідовно з обох боків виробки за спеціально розробленими схемами складання обробки;
- звільнення важеля укладальника допускається проводити тільки після закріплення раніше покладеного елемента;
- при застосуванні обробки на болтових зв'язках тимчасове закріплення елемента повинно здійснюватися постановкою і затягуванням двох болтів в радіальних і одного болта в кругових бортах елементів;
- при монтажі оправи для поєднання болтових отворів встановлюваних і вже укладених елементів повинні використовуватися стандартні болти і спеціальні оправки; застосування різних стрижнів, відрізків арматури, дерев'яних штирів забороняється;
- остаточна затяжка гайок, заміна болтів і гвинтів пробки в отвори для нагнітання розчину за оболонку повинні проводитися з пересувних помостів або чеканочних візків; виконання цих робіт з драбин та оправи забороняється;
- залишення оправок, пробок, гайок, болтів, шайб, ключів, шматків ґрунту на бортах і ребрах елементів оздобу, а також на укладальнику забороняється. Нагнітання розчинів за оболонку повинно здійснюватися розчинонагнітачами, конструкції яких визначаються ППР.

Нагнітачі повинні бути обладнані справними манометрами для вимірювання робочого тиску. Тиск в нагнітачі не повинен перевищувати встановленої паспортом величини.

Працюючі на нагнітачі повинні забезпечуватися запобіжними окулярами, гумовими рукавичками та спецодягом та зобов'язані ними користуватись.

Всі обертові частини нагнітача повинні бути надійно огорожені захисними кожухами.

Забороняється розбирати і ремонтувати, що перебувають під тиском.

Видаляти «пробки», що утворилися нагнітачі, трубопроводах і шлангах, допускається тільки після зняття тиску в системі.

Гнучкі шланги на штуцерах нагнітача слід закріплювати хомутами на

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

болтах. Застосування дроту для цієї цілі забороняється.

Конструкція сопла повинна забезпечувати надійність його закріплення в свердловині при максимальному робочому тиску розчину в нагнітачі.

Організація водовідливу з підземних виробок під час виробництва робіт, типи застосовуваних насосних установок і устаткування повинні бути визначені проєктом. Дренажні та водовідвідні канали у виробках повинні мати міцні настили. Не можна допускати затоплення настилів і відкаточних шляхів.

При використанні для відкачування води безпосередньо з вибою виробки малогабаритних переносних пневматичних насосів слід дотримуватися вимоги безпеки при роботі з ручним пневмоінструментом. Забороняється проводити очищення таких насосів стисненим повітрям.

Насоси, застосовувані для водовідливу в тунелі, повинні мати надійне заземлення і розміщуватися в спеціальних виробках. Підлогу насосних камер повинен бути вище рівня шляхів в тунелі не менше ніж на 0,5 м і міститися в чистоті.

Будівельні машини, транспортні засоби, виробниче обладнання, засоби механізації, пристосування, оснащення, ручні машини та інструмент, в тому числі іноземного виробництва, повинні відповідати державним нормативним вимогам охорони праці та мати декларацію про відповідність та сертифікат відповідності.

Експлуатація вантажопідйомних машин та інших засобів механізації, повинна проводитися з урахуванням вимог Правил будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів. Засоби механізації, придбані, орендовані або після капітального ремонту – непідконтрольні органам нагляду, допускаються до експлуатації після їх огляду і випробування особою, відповідальною за їх експлуатацію.

Будівельні машини, транспортні засоби, виробниче обладнання та інші засоби механізації повинні використовуватись за призначенням і застосовуватися в умовах, встановлених заводом-виготовлювачем.

При технічному обслуговуванні машин з електроприводом повинні бути

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вжиті заходи, що не допускають випадкової подачі напруги.

Робочі місця при технічному обслуговуванні і поточному ремонті машин, транспортних засобів, виробничого устаткування та інших засобів механізації повинні бути обладнані комплектом справного інструменту, пристосувань, інвентарю, вантажопідйомних пристосувань і засобів пожежогашіння.

Технічний стан і обладнання автомобілів всіх типів, марок і призначень, які перебувають в експлуатації, повинні відповідати Міжгалузевих правил по охороні праці на автомобільному транспорті.

