

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

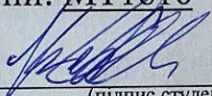
Факультет «Будівництво, архітектура та інфраструктура»
(назва факультету/ННЦ)

«Транспортна інфраструктура»
(повна назва кафедри)

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

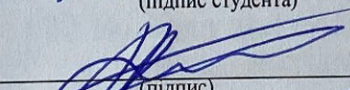
на тему: Обґрунтування технології спорудження станції пілонного типу
в слабких глинястих породах
за освітньою програмою «Мости і транспортні тунелі»
зі спеціальності: 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: МТ1816


(підпис студента)

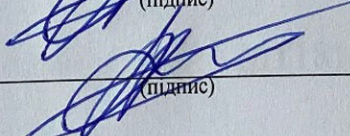
/ Артем КЛИМЧУК /
(Ім'я ПІРІЗВИЩЕ)

Керівник:


(підпис)

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

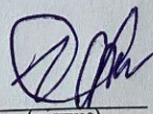
Нормоконтролер:


(підпис)

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

Консультант:

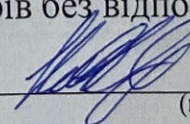
Охорона праці та безпека в
надзвичайних ситуаціях
(назва розділу)


(підпис)

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

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

Студент


(підпис)

ЗАЯВА

Я, Киличук Артем Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

студента(ки) групи МТ1816 факультет «БАІ»

спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

(код та назва спеціальності)

освітньої програми «Мости і транспортні тунелі»

(назва освітньої програми)

освітнього ступеня Бакалавр

(бакалавр, магістр)

заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:

Структурна технологія спорудження
станції пілонного типу

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання. Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомлений(а) з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

Студент(ка)



(підпис)

Артем Киличук

(прізвище, ім'я, по батькові)

Дата 19.06.2023

Керівник ВКР



(підпис)

Олександр Радим

(прізвище, ім'я, по батькові)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій
Кафедра «Транспортна інфраструктура»

ДОВІДКА

про відсутність плагіату у випускній кваліфікаційній роботі

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

Клишук Арсена Сергійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: Обґрунтування технології
спрощення станції поїзтів типу
в слабких місцях мережі

в роботі не виявлено порушень академічної доброчесності.

Керівник ВКР


(підпис)

Олександр Різник

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

Building, architecture and infrastructure

(faculty/TRC)

Transport infrastructure

(department)

Explanatory Note
to Master's Thesis

Bachelor

(higher education degree)

on the topic: Substantiation of the construction technology

of a pylon-type station in weak clays

according to educational curriculum Bridges and vehicular traffic tunnels

in the Specialization: 192 Building and civil engineering

(Specialization and its code)

Done by the student of the group: MT1816

/ Artem KLYMCHUK /

(name, surname)

Scientific Supervisor:

/ Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /

(position, name, surname)

Normative controller :

/ Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /

(position, name, surname)

Supervisor

Occupational health

and safety in emergencies

(Chapter title heading)

/ Head of Dept. Oleh SABLIN /

(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Будівництво, архітектура та інфраструктура»

Кафедра: «Транспортна інфраструктура»

Рівень вищої освіти: «Бакалавр»

Освітня програма: «Мости і транспортні тунелі»

Спеціальність: 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортна інфраструктура»

Олексій ТЮТКІН

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата _____

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ОС «бакалавр»

(ступінь вищої освіти)

студенту Климчуку Артему Сергійовичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування технології спорудження станції пілонного типу в слабких глинястих породах

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

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

затверджені наказом від «13» лютого 2023 р. № 157ст

2. Строк подання студентом роботи: «26» червня 2023 р.

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

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

Вступ. Розділ 1. Інженерно-геологічні умови будівництва. Розділ 2. Варіанти станції пілонного типу та техніко-економічне порівняння. Розділ 3. Статичний розрахунок станційної конструкції. Розділ 4. Технологія спорудження станції пілонного типу в слабких глинястих породах. Розділ 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

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

Лист 1. Конструкція станції пілонного типу із залізобетонною оправою. Лист 2. Конструкція станції пілонного типу із чавунних тюбінгів. Лист 3. Технологія проходки пілот-тунелю. Лист 4. Технологія спорудження пілонів та проходів.

