

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

ННЦ «Мости і тунелі»
(назва факультету/ННЦ)

«Транспортна інфраструктура»
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
ОС «бакалавр»
(ступінь вищої освіти)

на тему: Односклепінчаста станція в міцних породах. Конструкція та спорудження (гірничий спосіб)
за освітньою програмою «Мости і транспортні тунелі»
зі спеціальності: 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: MT19130

(підпис студента)

/ Анатолій ОНУК /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

(підпис)

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

Нормоконтролер:

(підпис)

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

Консультанти:

Охорона праці та безпека в
надзвичайних ситуаціях
(назва розділу)

(підпис)

/ зав. каф. Олег САБЛІН /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент

(підпис)

Дніпро – 2022 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Bridges and tunnels
(faculty/TRC)

"Transport infrastructure"
(department)

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

on the topic: Single-vaulted station in strong soil. Design and construction (mining method)

according to educational curriculum Bridges and vehicular traffic tunnels
in the Specialization: 192 Building and civil engineering
(Specialization and its code)

Done by the student of the group: MT19130 / Anatolii ONUK /
(name, surname)

Scientific Supervisor: / Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /
(position, name, surname)

Normative controller : / Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /
(position, name, surname)

Supervisors
Occupational health
and safety in emergencies
(Chapter title heading)

/ Head of Dept. Oleh SABLIN /
(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

ННЦ: «Мости і тунелі»

Кафедра: «Транспортна інфраструктура»

Рівень вищої освіти: «бакалавр»

Освітня програма: «Мости і транспортні тунелі»

Спеціальність: 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортна інфраструктура»

_____ Олексій ТЮТЬКІН
 (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата _____

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу

ОС «бакалавр»

(ступінь вищої освіти)

студенту Онуку Анатолію Сергійовичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Односклепінчаста станція в міцних породах. Конструкція та спорудження (гірничий спосіб)»

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

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

затверджені наказом від «27» жовтня 2022 р. № 718ст

2. Строк подання студентом роботи: «13» червня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: Результати аналізу інженерно-геологічних умов, конструкцій односклепінчастої станції глибокого закладення та матеріали, що отримані під час пошуку в Internet.

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

Вступ. Розділ 1. Аналіз інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов. Розділ 2. Варіантне проєктування односклепінчастої станції глибокого закладення та ТЕО. Розділ 3. Розрахунок конструктивних елементів станційної конструкції. Розділ 4. Спорудження односклепінчастої станції глибокого закладення гірничим способом. Розділ 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

Лист 1. Інженерно-геологічні умови. Лист 2. Конструкція односклепінчастої станції (обраний за ТЕО варіант). Лист 3. Розрахунок конструктивних елементів станційної конструкції. Лист 4. Спорудження односклепінчастої станції глибокого закладення гірничим способом.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	зав. каф. О. І. Саблін		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Розділ 1. Аналіз інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов.	28.02.2022 – 20.03.2022	
2	Розділ 2. Варіантне проєктування односклепінчастої станції глибокого закладення та ТЕО.	21.03.2022 – 10.04.2022	
3	Розділ 3. Розрахунок конструктивних елементів станційної конструкції.	11.04.2022 – 01.05.2022	
4	Розділ 4. Спорудження односклепінчастої станції глибокого закладення гірничим способом.	02.05.2022 – 22.05.2022	
5	Розділ 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Оформлення ВКР.	23.05.2022 – 05.06.2022	
6	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	06.06.2022 – 12.06.2022	
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	13.06.2022	
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	21.06.2022	

Студент

(підпис)

Анатолій ОНУК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Олексій ТЮТЬКІН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:

46 стор., 11 рис., 3 табл., 17 літературних джерел.

Об'єкт розробки – односклепінчаста станція в міцних породах.

Мета роботи – конструкція та спорудження односклепінчастої станції в міцних породах гірничим способом.

Метод дослідження – метод скінченних елементів на основі модифікованого методу Метродіпротрансу.

В бакалаврській роботі виконано аналіз інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов будівництва. Проведене варіантне проєктування односклепінчастої станції метрополітену та виконане техніко-економічне порівняння.

Проведений розрахунок конструктивних елементів станційної конструкції методом скінченних елементів на основі модифікованого методу Метродіпротрансу. Обґрунтовано параметри міцності конструктивного елементу склепіння (залізобетонний блок).

Обґрунтовано технологію спорудження односклепінчастої станції в міцних породах гірничим способом. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: МЕТРОПОЛІТЕН, ОДНОСКЛЕПІНЧАСТА СТАНЦІЯ, РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ, МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ	8
2 ВАРІАНТНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ОДНОСКЛЕПІНЧАСТОЇ СТАНЦІЇ ГЛИБОКОГО ЗАКЛАДЕННЯ ТА ТЕО	12
2.1 Визначення геометричних розмірів станції	12
2.2 Розрахунок об'ємів	13
2.3 Техніко-економічне обґрунтування варіантів станції	20
3 РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАНЦІЙНОЇ КОНСТРУКЦІЇ	23
3.1 Визначення навантаження на оправу станції	23
3.2 Розрахунок станційної конструкції методом скінченних елементів	24
3.3 Перевірка оправи на міцність	26
4 СПОРУДЖЕННЯ ОДНОСКЛЕПІНЧАСТОЇ СТАНЦІЇ ГЛИБОКОГО ЗАКЛАДЕННЯ ГІРНИЧИМ СПОСОБОМ	29
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	36
ВИСНОВКИ	44
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	45

ВСТУП

Метрополітен є складною підземною системою, яка забезпечує великі міста транспортним пасажирським сполученням. В загальному випадку метрополітен складається з перегінних тунелів, які підходять та відходять від станцій глибокого або мілкового закладення. Ці підземні об'єкти, тобто станції метрополітенів, є дуже відповідальними, їх вартість в загальному обсязі займає 60...70 %. Характеризуються вони і складністю спорудження.

Станції на генеральній схемі ліній метрополітену слід розміщувати з урахуванням існуючого й перспективного планування міста і його наземної транспортної системи в місцях найбільшого пасажиропотоку. Станції розташовують також на пересіченнях або в місцях сполучення ліній метрополітену між собою та із залізницями.

Конструкції станцій метрополітенів залежать від інженерно-геологічних умов і матеріалів, які використовуються для їх кріплення. Якщо породи, в яких залягає підземна споруда, є міцними, із коефіцієнтом міцності за проф. М. М. Протод'яконовим $f=7...10$, то характерне використання станцій метрополітену односклепінчастого типу.

Така станція являє собою єдиний конструктивний комплекс зі склепінням великого прогону та підйому, у якому розташовується острівна платформа, колії й підплатформені приміщення. Односклепінчаста станція характеризується значною складністю під час спорудження, оскільки є виробкою великого перерізу, але й є найкращою для пасажирів, оскільки має великий об'єм під склепінням та нормальне управління потоками.

Таким чином, для кваліфікаційної роботи на здобуття ОС «бакалавр» метою прийнято розробка конструкції та спорудження односклепінчастої станції в міцних породах гірничим способом.

1 АНАЛІЗ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ

Проектування та спорудження тунелю завжди починається з інженерно-геологічних вишукувань [1, 2]. Від якості, ступені подробности та обумовленості яких значно залежить успішність та економічність спорудження тунелів.

Метою вишукування є найбільш повне виявлення усіх скельних порід та гідрогеологічних факторів, які можуть впливати як на виробництво робіт по спорудженню тунелю так і на його експлуатацію. При цьому повинні бути вивчені форми земної поверхні над тунелем, обумовлені геологічними та фізичними процесами, а також діяльністю людини. Також повинні враховуватись кліматичні умови району будівництва тунелю.

На основі вивчених геологічних умов вибирається глибина закладання тунелю, найвигідніше положення тунелю в плані та профілі, встановлюється найбільш ефективними та вигідними засобами виробництва робіт, які забезпечують збереження надземних та підземних споруд, які знаходяться в зоні дії виробок, виявляється також найбільш раціональна конструкція тунельної обробки та міри захисту її від агресивної дії порід, підземних вод і тому подібне.

Можна сказати, що весь хід будівництва тунелю, його вартість і терміни виконання робіт визначаються в основному геологічними й гідрогеологічними умовами, що мають місце на трасі тунелю.

У зв'язку з цим велике значення для успішного ходу будівництва мають інженерно-геологічні дослідження району, наміченого для будівництва тунелю. Геологічна експертиза, що узагальнює результати цих досліджень, повинна дати відповідь на всі питання, що цікавлять будівельників, передбачити труднощі, що можуть виникнути в процесі будівництва й експлуатації тунелю, і рекомендувати найбільш сприятливе в геологічному відношенні положення траси. Помилки або неправильні висновки експертизи можуть досить несприятливо вплинути на хід, вартість і терміни будівництва, а також на умови

експлуатації тунелю.

Станція, що розглядається в дипломному проєкті, перетинає ґрунти з різними фізико-механічними властивостями, а також міцності і вологості.

Ґрунти розташовані над тунелем мають свою товщу та різні характеристики:

I. Верхній шар:

- насипний ґрунт – асфальт, бетон із щебенево-шлаковою підготовкою, суглинок чорний, жовто-бурий від твердої до м'якопластичної консистенції з уламками цегли;

- суглинок, сірувато-жовтий, зеленувато-сірий, твердий нерівномірно запісочений; супісок сірувато-жовтий твердий і пластичний с шарами пилюватого піску;

- пісок кварцовий світло-сірий, світло-жовтий, мілкий з лінзами супіску і різнозернистого піску;

- пісок різнозернистий, водонасичений, із включеннями гравію кристалічних порід змістом 20-40 % та з гніздами глинистого матеріалу;

- глина глауконітова зеленувато-сіра різної ступені запісоченості, напівтверда, з лінзами и прошарками піску глауконітового і супіску.