Залишати без нагляду машини, транспортні засоби та інші засоби механізації з працюючим (включеним) двигуном не допускається. Включення, запуск і робота транспортних засобів, машин, виробничого обладнання та інших засобів механізації повинні проводитися тільки особою, за яким вони закріплені, мають посвідчення на право управління цим засобом.

Автовантажувачі з механічною системою підймання вантажу повинні бути обладнані кінцевими вимикачами для обмеження підйому вантажу та опускання підйомного пристрою. Кінцеві вимикачі механізму підйому повинні зупиняти пристосування для захоплення вантажу на відстані не менше 200 мм до верхнього граничного стану.

Персонал, що експлуатує засоби механізації, обладнання, пристосування та ручні машини, до початку робіт повинен бути навчений, пройти стажування, проінструктований по правилам техніки безпеки згідно з вимогами інструкції заводу-виготовлювача і місцевих інструкцій з охорони праці для робітників по спеціальностях.

Домкрати для підйому вантажів повинні бути випробувані перед початком експлуатації, а також через кожні 12 місяців, при передачі з однієї бригади в іншу і після кожного ремонту.

Вантажні гаки вантажозахватних засобів (стропи, траверси), застосовуваних у будівництві, повинні бути забезпечені запобіжними замикаючими пристроями, що запобігають мимовільне випадання вантажу

Ручний інструмент повинен відповідати наступним вимогам:

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- дерев'яні рукоятки повинні бути виготовлені з деревини твердих і в'язких порід, гладко оброблені і надійно закріплені;

- робоча частина інструмента не повинна мати тріщин, задирок і відколів;

- ручний інструмент повинен оглядатися бригадиром не рідше одного разу на квартал, а також працівником, який користується інструментом, безпосередньо перед застосуванням. Несправний інструмент підлягає вилученню;

- руків'я (держак) лопат повинні бути гладкими і міцно закріплюватися в тримачах; При перенесенні або перевезенні інструменту його гострі частини слід закривати чохлами.

При експлуатації ручних машин повинні виконуватися наступні вимоги:

- до початку роботи слід перевіряти комплектність машини і надійність кріплення її деталей, справність захисного кожуха, кабелі (рукава), вимикача і працездатність машини на холостому ході;

при перервах в роботі, після закінчення роботи, а також при змащенні, очищенні, зміні робочого інструменту і т. п. ручні машини повинні бути вимкнені і від'єднати від електричної або воздухопроводящей мережі;

- ручні машини, маса яких, що припадає на руки працівника, перевищує 10 кг, повинні застосовуватися з пристосуванням для підвішування;

- при роботі з машинами на висоті слід використовувати стійкі підмости;

- регулювання, змащування і ремонт ручних машин повинні проводитися спеціально виділеним працівником. Спеціальне обладнання для нанесення торкретного або набризгбетонного покриття повинно бути випробувано в установленому порядку та мати відповідний паспорт.

Візки для подачі тьобінгів повинні мати надійні стопорні пристрої для запобігання мимовільного скочування на ухилах.

Троси, призначені для підйому блоків оправи або тьобінгів, повинні мати не менше ніж шестикратний запас міцності по відношенню до ваги найбільшого елемента збірної оправи.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дії працівника при виникненні аварійної ситуації (пожежа)

При виникненні аварійної ситуації працівник зобов'язаний припинити роботу, негайно повідомити про те, що трапилося майстру (бригадиру) і далі виконувати його вказівки щодо попередження нещасних випадків або усуненні виниклої аварійної ситуації.

Працівники, які перебувають поблизу, за сигналом тривоги, зобов'язані негайно з'явитися до місця події і взяти участь в наданні потерпілому першої допомоги або усуненні аварійної ситуації.

При ліквідації аварійної ситуації необхідно діяти у відповідності з затвердженим планом ліквідації аварій.

При виникненні пожежі повідомити в пожежну охорону, керівнику робіт.