6. Консультанти розділів роботи:

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Розділ 1. Інженерно-геологічні умови будівництва. Розділ 2. Варіанти станції пілонного типу та техніко-економічне порівняння.	01.05.2023 – 07.05.2023	
2	Розділ 3. Статичний розрахунок станційної конструкції.	22.05.2023 – 28.05.2023	
3	Розділ 4. Технологія спорудження станції пілонного типу в слабких глинястих породах. Розділ 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Оформлення ВКР.	12.06.2023 – 18.06.2023	
4	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	19.06.2023 – 25.06.2023	
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	26.06.2023	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	27.06.2023 – 30.06.2023	

Студент

(підпис)

Артем КЛИМЧУК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Олексій ТЮТЬКІН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:

47 стор., 16 рис., 2 табл., 15 літературних джерел.

Об'єкт розробки – станція пілонного типу.

Мета роботи – обґрунтування технології спорудження станції пілонного типу в слабких глинястих породах.

Метод дослідження – метод скінченних елементів.

В бакалаврській роботі виконано аналіз інженерно-геологічних умов будівництва. Проведене варіантне проєктування станції пілонного типу глибокого закладення та виконане техніко-економічне порівняння.

Визначено навантаження на оправу пілонної станції. Проведений статичний розрахунок станційної конструкції методом скінченних елементів. Обґрунтовано параметри міцності конструктивного елементу станційного тунелю (чавунний тюбінг).

Обґрунтовано технологію спорудження станції пілонного типу в слабких глинястих породах. Розроблені основні положення спорудження пілонної станції методом пілот-тунелю та алгоритм технології спорудження пілонів та проходів. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: МЕТРОПОЛІТЕН, ПІЛОННА СТАНЦІЯ, ГЛИНЯСТИЙ ГРУНТ, СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ТЕХНОЛОГІЯ СПОРУДЖЕННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ БУДІВНИЦТВА.....	9
РОЗДІЛ 2 ВАРІАНТИ СТАНЦІЇ ПІЛОННОГО ТИПУ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ.....	11
2.1 Конструкції пілонної станції.....	11
2.2. Визначення основних розмірів станції	12
2.3 Розрахунок об'ємів робіт зі спорудження пілонної станції.....	15
2.4 Техніко-економічне порівняння варіантів.....	17
РОЗДІЛ 3 СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК СТАНЦІЙНОЇ КОНСТРУКЦІЇ.....	19
3.1 Основні положення статичного розрахунку станцій.....	19
3.2 Визначення навантаження на оправу пілонної станції	23
3.3 Статичний розрахунок методом скінченних елементів	24
3.4 Перевірка на міцність оправи з чавуну.....	27
РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЯ СПОРУДЖЕННЯ СТАНЦІЇ ПІЛОННОГО ТИПУ В СЛАБКИХ ГЛИНЯСТИХ ПОРОДАХ	28
4.1 Основні положення спорудження пілонної станції методом пілот-тунелю	28
4.2 Технологія спорудження пілонів та проходів.....	32
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	39
5.1 Загальні положення охорони праці	39
5.2 Вимоги безпеки при проходці тунелів механізованими щитами.....	40
5.3 Вимоги безпеки під час навантаження породи	41
5.4 Вимоги безпеки під час монтажу збірної оправи	42
ВИСНОВКИ.....	45
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	46

ВСТУП

Спорудження станцій метрополітену глибокого закладення будь-якої конструкції є складним, відповідальним та технологічно навантаженим процесом. Аналіз способів спорудження підземних об'єктів свідчить про те, що саме станційні комплекси, в які входить сама станція метрополітену та допоміжні споруди, потребують максимальних трудовитрат та прямих капіталовкладень.

Ситуація, що склалася, є об'єктивною, оскільки станції глибокого закладення представляють собою просторові конструкції, що мають достатню протяжність та значний (більше 6 метрів) переріз підземних виробок. Станція пілонного типу, що характерна для слабких порід (супіски, суглинки, глини), на відміну від односклепінчастої та колонної, є найбільш складною в плані архітектурно-конструктивного розташування.