II. Середній шар:

- дисперсна зона кори вивітрювання скельних порід – підзона глинистих продуктів вивітрювання, каолін первинний, суглинок від блакитно-сірого до світло-сірого кольору, напівтвердий і твердий, із включенням дресви і щебеню материнської скельної породи до 10...40 %;

- уламкова зона кори вивітрювання скельних порід, деревно-щебенисті ґрунти с піщано-глинистим заповненням до 30...40 %, неоднорідні;

- уламкова зона кори вивітрювання скельних порід, щебенево-брилові ґрунти с піщано-глинистим заповненням до 30...40 %, неоднорідні.

III. Нижній шар (місце розташування станції):

- плагіограніт сірий, зеленувато-сірий, масивний, мілко- і середньозернистий, тріщинуватий.

Сучасні відкладення представлені насипними ґрунтами – асфальтовим

покриттям з дресв'яно-щебенистою підсипкою, піски кварцові, темно-сірі, пилюваті, з включенням уламків червоної цегли, доменного шлаку, щебеню та іншого будівельного сміття до 10...20 % потужністю 2,2...4,8 м.

Комплекс алювіально-делювіальних верхньо-четвертинних відкладень загальною потужністю від 4,0 м до 11,5 м. Літологічно представлені суглинками, супісками та дрібними кварцовими пісками.

Суглинки жовтувато-сірі, туго пластичні, у кривлі з прошарками суглинків чорних, зеленувато-сірих та прошарками мілкого піску.

Супіски темно-сірі до чорних, текучі, з відносним вмістом органічних речовин до 0,04 та прошарками мілкого піску.

Піски кварцові, жовтувато-сірі, мілкі, однорідні, середньої щільності, насичені водою, з включенням невеликої кількості прошарків суглинків туго пластичних та пісків пилюватих.

Флювіогляціальні середньо-чверткові відкладення представлені неоднорідними гравійно-гальковими відкладеннями жовто-сірими, неоднорідними, щільними, насиченими водою, з піщаним заповнювачем до 30...40 %, з прошарками суглинків жовто-бурих, туго пластичних, потужністю 0,8...5,6 м.

Четвертинні утворення залягають на протеозой-мезозойській корі вивітрювання магматичних порід, представлені дисперсною і уламковою зонами.

Дисперсна зона кори вивітрювання скельних порід (під зона глинистих продуктів розкладання) – каоліни первинні, білі, сірувато-білі, тверді, з включенням зерен кварцу від 20...25 % до 40...50 %, з охристими плямами гідроокисів заліза, потужністю 1,2...5,7 м.

Уламкова зона кори вивітрювання скельних ґрунтів – дерев'яно-щебеневі ґрунти, сірі, неоднорідні, з піщано-глинистим заповнювачем змістом 30...40 %, каолінізовані, водонасичені, потужністю 1,6...2,4 м.

Фундаментом для більш молодших порід служать архей-протезойські породи, представлені плагіогранітами сірими, світло-сірими, іноді розу вато-

сіримі, дрібно-середньозернистими, у покрівлі крупнозернистими, масивної структури, від дуже сильно тріщинуватих до сильно тріщинуватих, слабо вивітрені, середньої міцності та міцні, обводнені. Максимально потужність скельних порід складає 37...40 м.

Скельний масив порушений тектонічними зонами різноманітного характеру, напрямку і потужності.

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

Вихідні дані

Інженерно-геологічні умови – плагіограніт, $f = 10$.

Глибина закладення станції – 70 м.

Рівень ґрунтових вод – 20 м.

Склад поїзду – 4 вагони, коефіцієнт посадки-висадки – 0,5.

2 ВАРІАНТНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ОДНОСКЛЕПІНЧАСТОЇ СТАНЦІЇ ГЛИБОКОГО ЗАКЛАДЕННЯ ТА ТЕО

2.1 Визначення геометричних розмірів станції

Основними розмірами станції є: довжина і ширина посадкових платформ, довжина і ширина середнього залу станції, висота станції, ширина і висота проходів [3, 4].

Довжина пасажирської платформи станції приймається згідно з кількістю вагонів [5, 6], які експлуатуються в поїздах, що проходять через станцію з уточненням до цілих кілець [7]:

$$L_{\text{пл}} = n \cdot l + a = 4 \cdot 19,2 + 2 = 78,8 \text{ м},$$

$$n_{\text{кіл}} = \frac{L_{\text{пл}}}{0,75} = \frac{78,8}{0,75} = 105,07 \approx 106 \text{ шт.}$$

$$\text{отже, } L_{\text{пл}} = n_{\text{кіл}} \cdot 0,75 = 106 \cdot 0,75 = 78,8 \text{ м},$$

де n – кількість вагонів у поїзді, шт.,

l – довжина вагонів між зчепленнями, м,

a – запас на неточність зупинки поїзда, $a = 2$ м,

$0,75$ – довжина кільця, м.

Площа платформи визначається з урахуванням кількості пасажирів:

$$\omega = n_{\text{пл}} \cdot \eta = 340 \cdot 0,5 = 187 \text{ м}^2,$$

де $n_{\text{пл}}$ – кількість пасажирів на платформі, чол.,

η – густина заповнення платформи, $\text{м}^2/\text{чол.}$

Кількість пасажирів на платформі:

$$n_{\text{пл}} = A \cdot n \cdot k_{\text{пв}} = 170 \cdot 4 \cdot 0,5 = 340 \text{ чол.},$$

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

$k_{\text{пв}}$ – коефіцієнт посадки-висадки пасажирів.

Густина заповнення платформи приймається $0,5 \text{ м}^2/\text{чол.}$ Обумовлено масовими пасажиропотоками.

Розрахункова довжина платформи визначається з урахуванням відстані від початку поїзда до перших дверей і від останніх до кінця поїзда (приблизно 7 м):

$$l_p = L_{пл} - 7 = 78,8 - 7 = 71,8 \text{ м.}$$

Для односклепінчастих станцій з острівною платформою ширина її визначається за формулою:

$$b_{ост} = 2 \cdot b + b_0 = 2 \cdot 3,2 + 2 = 8,4 \approx 10 \text{ м,}$$

де b – мінімальна ширина платформи для посадки пасажирів, приймається $b = 3,2 \text{ м,}$

b_0 – додаткова ширина платформи, яка враховує переміщення пасажирів по платформі при трьох ескаляторах $b_0 = 2 \text{ м.}$

Незалежно від розрахунку згідно з [1] мінімальна ширина острівної платформи для односклепінчастих станцій приймається рівною 10 м.

Важливим фактором, який визначає розміри станції, є кількість ескалаторів, яка залежить від годинного пасажиропотоку станції і пропускної можливості одного ескалатора:

$$n_e = \frac{2 \cdot n_{п} \cdot n_{пл}}{8500} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 340}{8500} = 1,6 \approx 3 \text{ шт.,}$$

де $n_{п}$ – число пар поїздів за годину,

$n_{пл}$ – кількість пасажирів, які одночасно знаходяться на платформі;

8500 – пропускна спроможність одного ескалатора.

Для зв'язку зі станцією приймається не менше трьох ескалаторів, із яких один працює на вхід, другий – на вихід, третій – запасний.

2.2 Розрахунок об'ємів

В якості варіантів обрано три, для яких розраховано об'єми та проведене техніко-економічне порівняння, метою якого було визначення варіанту, що приймається до розрахунку [8, 9].

Варіант 1. Зі збірного залізобетону з опорами колового окреслення (рис. 2.1).

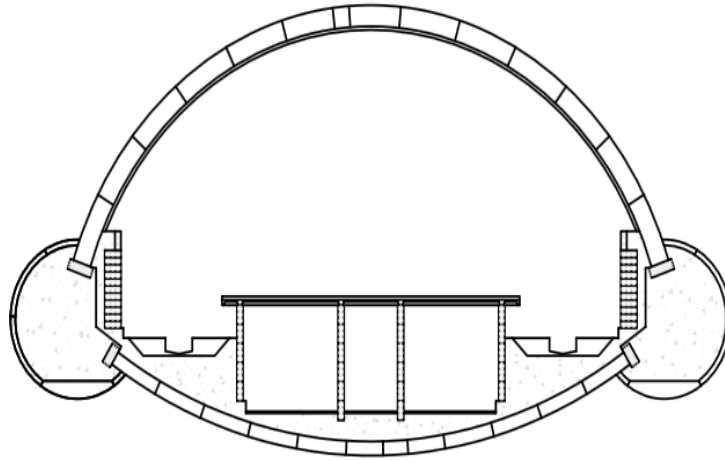


Рисунок 2.1 – Варіант 1

1. Проходка тунелю механізованим щитом (лівий та правий опорні тунелі):

$$V_1 = 2 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L_{\text{пл}} = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot 4,5^2}{4} \cdot 78,8 = 2505,24 \text{ м}^3.$$

2. Вкладання збірної залізобетонної оправи із блоків (лівий та правий опорні тунелі):

$$V_2 = \left(2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot \frac{\alpha}{360} \right) \cdot L_{\text{пл}} = \left(2 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 4,5^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 4,18^2}{4} \right) \cdot \frac{228}{360} \right) \cdot 78,8 = 216,54 \text{ м}^3,$$

де α – кут спорудженої оправи.

3. Влаштування монолітних бетонних опор з пересувною металевою опалубкою:

$$V_3 = 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{S_d}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} \right) \cdot L_{\text{пл}} = 2 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 4,18^2}{4} \cdot \frac{9,06}{\frac{3,14 \cdot 4,18^2}{4}} \right) \cdot 78,8 = 1427,85 \text{ м}^3,$$

де S_d – дійсна площа залізобетону в опорі.

4. Розробка калоти:

$$V_4 = L_k \cdot h_k \cdot L_{пл} = 25,1 \cdot 2 \cdot 78,8 = 3955,76 \text{ м}^3,$$

де L_k – довжина калоти, h_k – висота калоти.

5. Зведення збірного склепіння:

$$V_5 = \left(\left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot \frac{\alpha}{360} \right) \cdot L_{пл} = \left(\left(\frac{3,14 \cdot 21,09^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 19,89^2}{4} \right) \cdot \frac{143}{360} \right) \cdot 78,8 = 1186,34 \text{ м}^3,$$

де α – кут спорудженої оправи.