При користуванні пінними (вуглекислотними, порошкоподібними) вогнегасниками струмінь піни (порошку, вуглекислоти) не направляти в бік людей. При попаданні піни на незахищені ділянки тіла необхідно стерти хусткою або іншим матеріалом і промити розчином соди. При загорянні електроустаткування використовувати тільки вуглекислотні або порошкові вогнегасники. При користуванні вуглекислотним вогнегасником не братися рукою за розтруб вогнегасника. При гасінні електроустановок, що знаходяться під напругою до 1000 В, не допускається підводити розтруб ближче 1 метра до електроустановки та полум'я.

Внутрішніми пожежними кранами необхідно користуватися розрахунком з двох чоловік: один розгортає рукав від крана до місця пожежі, а другий по команді розкотуючого рукав відкриває кран.

При гасінні полум'я піском совок, лопату і т. п. не піднімати на рівень очей, щоб уникнути попадання в них піску.

Гасити палаючі предмети, що знаходяться на відстані менше 2 м від контактної мережі, дозволяється тільки вуглекислотними, аерозольними або порошковими вогнегасниками.

Гасити палаючі предмети водою, хімічними пінними вогнегасниками можна тільки після того коли напругу з контактної мережі знято і вона

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заземлена.

Гасіння палаючих предметів, розташованих на відстані 7 м від контактного проводу, що перебуває під напругою, може бути допущено без зняття напруги. При цьому необхідно стежити, щоб струмінь води або піни не діставав контактної мережі або інших частин, що перебувають під напругою.

При виявленні сторонніх підозрілих предметів забороняється здійснювати будь-які дії з ними. Необхідно ізолювати доступ до них оточуючих і негайно повідомити про це майстру (бригадиру), працівникам правоохоронних органів.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальні висновки

1. В магістерській роботі виконано аналіз інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов будівництва. Результатом аналізу є обґрунтований вибір колонної станції з клинчастими перемичками як найоптимальнішої конструкції для міцних порід на прикладі Дніпровського метрополітену.

2. Виконане варіантне проектування трьохсклепінчастих станцій колонного, для яких розраховані геометричні параметри, в тому числі розміри платформи, кількість проходів та ескалаторів та об'єми для ТЕО. Після проведеного техніко-економічного порівняння для подальших розрахунків та розробки технології обирається Варіант 2 – колонна станція із чавунних тюбінгів, яка приймається до статичного розрахунку та чисельного аналізу.

3. Проведені статичний розрахунок конструкції на основі стержневої та чисельний аналіз просторової моделі МСЕ, отримані епюри згинальних моментів і нормальних сил, проведений розрахунок міцності чавунного тюбінга. Побудована на основі реальних геометричних розмірів, результатів лабораторних досліджень та застосування розрахункового професійного комплексу Structure CAD for Windows, модель станції колонного типу дозволила свідчити, що значення еквівалентних напружень не досягають межі міцності матеріалу, що свідчить про те, що умова міцності виконується.

4. Для колонної станції з клинчастими перемичками проведено обґрунтування спорудження БВР, для якого розраховані параметри для пілот-тунелю (боковий станційний тунель) та калоти (середній станційний тунель), проведений розрахунок параметрів електропідривної мережі та складені паспорти БВР.

5. Розроблені заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях при технології буровибухових робіт при спорудженні станції колонного типу.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Бібліографічний список