Відомо, що пілонна станція складається з трьох паралельних тунелів діаметру 8,5 метрів (рідше 9,5 метрів), що розташовані на деякій відстані і розділені між собою системою ціликів, в яких є проходи для пасажирів. Відповідно, станція має дві «глухі» ділянки, в яких немає проходів (пройомів), та пройомну частину. Така структурна неоднорідність в плані може призвести до нерівномірного деформування, яке має негативний ефект.

Слід відмітити, що в слабких породах рівень деформування, а також формування напруженого стану, характеризується високим рівнем інтенсифікації. Причому відмічаються значні зміни напружень та переміщень під час спорудження, особливо на етапі відкриття проходів, та в експлуатаційному стані. Додаткове деформування можливе також по причині особливих впливів (пучіння глинястих порід, динаміка потягу тощо).

Таким чином, проєктування конструкції пілонної станції є відповідальним етапом створення цього підземного об'єкту. Вибір матеріалу оправи та її геометричних розмірів повинен базуватися на аналізі інженерно-геологічних умов, а також на прогнозуванні можливих змін під час експлуатації.

Основними матеріалами для оправи пілонної станції глибокого закладення є збірні залізобетон (блоки) та чавун (тюбінги). З огляду на те, що закладення такого типу станцій частіш усього відбувається в слабких та водонасичених ґрунтах, з наявним рівнем ненапірних або напірних підземних вод, то застосування чавуну як конструкційного матеріалу є обґрунтованим, навіть якщо техніко-економічне порівняння доводить ефективність залізобетону. Це пояснюється тим, що підвищена міцність чавунної оправи зможе витримати не тільки гірський тиск глинястих порід, що сформувався та розповсюдився під час спорудження на поверхні оправи, а й його зміну після спорудження. Зростання гірського тиску можливе по причині повзучості глинястих порід, їх розмокання та здимання.

Під час розрахунку станцій пілонного типу можна застосувати існуючі плоскі схеми або, скоригувавши них, застосувати схему методу скінченних елементів. Це дозволить врахувати просторовий фактор роботи оправи в різних частинах конструкції пілонної станції. Отримані силові фактори (нормальні сили та згинальні моменти) та переміщення в скінченно-елементній конструкції відповідають реальній ситуації деформування пілонної станції.

Таким чином, метою випускної кваліфікаційної роботи є обґрунтування технології спорудження станції пілонного типу в слабких глинястих породах, причому застосований метод пілот-тунелю та технологічні основи алгоритму спорудження проходів показують ефективність загального процесу зведення станційної конструкції.

РОЗДІЛ 1

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ БУДІВНИЦТВА

В ході інженерно-геологічних вишукувань основний обсяг досліджень припадає на буріння розвідувальних свердловин, польові, лабораторні та камеральні роботи [1, 7]. Число і розташування розвідувальних свердловин призначають відповідно до норм на проведення вишукувальних робіт при проєктуванні об'єктів метрополітену. Використовують також матеріали місцевих територіальних вишукувальних організацій, отримані ними раніше в ході виконання бурових робіт в районі розташування траси лінії метрополітену.

Наводять дані про інженерно-геологічні умови будівництва тунельних споруд, фізико-механічні властивості ґрунтів і загальні рекомендації щодо вибору проєктних рішень, в тому числі методів виконання робіт.

Поряд з буровими роботами виконують і геофізичні дослідження, види та обсяги яких визначають у програмі досліджень і коригують у процесі їх виконання. Геофізичні дослідження в певних умовах дозволяють встановити потужність четвертинних відкладень, наявність древніх долин і русел річок, зон вивітрювання, межі мерзлих ґрунтів, умови і розповсюдження підземних вод, напрям і швидкість їх руху і ряд інших чинників. Застосування геофізичних методів часто дозволяє скоротити обсяг трудомістких і дорогих бурових робіт при одночасному досягненні досить точних результатів [8].

На цій стадії уточнюють геологію шахтних стволів, станцій, вестибюлів, ескалаторних тунелів, і вертикальних стволів на лінії метрополітену. З особливою ретельністю вивчають інженерно-геологічні умови в ґрунтовому масиві, безпосередньо навколишньому тунельному спорудженні, з верхньою межею 30...40 м вище споруди та нижньої – 8...10 м нижче його лотка. При відсутності вище спорудження стійких ґрунтів вивченню підлягає вся товща ґрунтів над ним аж до поверхні землі. Більш ретельно проводять в цей період і дослідження підземних вод, встановлюють їх режим і зв'язок з поверхневими водотоками, відкритими водоймами та іншими водоносними горизонтами.