6. Розробка ядра і лоткової частини:

$$V_6 = (S - L_k \cdot h_k) \cdot L_{пл} = (180,18 - 25,1 \cdot 2) \cdot 78,8 = 10242,42 \text{ м}^3,$$

де S – площа розробки ґрунту з урахуванням колотного прорізу.

7. Влаштування зворотного склепіння:

- оправа зворотного склепіння:

$$V_{71} = \left(\left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot \frac{\alpha}{360} \right) \cdot L_{пл} = \left(\left(\frac{3,14 \cdot 31,99^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 31,19^2}{4} \right) \cdot \frac{66}{360} \right) \cdot 78,8 = 562,78 \text{ м}^3,$$

де α – кут спорудженої оправи;

- бетонування під платформою:

$$V_{72} = S \cdot L_{пл} = 16,35 \cdot 78,8 = 1288,38 \text{ м}^3,$$

де S – площа бетонування,

$$V_7 = V_{71} + V_{72} = 562,78 + 1288,38 = 1851,16 \text{ м}^3.$$

8. Влаштування колійних стін:

$$V_8 = 2 \cdot S \cdot L_{\text{пл}} = 2 \cdot 1,3 \cdot 78,8 = 204,88 \text{ м}^3,$$

де S – поперечна площа однієї стіни.

9. Влаштування платформи:

$$V_9 = S \cdot L_{\text{пл}} = 10,68 \cdot 78,8 = 841,58 \text{ м}^3,$$

де S – поперечна площа платформи.

Варіант 2. З монолітного залізобетону опорами колового окреслення

1. Проходження тунелю способом суцільного забою (ліва та права виробки під стіни):

$$V_1 = 2 \cdot S \cdot L_{\text{пл}} = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot 4,5^2}{4} \cdot 78,8 = 2505,24 \text{ м}^3.$$

де S – площа розробки ґрунту під одну стіну.

2. Спорудження залізобетонних опор склепіння:

$$V_2 = 2 \cdot S \cdot L_{\text{пл}} = 2 \cdot 10,92 \cdot 78,8 = 1721 \text{ м}^3.$$

де S – площа залізобетону.

3. Проходження калотного прорізу станції:

$$V_3 = L_{\text{к}} \cdot h_{\text{к}} \cdot L_{\text{пл}} = 25,1 \cdot 2 \cdot 78,8 = 3955,76 \text{ м}^3,$$

де $L_{\text{к}}$ – довжина калоти, $h_{\text{к}}$ – висота калоти.

4. Зведення склепіння:

$$V_4 = \left(\left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot \frac{\alpha}{360} \right) \cdot L_{\text{пл}} = \left(\left(\frac{3,14 \cdot 21,09^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 19,89^2}{4} \right) \cdot \frac{143}{360} \right) \cdot 78,8 = 1186,34 \text{ м}^3,$$

де α – кут спорудженої оправи.

5. Розробка ядра і лоткової частини:

$$V_5 = (S - L_{\text{к}} \cdot h_{\text{к}}) \cdot L_{\text{пл}} = (180,18 - 25,1 \cdot 2) \cdot 78,8 = 10242,42 \text{ м}^3,$$

де S – площа розробки ґрунту з урахуванням калотного прорізу.

6. Влаштування зворотного склепіння:

- оправа зворотного склепіння:

$$V_{61} = \left(\left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot \frac{\alpha}{360} \right) \cdot L_{\text{пл}} = \left(\left(\frac{3,14 \cdot 31,99^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 31,19^2}{4} \right) \cdot \frac{66}{360} \right) \cdot 78,8 = 562,78 \text{ м}^3,$$

де α – кут спорудженої оправи,

- бетонування під платформою:

$$V_{62} = S \cdot L_{\text{пл}} = 16,35 \cdot 78,8 = 1288,38 \text{ м}^3,$$

де S – площа бетонування,

$$V_6 = V_{61} + V_{62} = 562,78 + 1288,38 = 1851,16 \text{ м}^3.$$

7. Влаштування колійних стін:

$$V_7 = 2 \cdot S \cdot L_{\text{пл}} = 2 \cdot 1,3 \cdot 78,8 = 204,88 \text{ м}^3,$$

де S – поперечна площа однієї стіни.

8. Влаштування платформи:

$$V_8 = S \cdot L_{\text{пл}} = 10,68 \cdot 78,8 = 841,58 \text{ м}^3,$$

де S – поперечна площа платформи.

Варіант 3. З опорами трикутного окреслення (рис. 2.2).

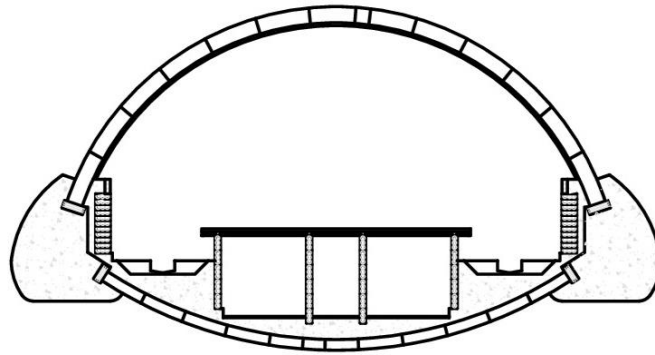


Рисунок 2.2 – Варіант 3

1. Проходження лівого та правого опорних тунелів:

$$V_1 = 2 \cdot S \cdot L_{\text{пл}} = 2 \cdot 11,2 \cdot 78,8 = 1765,12 \text{ м}^3.$$

де S – площа розробки ґрунту однієї опори.

2. Спорудження залізобетонних опор склепіння:

$$V_2 = 2 \cdot S \cdot L_{\text{пл}} = 2 \cdot 9,06 \cdot 78,8 = 1427,85 \text{ м}^3,$$

де S – площа залізобетону.

3. Проходження калотного прорізу станції:

$$V_3 = L_{\text{к}} \cdot h_{\text{к}} \cdot L_{\text{пл}} = 25,1 \cdot 2 \cdot 78,8 = 3955,76 \text{ м}^3,$$

де $L_{\text{к}}$ – довжина калоти, $h_{\text{к}}$ – висота калоти.

4. Зведення збірної склепіння:

$$V_4 = \left(\left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot \frac{\alpha}{360} \right) \cdot L_{\text{пл}} = \left(\left(\frac{3,14 \cdot 21,09^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 19,89^2}{4} \right) \cdot \frac{143}{360} \right) \cdot 78,8 = 1186,34 \text{ м}^3,$$

де α – кут спорудженої оправи.

5. Розробка ядра і лоткової частини:

$$V_5 = (S - L_k \cdot h_k) \cdot L_{пл} = (180,18 - 25,1 \cdot 2) \cdot 78,8 = 10242,42 \text{ м}^3,$$

де S – площа розробки ґрунту з урахуванням калотного прорізу.

6. Влаштування зворотного склепіння:

- оправа зворотного склепіння:

$$V_{61} = \left(\left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot \frac{\alpha}{360} \right) \cdot L_{пл} = \left(\left(\frac{3,14 \cdot 31,99^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 31,19^2}{4} \right) \cdot \frac{66}{360} \right) \cdot 78,8 = 562,78 \text{ м}^3,$$

де α – кут спорудженої оправи,

- бетонування під платформою:

$$V_{62} = S \cdot L_{пл} = 16,35 \cdot 78,8 = 1288,38 \text{ м}^3,$$

де S – площа бетонування,

$$V_6 = V_{61} + V_{62} = 562,78 + 1288,38 = 1851,16 \text{ м}^3.$$

7. Влаштування колійних стін:

$$V_7 = 2 \cdot S \cdot L_{пл} = 2 \cdot 1,3 \cdot 78,8 = 204,88 \text{ м}^3,$$

де S – поперечна площа однієї стіни.

8. Влаштування платформи:

$$V_8 = S \cdot L_{пл} = 10,68 \cdot 78,8 = 841,58 \text{ м}^3,$$

де S – поперечна площа платформи.

2.3 Техніко-економічне обґрунтування варіантів станції

Таблиця 2.1 – Варіант 1

№	Найменування робіт	Шифр	Вимірювач	Об'єм робіт	Трудовитрати, люд.-год	
					На одиницю	На об'єм
1	Проходка тунелю механізованим щитом (лівий та правий опорні тунелі)	29-80-10	100м ³ ґрунту	2505,24	0,42	1052,2
2	Вкладання збірної залізобетонних оправи із блоків (лівий та правий опорні тунелі)	29-126-11	100м ³ 3/б	216,54	15,484	3352,9
3	Влаштування монолітних бетонних опор з пересувною металевою опалубкою	29-114-4	100м ³ 3/б	1427,85	6,905	9859,3
4	Розробка калоти шириною більше 9 метрів	29-50-7	100м ³ ґрунту	3955,76	13,193	52188,34
5	Зведення збірних залізобетонних склепінь	29-107-4	100м ³ 3/б	1186,34	21,488	25492,07
6	Розробка середньої штроси (ядро) і лоткової частини.	29-52-5	100м ³ ґрунту	10242,42	4,977	50976,52
7	Влаштування збірних залізобетонних зворотних склепінь.	29-109-2	100м ³ 3/б	1851,16	5,925	10968,12
8	Влаштування колійних стін	29-155-1	100м ³ 3/б	204,88	13,003	2664,05
9	Влаштування платформи	29-153-2	100м ³ 3/б	841,58	12,277	10332,07
Всього:					166885,57	

Таблиця 2.2 – Варіант 2

№	Найменування робіт	Шифр	Од. виміру	Об'єм робіт	Трудовитрати, люд.-год	
					На одиницю	На об'єм
1	Проходження тунелю способом суцільного забою (ліва та права виробки під стіни)	29-70-12	100м ³ ґрунту	2505,24	6,2094	15556,037
2	Вкладання збірної залізобетонних оправи із блоків (лівий та правий опорні тунелі)	29-110-9	100м ³ 3/6	1721	6,905	11883,5
3	Розробка калоти шириною 9 метрів	29-50-7	100м ³ ґрунту	3955,76	13,193	52188,341
4	Влаштування збірних залізобетонних склепінь	29-107-4	100м ³ 3/6	1186,34	21,488	25492,074
5	Розробка середньої штроси (ядро) і лоткової частини	29-52-5	100м ³ ґрунту	10242,42	4,977	50976,524
6	Влаштування монолітних бетонних лотоків	29-109-2	100м ³ 3/6	1851,16	5,925	10968,123
7	Влаштування колійних стін	29-155-1	100м ³ 3/6	204,88	13,003	2664,054
8	Влаштування платформи	29-153-2	100м ³ 3/6	851,58	12,277	10454,847
Всього:					180183,5	