1. Айвазов, Ю. М. Проективання метрополітенів (у 3-х частинах). Навчальний посібник. Частина 1 [Текст] / Ю. М. Айвазов. – Київ: НТУ, 2006. – 166 с.
2. Айвазов, Ю. М. Проективання метрополітенів (у 3-х частинах). Навчальний посібник. Частина 2 [Текст] / Ю. М. Айвазов. – Київ: НТУ, 2009. – 216 с.
3. Амусин, Б. З. Метод конечных элементов при решении задач горной геомеханики [Текст] / Б. З. Амусин, А. Б. Фадеев. – Москва : Недра, 1975. – 144 с.
4. Баженов, В. А. Полуаналитический метод конечных элементов в механике деформируемых тел [Текст] / В. А. Баженов, А. И. Гусляр, А. С. Сахаров, А. Г. Топор. – Киев : НИИ строительной механики, 1993. – 376 с.
5. Баклашов, И. В. Механика подземных сооружений и конструкции крепей [Текст] / И. В. Баклашов, Б. А. Картозия. – Москва : Недра, 1984. – 415 с.
6. Бегун, А. Д. Исследования на моделях станции колонного типа глубокого заложения [Текст] / А. Д. Бегун, М. Г. Дмитриев, В. Е. Меркин // Транспортное строительство, 1968. – №1. – С. 45-47.
7. Большаков, В. И. Основы метода конечных элементов [Текст] / В. И. Большаков, Е. А. Яценко и др. – Днепропетровск : ПГАСиА, 2000. – 255 с.
8. Булычев, Н. С. Механика подземных сооружений [Текст] / Н. С. Булычев. – Москва : Недра, 1994. – 382 с.
9. Булычев, Н. С. От гипотез горного давления к теории расчета подземных сооружений [Текст] / Н. С. Булычев // Подземное строительство России на рубеже XXI века, Москва 15-16 марта 2000 г. – Москва : ТАР, 2000. – С. 105-111.
10. Власов, С. Н. Строительство метрополитенов [Текст] / под ред. С.Н. Власова. – Москва : Транспорт, 1987. – 278 с.
11. Гузченко, В. Т. Определение напряженного состояния конструкции

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

колонной станции метрополитена [Текст] / В. Т. Гузченко, Д. Р. Шабодяш // Устойчивость геотехнических сооружений на железнодорожном транспорте. – Днепропетровск : ДИИТ, 1989. – С. 45-47.

12.ДБН Д.1.1-1-2000 Правила визначення вартості будівництва [Текст]. – Київ : Держбуд України, 2003. – 148 с.

13.ДБН Д.2.2.-29-99 Ресурсні елементні кошторисні норми. Збірка 29. Тунелі та метрополітени [Текст]. – Київ : Держбуд України, 2006. – 271 с.

14.ДБН В.2.3-7-2010. Споруди транспорту. Метрополітени [Текст]. – Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2011. – 195 с.

15.Демешко, Е. А. Расчет колонной станции метрополитена как пространственной конструкции [Текст] / Е. А. Демешко, С. Б. Косицын, А. Е. Слемзин // Транспортное строительство. – 1992. – № 1. – С. 32-35.

16.Єдині правила безпеки при вибухових роботах [Текст]. – Київ : Норматив, 1992. – 316 с.

17.Еременко, С. Ю. Методы конечных элементов в механике деформируемых тел [Текст] / С. Ю. Еременко. – Харьков : Изд-во «Основа» при Харьковском ун-те, 1991. – 272 с.

18.Заворицкий, В. И. Проектирование подземных транспортных сооружений [Текст] / В. И. Заворицкий. – Киев : Будівельник, 1975. – 204 с.

19.Калиничев, В. П. Метрополитены [Текст] / В. П. Калиничев. – Москва : Транспорт, 1988. – 280 с.

20.Козин, Е. Г. Исследование процесса сдвижения земной поверхности на участке между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества» в Санкт-Петербурге [Текст] / Е. Г. Козин, Б. М. Савков, В. П. Хуцкий // Метро и тоннели. – 2006. – № 4. – С. 32-35.

21.Коренистов, А. В. Техника безопасности при взрывных работах в энергетическом строительстве [Текст] / Коренистов А. В., С. А. Давыдов, Б. И. Каменка. – Москва : Недра, 1980. – 220 с.

22.Мостков, В. М. Подземные гидротехнические сооружения. Учеб. для вузов. [Текст] // Под ред. В.М. Мосткова. – Москва : Высшая школа, 1986. – 464

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

с.

23.НАПБ А. 01-001-04 Правила пожежної безпеки в Україні [Текст] / Затверджено МНС України, № 126 від 19.10.2004.

24.Строительство тоннелей и метрополитенов / Под ред. Д. М. Голицынского [Текст]. – Москва : Транспорт, 1989. – 319 с.

25.Пашков, П. Д. О конструкциях пилонных станций [Текст] / П. Д. Пашков // Транспортное строительство. – 1984. – № 9. – С. 16-17.

26.Петренко, В. Д. Порівняльний аналіз напружено-деформованого стану колонної станції метрополітену з двома видами колон [Текст] / В. Д. Петренко, В. Л. Сєдін, О. Л. Тютюкін, І. В. Старостенко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук : КДПУ, 2004. – Вип. 6/2004 (29). – С. 108-112.