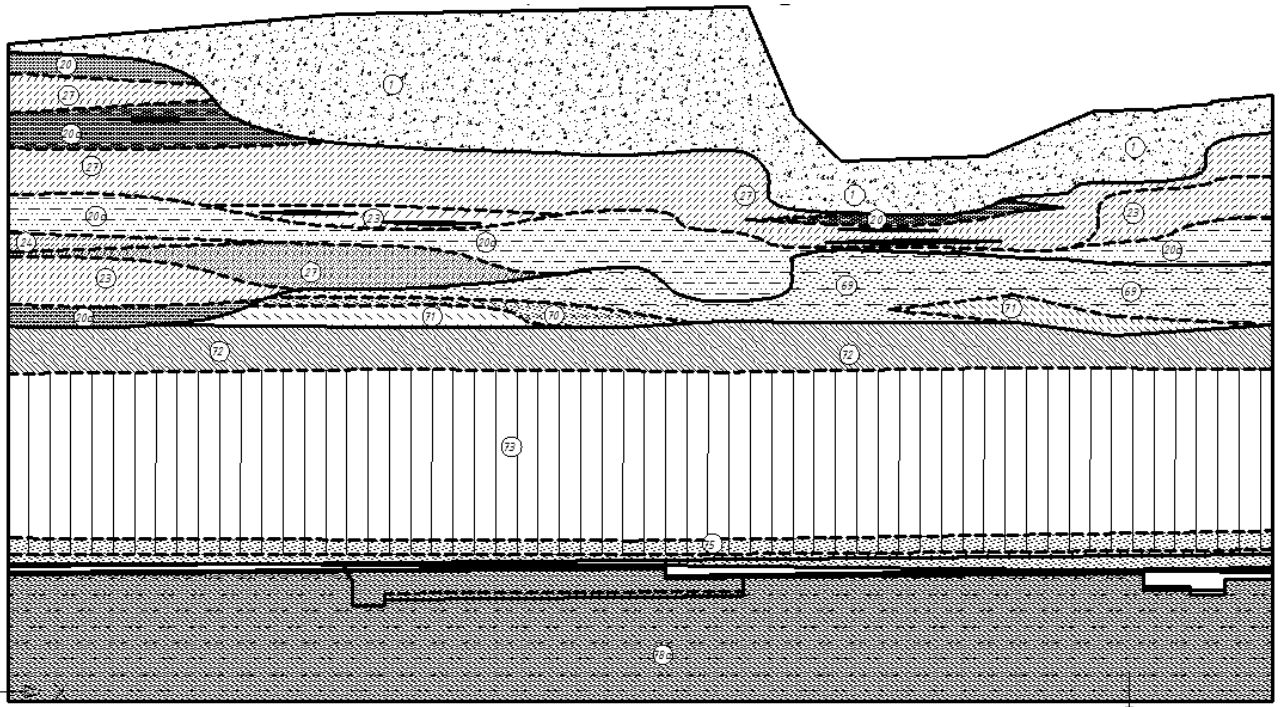


Рисунок 1.1 – Інженерно-геологічні умови будівництва

Станція, що розглядається в випускній кваліфікаційній роботі, перетинає ґрунти з різними фізико-механічними властивостями та вологістю. Так, у верхній частині залягає пісок жовтий темно-коричневий від пилюватого до мілкого (ІГЕ-20 та ІГЕ-20а), озалізнений місцями з прошарками супіску (ІГЕ-27) та суглинку (ІГЕ-23 і ІГЕ-24), маловологий і пухкий в верхній частині шару, та середньої щільності. В середній і нижній частині перерізу залягає суглинок (ІГЕ-71 та ІГЕ-72) та спондилова глина (ІГЕ-73), в якій більшою мірою розташовано станцію пілонного типу.