Таблиця 2.3 – Варіант 3

№	Найменування робіт	Шифр	Од. виміру	Об'єм робіт	Трудовитрати, люд.-год	
					На одиницю	На об'єм
1	Проходження тунелю способом суцільного забою (ліва та права виробки під стіни)	29-80-10	м ³	1765,12	6,2094	10960,336
2	Вкладання збірної залізобетонних оправи із блоків (лівий та правий опорні тунелі)	29-114-4	м ³	1427,85	6,905	9859,304
3	Розробка калоти шириною 9 метрів	29-50-7	м ³	3955,76	13,193	52188,341
4	Влаштування збірних залізобетонних склепінь	29-107-4	м ³	1186,34	21,488	25492,073
5	Розробка середньої штроси (ядро) і лоткової частини	29-52-5	м ³	10242,42	4,977	50976,524
6	Влаштування монолітних бетонних лотокінь	29-109-2	м ³	1851,16	5,925	10968,123
7	Влаштування колійних стін	29-155-1	м ³	204,88	13,003	2664,054
8	Влаштування платформи	29-153-2	м ³	851,58	12,277	10454,847
Всього:					173563,602	

На основі техніко-економічного порівняння обираємо варіант №1, оскільки трудовитрати на його спорудження є мінімальними, також цей варіант задовольняє інженерно-геологічні умови.

3 РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАНЦІЙНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

3.1 Визначення навантаження на оправу станції

Визначення навантажень, які діють на оправу станції, є однією з основних частин статичного розрахунку [7, 10]. Уже під час вибору варіантів необхідно визначити величину навантажень від гірського тиску для кожного варіанта станції, оскільки це суттєво впливає на вибір її типу [11, 12]. Станція розташована в масиві міцних скельних порід, навантаження на оправу необхідно визначати на основі гіпотези проф. М. М. Протод'яконова (рис. 3.1).

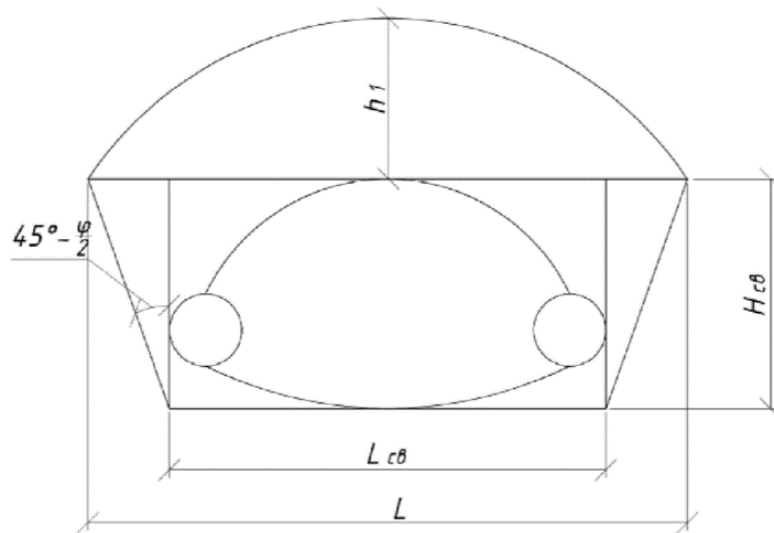


Рисунок 3.1 – Схема визначення вертикального навантаження на станцію односклепінчастого типу

$$h_{cb} = 24,22$$

$$H_{cb} = 12,725$$

$$\varphi = 82^\circ$$

$$L = L_{cb} + 2 \cdot H_{cb} \cdot \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) = 24,22 + 2 \cdot 12,725 \cdot \operatorname{tg} \left(45 - \frac{82}{2} \right) = 26 \text{ м},$$

$$h_1 = \frac{L}{2 \cdot f} = \frac{26}{2 \cdot 10} = 1,3 \text{ м},$$

$$q_B^H = \gamma \cdot h_1 = 25 \cdot 1,3 = 32,5 \text{ кН/м}^2,$$

де h_1 і L – відповідно висота і ширина склепіння обвалення,

f – коефіцієнт міцності породи за проф. М. М. Протод'яконовим,

$L_{\text{св}}$ і $H_{\text{св}}$ – відповідно ширина і висота станційної конструкції у світлі (рис. Рис 4.1),

φ – кут тертя ґрунту.

Відповідно до вимог ДБН [8] у розрахунку оправи за несучою здатністю величину розрахункових навантажень визначають шляхом множення нормативних навантажень (рис. 3.2) на коефіцієнт перевантаження n :

$$q_B^p = n \cdot q_B^H = 1,5 \cdot 32,5 = 48,75 \text{ кН/м}^2,$$

$$n = 1,5$$

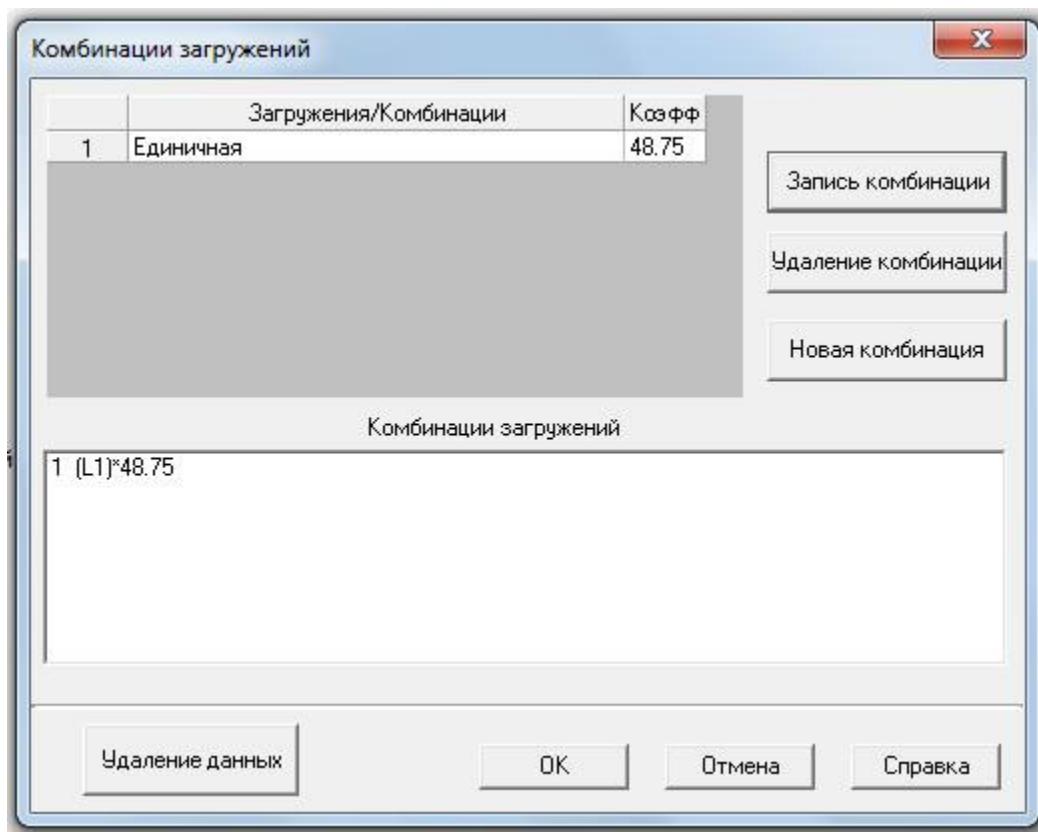


Рисунок 3.2 – Присвоєння розподіленого навантаження в SCAD

3.2 Розрахунок станційної конструкції методом скінченних елементів

Площа еквівалентного стержня F , який відображає пружні властивості ґрунту [13-15]:

$$F = \frac{k \cdot l}{E \cdot n} = \frac{150\,000\,000 \cdot 1}{3\,250\,000 \cdot 8} = 5,769 \text{ м}^2,$$

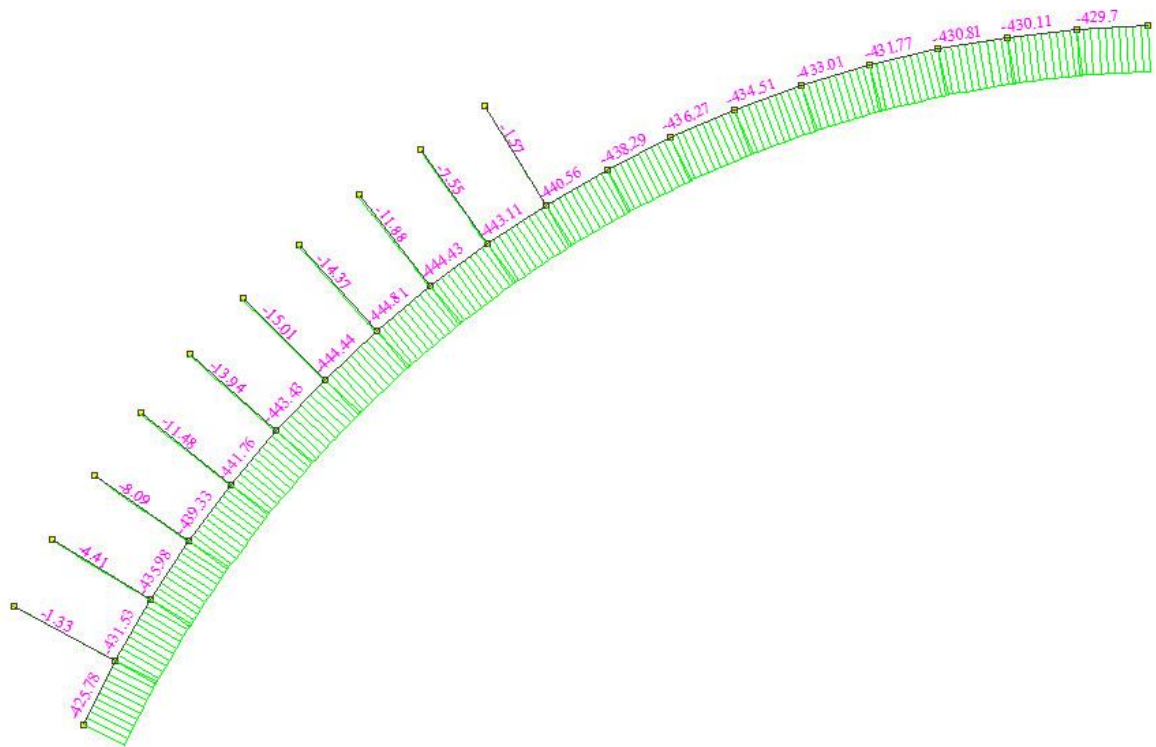


Рисунок 3.4 – Епюра нормальних сил (максимальна – 444,81 кН)