27.Петренко, В. Д. Комплексный анализ конструкции колонной станции метрополитена [Текст] / В. Д. Петренко, А. Л. Тютюкин, В. И. Петренко. // Науковий вісник Національного гірничого університету, Дніпропетровськ : НГУ, 2007. – №9. – С. 61-65.

28.Петренко, В. Д. Числовий аналіз залізобетонної конструкції колонної станції метрополітену із змінним кроком колон [Текст] / В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін, Д. С. Кавун. // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ : Вид-во ЛНАУ, 2007. – № 71(94). – С. 27-33.

29.Петренко, В. Д. Методичні вказівки для курсового та дипломного проектування «Математичне моделювання підземних споруд на основі методу скінченних елементів. Ч. 1. Structure CAD for Windows (SCAD)» [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, О. Л. Тютюкін, В. П. Купрій. – Дніпропетровськ : Нова ідеологія, 2010. – 56 с.

30.Петренко, В. И. Современные технологии строительства метрополитенов в Украине [Текст] / В. И. Петренко, В. Д. Петренко, А. Л. Тютюкин. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2005. – 252 с.

31.Петренко В.И. Опыт освоения подземного пространства

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

32.Петренко, В. І. Розрахунок трисклепінчастих станцій метрополітену глибокого закладення [Текст] / В. І. Петренко, В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004. – 176 с.

33.Петренко, В. І. Станції метрополітену: конструкції та спорудження. Навчальний посібник [Текст] / В. І. Петренко, В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін. – Дніпропетровськ : Нова ідеологія, 2012. – 164 с.

34.Полянкин, Г. Н. Буровзрывные работы в тоннелестроении [Текст] / Г. Н. Полянкин. – Москва : Транспорт, 2007. – 200 с.

35.Радкевич, А. В. Разработка граничных условий конечно-элементных моделей подземных сооружений [Текст] / А. В. Радкевич, В. Д. Петренко, А. Л. Тютюкін, А. И. Склярук // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика», 11-12 жовтня 2007 р., м. Дніпропетровськ. – Дніпропетровськ: Вид-во ДІТУ, 2007. – 123-124 с.

36.Рикардс, Р. Б. Метод конечных элементов в теории оболочек и пластин [Текст] / Р. Б. Рикардс. – Рига : Зинатне, 1988. – 284 с.

37.Стренг, Г. Теория метода конечных элементов: Пер. с англ. [Текст] / Г. Стренг, Дж. Фикс. – Москва : Мир, 1977. – 350 с.

38.Тютюкін, О. Л. Основи енергетичного підходу до аналізу напружено-деформованого стану системи «кріплення–масив» [Текст] / О. Л. Тютюкін. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ : Вид-во ДІТУ, 2009. – Вип. 26. – С. 141-146.

39.Федунец, Б. И. Строительство крупногабаритных тоннелей в мегаполисе [Текст] / Б. И. Федунец, Е. В. Петренко // Метро и тоннели, 2002. – № 2. – С. 23-25.

40.Федюкин, В. А. Специальные способы строительства / В. А. Федюкин, И. Д. Насонов, М. Н. Шуплик. – Москва : Желдориздат, 1983 – 311 с.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

41.Фролов, Ю. С. Метрополитены. Учебник для вузов [Текст] / Ю. С. Фролов, Д. М. Голицынский, А. П. Ледяев. – Москва : Желдориздат, 2001. – 528 с.

42.Шашенко, А. Н. Расчет несущих элементов подземных сооружений [Текст] / А. Н. Шашенко, В. П. Пустовойтенко. – Киев : Наукова думка, 2001. – 168 с.

43.Шашенко, А. Н. Геомеханические процессы в породных массивах [Текст] / А. Н. Шашенко, Т. Майхерчик, Е. А. Сдвижкова. – Днепропетровск : Национальный горный университет, 2005. – 319 с.

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

45.SCAD для пользователя [Текст] / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. В. Перельмутер и др. – Киев : ВВП «Компас», 2000. – 332 с.

					011.150004.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		