РОЗДІЛ 2

ВАРІАНТИ СТАНЦІЇ ПІЛОННОГО ТИПУ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ

2.1 Конструкції пілонної станції

Станція пілонного типу являє собою три тунелі, розташовані в одній горизонтальній площині й розділені невеликими масивами ґрунту (ціликами), у яких створюють проходи для виходу на посадочну платформу [10, 13].

Найпоширенішими конструкціями пілонної станції є конструкція із трьох тунелів однакового діаметра (рис. 2.1).

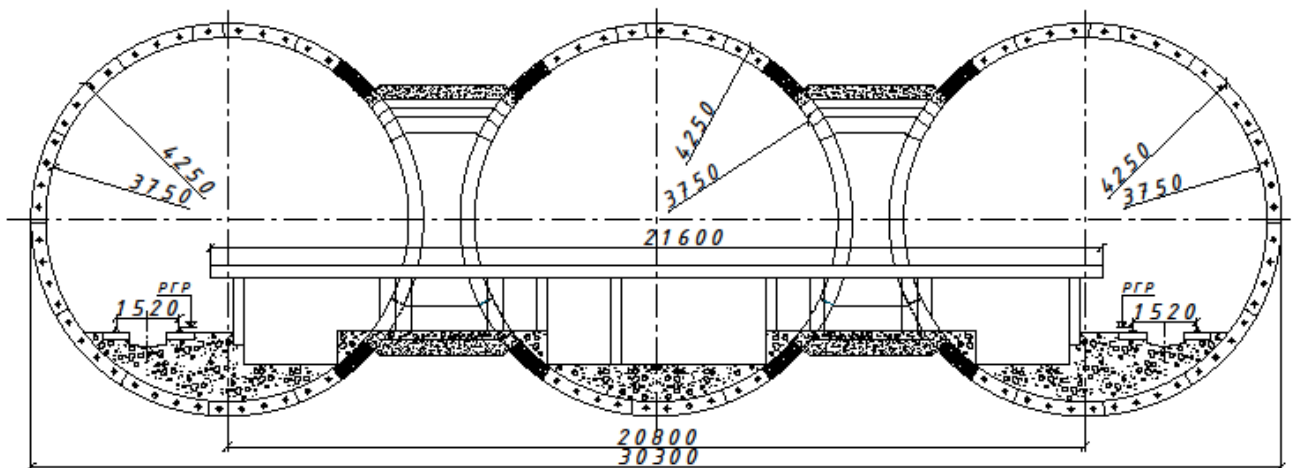


Рисунок 2.1 – Конструкція пілонної станції
із трьох тунелів однакового діаметра

Сполучні проходи між тунелями пілонної станції мають замкнуту бетонну або залізобетонну оправу. Внутрішній контур оправу проходу збігається з контуром отворів у станційній оправі. Влаштовуючи проходи, ґрунтовий цілик між суміжними тунелями у вузьких пілонах ($h_n < 1,5$ м) у скельних ґрунтах і в широких пілонах ($1,5 < h_n < 3$ м) у слабких ґрунтах замінують бетоном. У такому разі оправа стін проходів є загальною для суміжних склепінь. Якщо ґрунт в цілику між станційними тунелями має достатньо високі міцнісні властивості або коли розміри цілика за довжиною станції значні, його замінують залізобетоном, видаляючи з кожної сторони проходу на 0,5...0,6 м.

Пілонні станції в сухих ґрунтах слід проектувати з оправами із залізобетону (рис. 2.2).