3.3 Перевірка оправи на міцність

Перед перевіркою оправи на міцність слід виконати її армування, виходячи із правила симетричного армування блока, тобто розміщення однакової кількості арматури в розтягнутій та стиснутій зонах. Таке розміщення пояснюється тим, що нормальний блок або тюбінг може бути змонтований у зоні як від'ємних, так і додатних моментів [7].

Для поздовжньої робочої арматури потрібно застосовувати стержні діаметром не менше 12 мм і не більше 40 мм. Мінімальна відстань у світлі між стержнями арматури повинна бути не менша діаметра стержня і не менша 25 мм. Згідно з правилами коефіцієнт армування повинен складати $\alpha = 1,5 \dots 3\%$, поперечного перерізу блока A_b .

1. Площа поперечного перерізу блока:

$$A_b = b \cdot h = 0,5 \cdot 0,75 = 0,375 \text{ м}^2,$$

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

2. Попереднє визначення площі арматури:

$$A_s^{\text{сум}} = \mu \cdot A_b = 0,015 \cdot 0,375 = 0,005628 \text{ м}^2.$$

3. Площа поперечного перерізу одного стержня діаметром 24 мм становить:

$$A_{1\text{ст}} = \pi \cdot r_{\text{ст}}^2 = 3,14 \cdot 0,011^2 = 0,00038 \text{ м}^2,$$

де $r_{\text{ст}}^2$ – радіус стержня.

4. Визначення кількості стержнів робочої арматури:

$$n = \frac{A_s^{\text{сум}}}{A_{1\text{ст}}} = \frac{0,005628}{0,00038} = 14,81 \approx 16 \text{ шт.}$$

5. Фактична площа арматури становить:

$$A_s^{\text{факт}} = n \cdot A_{1\text{ст}} = 16 \cdot 0,00038 = 0,00608 \text{ м}^2.$$

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

$$A_s = A'_s = \frac{A_s^{\text{факт}}}{2} = \frac{0,00608}{2} = 0,00304 \text{ м}^2.$$

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

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{84,4}{444,81} = 0,1897 \text{ м.}$$

8. Перевірка блоків на міцність:

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

де N – поздовжня сила в перерізі, який перевіряється, e – ексцентриситет нормальної сили N відносно центру розтягнутої арматури для блока: $e = e_0 + \frac{h}{2} - a = 0,1897 + \frac{0,5}{2} - 0,051 = 0,1797$ м, де $a = a'$ – сума товщини захисного шару та половини діаметру стержня арматури, R_b – розрахунковий опір бетону на стиск, x – висота стиснутої зони бетону: $x = \frac{N}{R_b \cdot b} = \frac{444,81}{17000 \cdot 0,5} = 0,0523$ м,

h_0 – висота перерізу від верхньої фібри до центру стержня розтягнутої арматури, R_{sc} – розрахунковий опір арматури на стиск, A'_s – площа стиснутої арматури, a' – сумарна відстань від верхньої фібри до центру стержня стиснутої арматури.

Усі геометричні характеристики і параметри наведені на рис. 3.5.

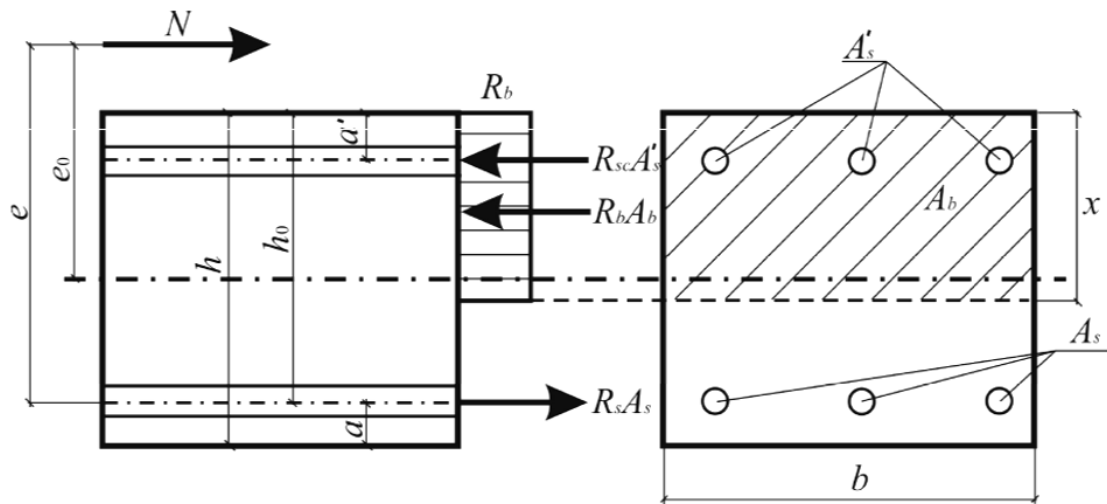


Рисунок 3.5 – Схема позначень розрахунку на міцність для блока

Отже,

$$\begin{aligned}
 N \cdot e &= 444,81 \cdot 0,1797 = 79,93 \text{ кН} \cdot \text{м}, \\
 R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 \cdot a') &= 17000 \cdot 0,5 \cdot 0,0523 \cdot (0,5 - 0,5 \cdot 0,0523) + \\
 &365000 \cdot 0,00684 \cdot (0,5 \cdot 0,051) = 847,28 \text{ кН} \cdot \text{м}. \\
 79,93 \text{ кН} \cdot \text{м} &\leq 847,28 \text{ кН} \cdot \text{м}.
 \end{aligned}$$

Умова виконана, запас міцності 10,6 разів.

4 СПОРУДЖЕННЯ ОДНОСКЛЕПІНЧАСТОЇ СТАНЦІЇ ГЛИБОКОГО ЗАКЛАДЕННЯ ГІРНИЧИМ СПОСОБОМ

Односклепінчасті станції широко поширені на метрополітенах миру в основному при закладанні в напівскельних і скельних ґрунтах [16, 17]. Через великий проліт станційного тунелю його споруджують гірським способом з розкриттям виробки по частинах. Залежно від інженерно-геологічних умов і конструктивних особливостей оправи використовують схему уступного способу або способу опорного ядра. Для тимчасового кріплення застосовують металеві арки, анкери або набризк-бетон.

У міцних малотріщинуватих скельних ґрунтах постійну оправу станції виконують у вигляді комбінованого кріплення з набризк-бетону, залізобетонних або полімерних анкерів і сталевих арок. З метою гідроізоляції і для поліпшення естетичного сприйняття станційного тунелю зал станції перекривають самонесучим склепінням із збірних полімерних елементів, конструктивно не пов'язаних з комбінованою оправою.

Односклепінчасту станцію з оправою з монолітного бетону або залізобетону доцільно споруджувати способом опорного ядра (рис. 4.1).

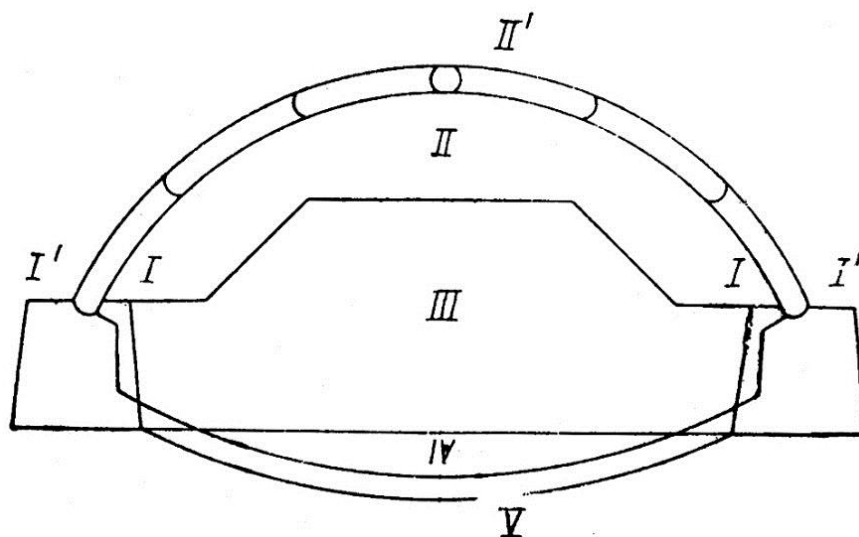


Рисунок 4.1 – Спорудження односклепінчастої станції
із трапецієвидними опорами способом опорного ядра

Технологія спорудження таким способом складається з наступних основних етапів (рис. 4.2): 1 – проходка опорних тунелів; 2 – спорудження опор склепіння; 3 – проходка калотного прорізу із зведенням збірного склепіння; 4 – розробка ядра; 5 – спорудження зворотного склепіння.

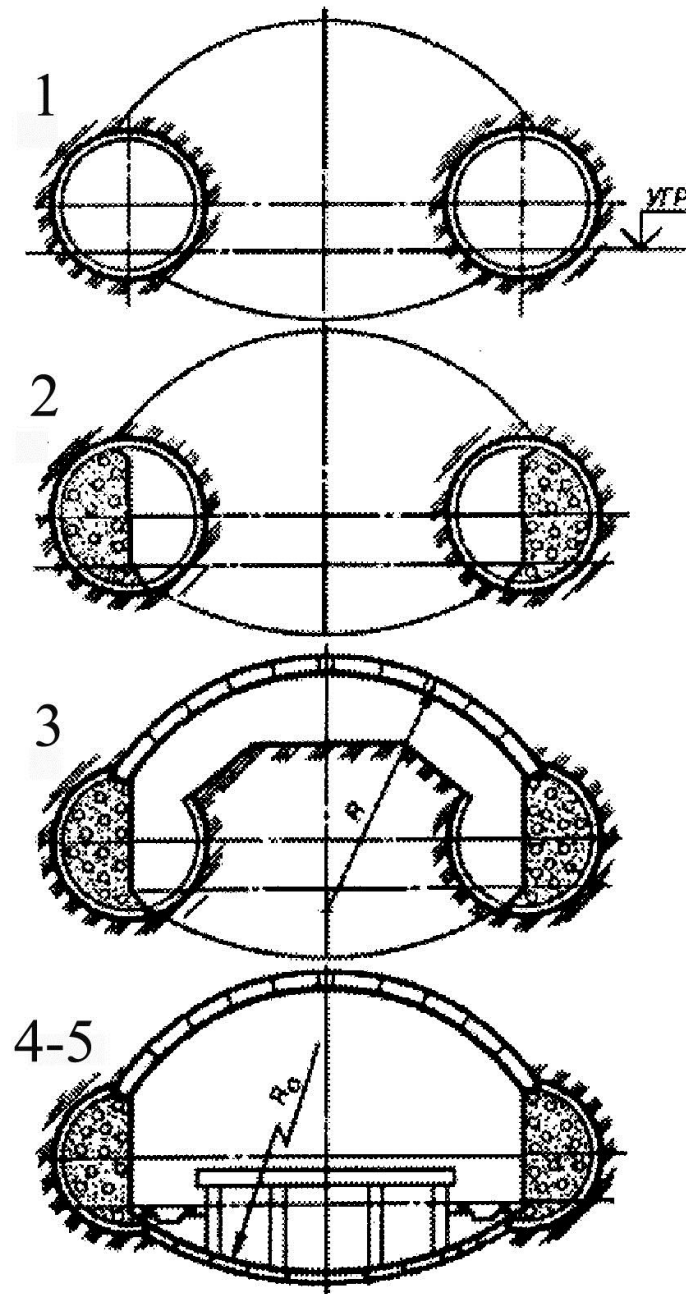


Рисунок 4.2 – Спорудження односклепінчастої станції із круговими опорами способом опорного ядра

На першому етапі спорудження станції – проходці опорних тунелів – можливі різні варіанти виробництва робіт. Так, при круговому контурі опорних

тунелів із збірною оправою їх проходку можна вести за допомогою тьюбінго-або блокоукладальника. Перші кільця опорних тунелів розкривають з штольні, пройденої від стовбура.

Інший варіант проходки опорних тунелів можливий в разі, коли контур і розміри опорних тунелів станції не співпадають з перегінними. В цьому випадку слід розглянути варіант проходки опорних тунелів гірським способом з механізованою розробкою ґрунту комбайнами із стріловидним виконавчим органом (типу 4ПП-2 або ГПКС). Такими комбайнами можна пройти виробки різної форми – від прямокутної і трапецеїдальної до арочної і круглої – з розмірами перетинів від 6...8 до 25...36 м² при роботі з одного положення комбайна. Вартість проходки комбайном дешевша, ніж механізованим щитовим комплексом. Комбайн протягом декількох змін може бути змонтований в підхідному виробленні поблизу опорного тунелю, при цьому не потрібні пристрій яких-небудь спеціальних камер. Безщитова механізована розробка породи добре поєднується з улаштуванням тимчасового кріплення з набризк-бетону. Володіючи технологічними і техніко-економічними перевагами, таке кріплення завтовшки до 10...15 см забезпечує надійну стійкість виробки до зведення в ній бетонних опор.

Після проходки опорних тунелів приступають до другого етапу робіт – зведенню опор склепіння. Опори склепіння бетонують за допомогою комплексу пересувної металевої опалубки «на себе». Бетон за опалубку подають бетононасосом або пневмобетоноукладальником по бетоноводам. Перед бетонуванням кожної заходки повинні бути встановлені арматурні сітки і закладні елементи в стіні майбутньої опори. Вслід за бетонуванням опори до закладних елементів прикріплюють консолі-кронштейни з двотаврів, на яких вмонтовується шлях для механізованого агрегату або блокоукладальника і кран-балки. Стійкий темп бетонування опор, розташованих в тунелі кругового контуру діаметром 5,5 м, складає 50...60 м в місяць.

Найвідповідальнішим є третій етап робіт – проходка калотного прорізу із зведенням верхнього склепіння станції. Роботи ведуть в наступному порядку. В

площині стіни торця станції по контуру майбутнього склепіння одночасно з двох сторін з опорних тунелів проходять криволінійну штольню. Розміри штольні визначаються розмірами устаткування, яке вживається для розробки ґрунту в калотному прорізі і зведення верхнього склепіння: при немеханізованій розробці ґрунту в штольні вмонтовують дуговий блокоукладальник, а при механізованій – прохідницький агрегат. Під захистом кріплення штольні зводять перші арки склепіння, потім ведуть проходку калотного прорізу наступаючим забоєм. Після проходки калотного прорізу і споруди склепіння на ділянці завдовжки не менше 25 м споруджують стіну торця станції в межах криволінійної штольні.

При розробці ґрунту вручну (відбійними молотками) забій розробляють від центру до опорних тунелів на заходку, кратну ширині блоку оправи, і закріплюють інвентарним тимчасовим кріпленням. Арки склепіння монтують за допомогою дугового блокоукладальника. Середній темп проходки складає 1 м (дві арки склепіння) в добу.

При механізованій розробці ґрунту використовують спеціальні агрегати, оснащені механізмами як для різання ґрунту, так і для укладання блоків, наприклад, за допомогою механізованого агрегату АМК-1 (рис. 4.3) або АМШ (агрегат механізований шандорний із кріпленням шандорами). Агрегат АМК (агрегат механізований калотний) є криволінійною металевою фермою-блокоукладальником 2, оснащену каретками 3 з робочими органами – фрезами 1. Ферма пересувається по підкранових шляхах, розташованих в опорних тунелях станції. В неробочому положенні фрези розміщуються в габаритах опорних тунелів. На пересувній платформі 6 розташовані пульт управління 4 і нагнітач розчину 5 в плоскі гідравлічні домкрати.

До початку розробки ґрунту калотного прорізу із спеціальних візків 7 розбирають блоки верхньої частини оправи опорних тунелів. Калотний проріз розробляють на висоту $h=3,3$ м заходками $b=0,5$ м (на одну арку склепіння) одночасно обома фрезами з двох сторін в напрямі від опорних тунелів до шелизі склепіння.

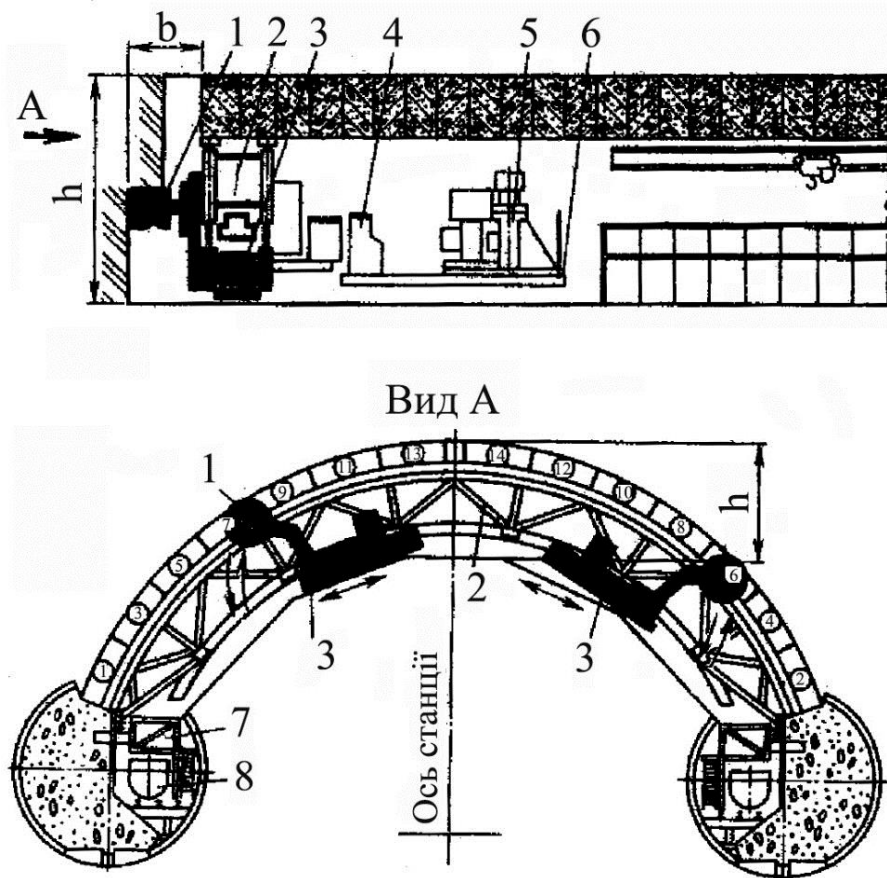


Рисунок 4.3 – Схема проходки калотного прорізу
механізованим агрегатом АМК-1

Після розробки калотного прорізу на одну заходку каретки встановлюють в початкове положення в опорних тунелях і розробляють ґрунт на другу заходку, звільняючи простір для монтажу двох кілець склепіння. Розроблений ґрунт із забою по поперечному транспортеру і лоткам скидають в приймальні бункери в опорних тунелях і вантажать у вагонетки 8.