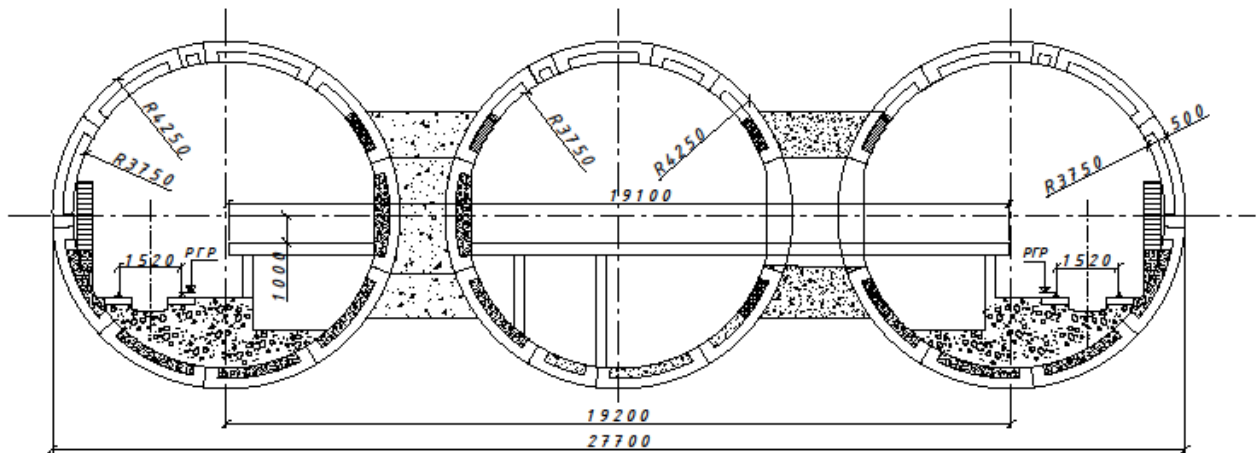


Рисунок 2.2 – Конструкція пілонної станції із залізобетонною оправою

Основним конструктивним елементом станційних тунелів є збірна залізобетонна оправа з кілець діаметром 8,5 м, шириною 0,75 м.

2.2. Визначення основних розмірів станції

Основними розмірами станції є: довжина і ширина посадкових платформ, довжина і ширина середнього залу станції, висота станції, ширина і висота проходів [10, 13].

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

$$L_{\text{пл}} = nl + a = 5 \times 19,2 + 2 = 98 \text{ м}; \text{ Приймаємо } 99 \text{ м}$$

де n – 5 шт., кількість вагонів у поїзді; l – 19,2 м, довжина вагонів між зчепленнями; a – 2 м запас на неточність зупинки поїзда.

Площа платформи визначається з урахуванням кількості пасажирів

$$\omega = n_{\text{пл}} \eta = 638 \times 0,4 = 255,2 ;$$

де $n_{пл}$ – 638 кількість пасажирів на платформі, 13 чол.; η – 0,4 густота заповнення платформи, м²/2 чол.

Кількість пасажирів на платформі:

$$n_{пл} = A\eta k_{пв} = 170 \times 5 \times 0,75 = 637,5 \text{ чол.};$$

де A – розрахункова величина заповнення вагона, $A = 170$ чол.; $k_{пв}$ – 0,75 коефіцієнт посадки-висадки пасажирів (у відсотках відносно загальної кількості пасажирів у поїзді) показує кількість пасажирів, які виконують посадку і висадку, по відношенню до загальної кількості.

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

$$l_p = L - 7 = 99 - 7 = 92 \text{ м.}$$

Необхідна ширина платформи для посадки пасажирів станцій пілонного типу

$$b = \frac{\omega}{l_p} + 0,45 = \frac{255,2}{92} + 0,45 = 3,2 \text{ м.}$$

Мінімальна ширина платформи для посадки пасажирів приймається $b = 3,2$ м. Незалежно від розрахунку мінімальна ширина острівної платформи приймається рівною для пілонних станцій – 10 м. Посадкові пасажирські платформи для глухих ділянок пілонних станцій повинні бути шириною не менше 3,2 м.

Середня зала є самостійним елементом пілонної станції. Мінімальна ширина середньої зали станції повинна становити не менше $\frac{1}{4}$ довжини пасажирської платформи і повинна дозволяти розмістити необхідну кількість проходів між середньою залюю і боковими платформами:

$$m = \frac{60n_{пл}k}{4000b_{пр}t} = \frac{60 \times 638 \times 2}{4000 \times 3 \times 2} = \frac{76560}{24000} = 3,19;$$

де k – коефіцієнт використання проходів, $k = 2$; 4000 – пропускна можливість 1 м ширини проходу при двосторонньому русі, 14 осіб/год.; $b_{пр}$ – ширина проходу, м; t – інтервал між поїздами 3 хв.

Конструктивно приймаємо 5 проходів.