Роботи по монтажу кожної арки верхнього склепіння починають після пересування блокоукладальника в розроблений простір і його розкріплювання. Блоки подають на блоковозах по одному з опорних тунелів, піднімають і переміщують по рольгангу нижнього поясу укладальника до осі склепіння, звідки підйомним майданчиком подають на верхній монтажний пояс. За допомогою спеціальної каретки блоки по черзі укладають по металевій опорній конструкції управо і вліво, від п'ят зведення до замку. Черговість їх укладання

показана на малюнку цифрами в кружках. Останнім встановлюють замковий блок з двома плоскими гідравлічними домкратами.

Контрольне нагнітання за оправу і чеканку швів виконують з відставанням від забою на 10...15 м.

Після проходки калотного прорізу і спорудження склепіння на ділянці не менше 25 м споруджують стінку торця станції в межах криволінійної штольні.

Четвертий і п'ятий етапи робіт – розробку ядра і спорудження зворотного склепіння станції – виконують по послідовній або паралельній схемі.

При послідовній схемі розробку ґрунту в нижній частині перетину і зведення зворотного склепіння виконують після того, як вже зведене склепіння на всій довжині станції.

При паралельній схемі ґрунт нижньої частини перетину розробляють одночасно із спорудженням верхнього склепіння на відстані 30...40 м від забою калоти (рис. 4.4, а), розбирають блоки оправи опорних тунелів і ведуть монтаж зворотного склепіння (рис. 4.4, б).

Уступ розробляють в два яруси заввишки 3...7 м на ділянці 15...20 м електричним екскаватором, обладнаним зворотною лопатою з ковшем активної дії (з пневматичними зубами). Шар в 20...30 см по підшві зворотного склепіння допрацьовують відбійними молотками. Ґрунт вантажать в бункер транспортера і далі у вагонетки составу, розташованого в опорному тунелі.

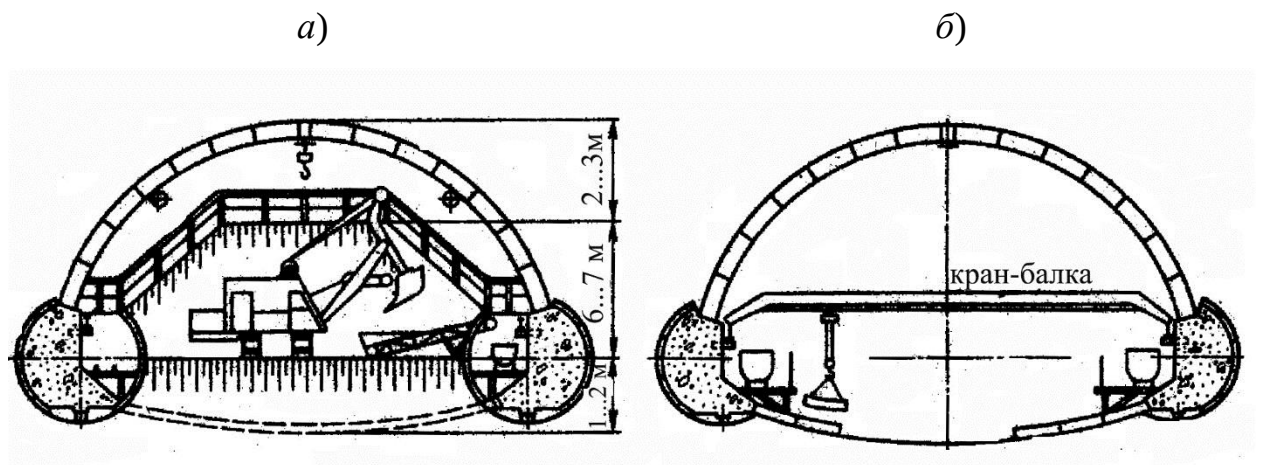


Рисунок 4.4 – Розробка ядра (а) та зведення зворотного склепіння (б)

З незначним відставанням, що забезпечує стійке положення опор, кран-балкою вмонтовують чергову арку зворотного склепіння (рис. 4., б); блоки встановлюють в напрямі від опорних вузлів до центру по черзі з правого і лівого боку і розпирають з середини до опор гідравлічним домкратом типу ДГ-100. Після розтиснення арки встановлюють вкладиші, виймають домкрат і омонолічують стик бетоном В30. Зворотне склепіння також може бути споруджене з монолітного залізобетону або бетону.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Вимоги безпеки праці під час виконання робіт по спорудженню односклепінчастої станції

Під час спорудження односклепінчастої станції використовуються наступні машини, механізми та обладнання:

- бурова установка TAMROCK;
- породонавантажувальна машина;
- тюбінгоукладач ТУ-4ГПБ;
- вентилятор типу ВМ-6м;
- ручні перфоратори ПР-24л;
- тельфери.

Небезпечні фактори під час проведення буровибухових робіт:

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

Шкідливі фактори під час проведення буровибухових робіт при проходці перегінного тунелю: недостатня кількість повітря, шум, концентрація шкідливих газів у повітрі, виділення пилу при бурінні свердловин та підриванні зарядів.

Для даного виду робіт є діючий нормативно-правовий акт з охорони праці НПАОП 0.00-1.66.13 «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення».

Загальні вимоги

До робіт з проходки підземних виробок метрополітену допускаються особи

не молодші 18 років, які пройшли медичне обстеження, навчання по затвердженій програмі та двотижневе стажування під керівництвом досвідченого керівника, склали іспити, отримали відповідне посвідчення на право роботи прохідником і 1 кваліфікаційну групу з електробезпеки.

У період оформлення необхідно отримати ввідний інструктаж для ознайомлення із загальним положенням на новому місці, охороною праці та правилами внутрішнього розпорядку організації НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

Вступний інструктаж проводиться:

- із усіма працівниками, яких приймають на постійну чи тимчасову роботу, незалежно від посади і стажу роботи;
- із працівниками інших організацій, що прибули на підприємство і беруть особисту участь у виробничому процесі;
- з учнями і студентами, що прибули на підприємство для проходження практики;
- з учнями і студентами, що прибули на підприємство на екскурсії.

Первинний інструктаж:

- проводять до початку роботи безпосередньому місці з працівником.

Повторний інструктаж:

- проводять з працівниками на робочому місці в терміни, визначені відповідним діючими галузевими нормами чи актами керівником підприємства з урахуванням умов праці, чи не рідше:

- на роботах з підвищеною небезпекою – 1 раз на три місяці;
- для інших робіт – 1 раз на шість місяців.

Цільовий інструктаж:

- при виконання разових робіт, не передбачених трудовим договором;
- при ліквідації аварії, стихійного лиха;

Знаходитись у підземних виробках дозволяється лише у касці, спецодязі та спецвзутті, передбачених нормами НПАОП 45.2-3.01-04 «Норми безплатної

видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам, зайнятим у будівельному виробництві».

Вимоги безпеки при проходці тунелів покликані убезпечити робітника від небезпечних і зменшити вплив шкідливих факторів.

Після вибуху і провітрювання до початку буріння шпурів забій виробки повинен бути оглянутий представником технічного надзору і приведений в безпечний стан шляхом оборки кривлі, лобу і боків виробки. Одночасно цим підривник повинен перевірити наявність відмов і в випадку їх виявлення прийняти міри для їх ліквідації в відповідності з вимогами діючих єдиних правил безпеки при підривних роботах.

Шпури повинні буритися в строгій відповідності паспорту буровибухових робіт і інструкції по боротьбі з пилом при механічному бурінні шпурів в породах (ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»).

Паспорт БВР повинен складатися начальником ділянки (об'єкта), або керівником БВР, затверджується головним інженером будівництва і узгоджується з гірничотехнічною інспекцією.

Паспорт БВР після його затвердження видається під розписку керівнику буро-вибухових робіт і начальнику ділянки (об'єкта), начальникам змін і гірничим майстрам.

З паспортом БВР повинні бути ознайомлені під розписку всі проходчики і підривники, що працюють в даному забої.

У всіх випадках перед початком вибухових робіт встановлюють межі небезпечної зони, котрі відмічають на місцевості умовними знаками. Перед початком заряджання на межах забороненої (небезпечної) зони повинні бути виставлені пости, які забезпечують її охорону, а люди, котрі не зайняті заряджанням, – виведені в безпечні місця особою технічного надзору або (за його дорученням) підривником. Постовим забороняється доручати роботу, яка не пов'язана з виконанням прямих обов'язків. В небезпечну зону дозволяється прохід осіб технічного надзору організації та працівників контролюючих

органів при наявності зв'язку з керівником вибухових робіт (підрильник) і тільки через пост, по якому виходить підрильник. На підземних роботах на час заряджання допускається заміна постів огорожами з написами, які забороняють вхід в небезпечну зону.

Огорожі повинні виставлятися на відстані, при якій вміст отруйних продуктів вибуху знижується до безпечних концентрацій. Ці відстані визначаються дослідним шляхом на основі результатів відбору проб повітря при максимальній кількості підірваних у забої ВР. Після закінчення вибухових робіт та повного провітрювання виробок вказані огорожі та знаки з написами знімаються.

В підземних виробках заборонена зона визначається розрахунком за дією ударної повітряної хвилі від можливого вибуху найбільшої кількості ВР в зарядній машині або крайній зарядженій свердловині. З урахуванням умов та організації робіт вона повинна складати не менше 50 м. Заборонена зона поширюється на всі виробки, сполучені з місцем розміщення зарядної машини або заряджених свердловин та шпурів. На межах цієї зони з початку заряджання слід виставити пости охорони; у виробках, які ведуть до заряджених свердловин, замість постів можна встановлювати огорожі із забороняючими написами.

При виконанні бурових робіт в забої кожний бурильник повинен бути уважним до різних відхилень від нормального режиму буріння, які можуть свідчити про зміну геологічних та гідрогеологічних умов. До таких відхилень відносяться: збільшення або зниження швидкості буріння; різка зміна зусилля подачі інструменту на забій, часте заклинювання та прихватування бура в шпурі; проскакування бура в порожнини; з'явлення, підсилення або зменшення притоку води із шпурів у виробку; помутніння води або викид із шпуру мулу, піску. При появі таких ознак бригадир прохідників повинен одразу повідомити про це робітнику технічного нагляду (гірському майстру, начальнику зміни, начальнику дільниці).

Бурити шпури в верхній частині забою, знаходячись на підірваній породі

при проходці горизонтальних і похилих виробок, дозволяється:

1) при наявності на виваленій породі вирівняної площадки, забезпечуючи стійке положення проходчика під час буріння;

2) при знаходженні проходчика в процесі буріння поза зоною дії породонавантажувальної машини.

Для захисту очей від попадання дрібних частинок при бурінні проходчики повинні користуватися захисними окулярами.

При забурюванні і бурінні шпурів тримати руками бур, забурник або свердло категорично забороняється (ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації»).

У випадку появи при бурінні ознак, що свідчать про зміни геологічних і гідрогеологічних умов, бригадир зобов'язаний негайно призупинити буріння свердловин і викликати начальника зміни для визначення обставин .

Начальник зміни в цьому випадку зобов'язаний викликати начальника дільниці і прийняти міри по забезпеченню безпеки робіт.

Послідовність проведення вибухових робіт визначена єдиними правилами безпеки, які встановлюють безпечні відстані для людей-підричників 150 м, а при наявності поперечних виробок 30 м.

Вибухові роботи в безпосередній близькості від свіжоукладеного бетону повинні виконуватись не раніше 7 діб після його укладання.

Буріння шпурів на висоті більше 1,5 м від підшви дозволяється проводити тільки з помосту або спеціальними бурильними установками з бурових візків, бурових рам та агрегатів. Буріння шпурів в верхній частині забою із підірваного ґрунту при прохідці горизонтальних і слабонаклонних виробок дозволяється проводити з вирівняної площадки, яка забезпечує стійке положення бурильника під час роботи. Для захисту очей від бурового пилу та від струменю стиснутого повітря при розривах шланга бурильник повинен користуватися захисними окулярами зі склом, яке не б'ється.

ВМ при любых маніпуляціях не повинні підвергатися поштовхам та ударам. Забороняється кидати, волочити, перекачувати, штовхати та ударяти ящики з

ВМ. В процесі роботи з ВМ забороняється палити та проводити будь-які операції з відкритим вогнем ближче 100 м від місця знаходження ВМ. Сірники та інші запалювальні приналежності можуть бути тільки у підрильників, лаборантів та інших осіб, які в процесі роботи виконують запал.

Підготовлених до вибуху зарядів повинно бути стільки, скільки їх буде підірвано за один прийом. Підривання зарядів повинно проводитися негайно після їх підготовки до вибуху. При заряджанні допускається використовувати тільки дерев'яні або алюмінієві забійники. Під час заряджання шпурів глибиною більше 2 м забороняється опускати бойовики на ВШ, ДШ або проводах електродетонатору. Забороняється використовувати в одному шпурі більше одного патрона-бойовика з детонатором. Бойовики повинні вводитися в шпури обережно, без поштовхів. При заряджанні забороняється ущільнювати бойовики, а також проштовхувати їх навіть легкими ударами забійника. Забороняється висмикувати або тягнути ВШ або проводи ЕД, введені в бойовики або заряди. Якщо виїняти застряглий бойовик не представляється можливим, то необхідно зупинити його заряджання та підірвати з іншими зарядами.

В підземних виробках перед заряджанням шпурів виставляються пости охорони в місцях підступів до забою.

Вибухові роботи повинні супроводжуватись звуковими, а в темний час доби – звуковими і світловими сигналами. По першому звуковому сигналу (один тривалий) робочі йдуть з робочої зони в укриття, а підрильники оглядають, заряджають забій і монтують електромережу.

По другому сигналу (два тривалих) підрильник виконує вибух (при вогневому способі), або включає струм. Вхід підрильника в забій для огляду допускається після провітрювання, але не раніше 20...30 хв. після вибуху. По третьому сигналу (три коротких – відбій) робочі допускаються до роботи в забої.

Заряди, що не підірвались, повинні бути ліквідовані майстром підрильником негайно, шляхом підривання додаткових зарядів, що розташовуються в

паралельно вибурених шпурах на відстані не ближче 30 см від того шпуру, що відмовив.

Міри обережності, які пов'язані з застосуванням БВР, вводять з наближенням підривного забою до діючої підземної та наземної споруди на відстані менше 12 м. При цьому переріз споруджуваного тунелю розбивають на три частини, а ділянку тунелю – на окремі зони довжиною від 2,75 до 4 м, для яких розраховують заряди та встановлюють черговість підривання. Кожну частину підривають у три-чотири прийоми з обов'язковим оглядом результатів попереднього вибуху.

Після підбирання порід і провітрювання забій приводять в безпечний стан шляхом обстукування кривлі і боків тунелю.

Для монтажу тюбінгової оправи тунелів повинні застосовуватися механічні укладальники. Монтування збірної оправи іншими засобами забороняється. Забороняється перебувати в зоні обертання важеля укладальника під час його роботи, а також під його рамою при пересуванні укладальника. Присутність у зоні робіт працівників, не пов'язаних безпосередньо з роботою з монтажу оправи, забороняється

Збірка кільця оправи тунелю повинна проводитися з дотриманням таких вимог безпеки:

- монтаж повинен вестися послідовно з обох сторін виробки за спеціально розробленими схемами складання оправи;
- звільнення важеля укладальника і установку наступного елемента збірної оправи допускається проводити тільки після закріплення раніше укладеного елемента;
- при застосуванні оправи на болтових зв'язках тимчасове закріплення елемента має здійснюватися постановкою і затягуванням двох болтів у 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 оправлення; застосування різних стрижнів, відрізків арматури,

дерев'яних штирів забороняється;

- прикріплення блоку до важеля укладальника дозволяється тільки за допомогою захоплення і болтових скріплень;

- залишати елемент оправи на вазі при закінченні роботи або на час перерви забороняється;

- остаточне затягування гайок, заміна болтів і загвинчування пробок в отвори для нагнітання розчину за обробку повинні проводитися з пересувних риштувань або чеканочних візків; виконання цих робіт з драбин і оправи забороняється;

- залишення оправлень, пробок, гайок, болтів, шайб, ключів, шматків ґрунту на бортах і ребрах елементів обробки, а також на укладачі забороняється.

- всі робітники повинні забезпечуватися касками

Робоче місце при монтажі збірної оправи повинно мати освітленість не менше 50 лк.

ВИСНОВКИ

1. Провівши аналіз інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов можна зробити висновок, що породи, в яких залягає станція, є міцними $f=7\ldots 10$. Для таких видів порід характерне використання станцій метрополітену односклепінчастого типу.

2. На основі досліджених інженерно-геологічних умов за техніко-економічними показниками можна зробити висновок, що більше підходить варіант №1 (залізобетонні блоки), оскільки трудовитрати на його спорудження є мінімальними, також цей варіант задовольняє інженерно-геологічні умови. Цей же варіант прийнято до статичного розрахунку та розробки технології спорудження.

3. Під час вибору варіантів визначили величину навантажень від гірського тиску для обраного варіанта станції. Визначили розрахункове навантаження на оправу за ДБН на основі гіпотези проф. М. М. Протод'яконова.

4. Проведений розрахунок односклепінчастої станції методом скінченних елементів на основі модифікованого методу Метродіпротрансу. Після виконання розрахунку на міцність можна зробити висновок, що залізобетонний блок витримує навантаження, а запас міцності дорівнює 10,6, що характеризує міцність як високу.

5. Обґрунтовано технологію будівництва спорудження односклепінчастої станції в міцних породах гірничим способом. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Заворицкий, В. И. Проектирование подземных транспортных сооружений [Текст] / В. И. Заворицкий. – Київ : Будівельник, 1975. – 204 с.
2. Лысиков, Б. А. Использование подземного пространства [Текст] / Б. А. Лысиков, А. А. Каплюхин. – Донецк : Вебер, 2008. – 416 с.
3. Айвазов, Ю. М. Проектування метрополітенів (у 3-х частинах). Навчальний посібник. Частина 2 [Текст] / Ю. М. Айвазов. – Київ : НТУ, 2009. – 216 с.
4. Фролов, Ю. С. Метрополитены. Учебник для вузов [Текст] / Ю. С. Фролов, Д. М. Голицынский, А. П. Ледяев. – Москва : Желдориздат, 2001. – 528 с.
5. Гайко, Г. І. Конструкції кріплення підземних споруд: Навчальний посібник [Текст] / Г. І. Гайко. – Алчевськ : ДонДТУ, 2006. – 133 с.
6. Петренко, В. І. Станції метрополітену: конструкції та спорудження [Текст]: навчальний посібник / В. І. Петренко, В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін. – Д.: Вид-во «Нова ідеологія», 2012. – 164 с.
7. Петренко, В. Д. Методичні вказівки до курсового й дипломного проектування «Станція метрополітену глибокого закладення (конструкції та спорудження)» [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, О. Л. Тютюкін, Д. В. Тютюкін. – Д.: Нова ідеологія, 2015. – 30 с.
8. ДБН В.2.3-7-2010. Споруди транспорту. Метрополітени [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 195 с.
9. ДСТУ Б Д.2.2-29:2012 Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Тунелі та метрополітени (Збірник 29) (ДБН Д.2.2-29-99, MOD) [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. – 271 с.
10. 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.
11. Гарбер, В. А. Научные основы проектирования тоннельных

конструкций с учетом технологии их сооружения. В 2-х томах [Текст] / В. А. Гарбер. – Москва : АО ЦНИИС, 1996, т.1. – 170 с.

12. Макаров, О. М. Транспортные тоннели и метрополитены [Текст] / О. М. Макаров, В. Е. Меркин. – Москва : ТИМР, 1991. – 171 с.

13. 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.

14. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Киев : Сталь, 2002. – 600 с.

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

16. 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.

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