Довжину глухих ділянок пасажирських платформ приймають рівною $1/3L_{пл}$ із можливістю коригування залежно від довжини прорізної ділянки. Глуха ділянка перевіряється за пропускною можливістю одного проходу станції за час між поїздами:

$$l' = \frac{4000k'b_{пр}t\eta}{60b'} = \frac{4000 \times 0,75 \times 3 \times 2 \times 0,55}{60 \times 0,45} = \frac{9900}{27} = 366,6;$$

де $k' = 0,75$ коефіцієнт заповнення платформи, при $\eta = 0,55$ м²/чол.;

b' – ширина глухої частини платформи без урахування смуги безпеки, що дорівнює 0,45 м.

Ширина середньої зали залежить від кількості ескалаторів, які підходять до станції. При поздовжньому підході ескалатора ширина середньої зали дорівнює 7 м при трьох ескалаторах і 8,5 м при чотирьох. Якщо ескалатор підходить до станції під кутом, мінімальна ширина середньої зали приймається відповідно 6 і 7,5 м. Висота станції повинна бути не менше 4 м. Висота проходів приймається 3,5 м, а ширина – 3 м.

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

$$n_3 = \frac{2n_{пл}n_{пл}}{8500} = \frac{2 \times 20 \times 638}{8500} = \frac{25520}{8500} = 3,$$

$n_{\text{п}}$ – 20 пар поїздів за годину; $n_{\text{пл}}$ – 638 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.

2.3 Розрахунок об'ємів робіт зі спорудження пілонної станції

Варіант 1 – станція пілонного типу із залізобетонних блоків

1. Проходка тунелів механізованим щитом

$$V = 2\pi R^2 L_{\text{пл}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 4,25^2 \cdot 99 = 11235,5 \text{ м}^3;$$

2. Проходка тунелю способом суц. забою

$$V = \pi R^2 L_{\text{пл}} = 3,14 \cdot 4,25^2 \cdot 99 = 5617,7 \text{ м}^3;$$

3. Монтаж оправи:

$$V = (2 \cdot S_{\text{с}} + S_{\text{с}}) \cdot L_{\text{пл}} = (2 \cdot 12,56 + 12,56) \cdot 99 = 3730,32 \text{ м}^3;$$

4. Проходка проходів станційних тунелів:

$$V = 1,1 \cdot 3,0 \cdot 3,5 \cdot 10 = 115,5 \text{ м}^3;$$

5. Влаштування шляхових стін:

$$S = 0,3 \cdot 2,7 = 0,81 \text{ м}^2; V = S \cdot L_{\text{пл}} = 0,81 \cdot 99 = 80,19 \text{ м}^3;$$

6. Влаштування платформи:

$$S = 0,3 \cdot 3,5 = 1,05 \text{ м}^2; V = S \cdot L_{nl} = 1,05 \cdot 99 = 103,95 \text{ м}^3.$$

Варіант 2 – станція пілонного типу із чавунних тюрбінгів

1. Проходка тунелів механізованим щитом

$$V = 2\pi R^2 L_{nl} = 2 \cdot 3,14 \cdot 4,25^2 \cdot 99 = 11235,5 \text{ м}^3;$$

2. Проходка тунелю способом суц. забою

$$V = \pi R^2 L_{nl} = 3,14 \cdot 4,75^2 \cdot 99 = 7017,33 \text{ м}^3;$$

3. Монтаж оправи:

$$V = (2 \cdot 7,72 + 7,72) \cdot 99 \cdot 7,8 \cdot 0,24 = 4292,2;$$

4. Проходка проходів станційних тунелів:

$$V = 0,9 \cdot 3,0 \cdot 3,5 \cdot 10 = 94,5 \text{ м}^3;$$

5. Влаштування шляхових стін:

$$S = 0,3 \cdot 2,7 = 0,81 \text{ м}^2; V = S \cdot L_{nl} = 0,81 \cdot 99 = 80,19 \text{ м}^3;$$

6. Влаштування платформи:

$$S = 0,3 \cdot 3,5 = 1,05 \text{ м}^2; V = S \cdot L_{nl} = 1,05 \cdot 99 = 103,95 \text{ м}^3.$$

2.4 Техніко-економічне порівняння варіантів

Техніко-економічне порівняння варіантів базується на основних нормативних документах і наведено в табл. 2.1-2.2 [3, 4].

Таблиця 2.1 – Трудовитрати Варіанту № 1

№ з/п	Назва роботи	Шифр	Вимірювач	Об'єм	Трудовитрати на одиницю, чол·год	Трудовитрати на об'єм, чол·год
1.	Проходка тунелів механізованим щитом (лівий та правий станційні тунелі)	29-80-8	100 м ³ ґрунту	11235,5	38,6 (III група)	4336,9
2.	Проходка тунелів способом суцільного забою (середній тунель)	29-70-10	100 м ³ ґрунту	5617,7	369,7 (III група)	20768,6
3.	Вкладання збірної залізобетонної оправи із блоків	29-126-11	100 м ³ з/б	3730,32	1548,4	57760,3
4.	Проходка проходів станційних тунелів	29-93-3	100 м ³ ґрунту	115,5	736,3 (III група)	850,4
5.	Влаштування шляхових стін	29-155-1	100 м ³ з/б	80,19	1300,3	1042,7
6.	Влаштування платформи	29-153-2	100 м ³ з/б	103,95	1227,7	1276,2
					Сума	86035,1

Таблиця 2.1 – Трудовитрати Варіанту № 2

№ з/п	Назва роботи	Шифр	Вимірювач	Об'єм	Трудовитрати на одиницю, чол·год	Трудовитрати на об'єм, чол·год
1.	Проходка тунелів механізованим щитом (лівий та правий станційні тунелі)	29-80-8	100 м ³ ґрунту	11235,5	38,6 (III група)	4336,9
2.	Проходка тунелів способом суцільного забою (середній тунель)	29-70-10	100 м ³ ґрунту	7017,33	369,7 (III група)	25943,06
3.	Вкладання чавунної оправи	29-128-4	1 т чавуну	4292,2	4,55	19529,51
4.	Проходка проходів станційних тунелів	29-93-3	100 м ³ ґрунту	94,5	736,3 (III група)	695,8
5.	Влаштування шляхових стін	29-155-1	100 м ³ з/б	80,19	1300,3	1042,7
6.	Влаштування платформи	29-153-2	100 м ³ з/б	103,95	1227,7	1276,2
					Сума	52824,17

Після проведення техніко-економічних порівнянь приймаємо варіант №2 з чавунної оправи, оскільки трудовитрати на його спорудження є мінімальними, також цей варіант задовольняє інженерно-геологічним умовам.

РОЗДІЛ 3

СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК СТАНЦІЙНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

3.1 Основні положення статичного розрахунку станцій

Головним завданням статичного розрахунку конструкцій підземних станцій метрополітену є оцінка їх несучої здатності [6, 15]. Основою цієї оцінки є розрахунок тунельних конструкцій за граничними станами. Для цього необхідно визначити напружено-деформований стан конструкції, тобто розрахувати величини внутрішніх зусиль і деформацій в оправі. Використовуючи величини цих зусиль, оцінюється міцність найбільш напружених перерізів оправы, а в ряді випадків і стійкість форми конструкції.

Складність розрахунку станційних споруд змушує удаватися до різного роду припущень, що ідеалізують як конструкцію оправы, 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 [10, 16].

Розрахункову схему конструкції станції необхідно вибирати так, щоб вона найбільшою мірою відповідала реальним умовам статичної роботи оправы, відображаючи конструктивні особливості, матеріал оправы, інженерно-геологічні умови, а також спосіб виконання робіт. 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 оправы.

За основу побудови розрахункової схеми конструкції станційного тунелю, розташованого в однорідному ґрунтовому середовищі, прийнята плоска задача. Таке припущення правомірне, оскільки довжина тунелю звичайно значно

перевищує розміри його поперечного перерізу. Для розрахунку виділяється плоска система шириною 1 м (уздовж осі станції) – для конструкцій з монолітного залізобетону, або шириною блоків або плит перекриття – для збірних конструкцій. Розрахункові навантаження повинні бути приведені до ширини цієї плоскої системи. Такий підхід спрощує розрахункову схему і цілком обґрунтований для однопрогонових конструкцій, зокрема, для односклепінчастих станцій, а також для глухих ділянок пілонних станцій. Для складання плоских розрахункових схем колонних і пілонних станцій, що є чергуванням колон або пілонів і проходів між ними, виділяють типову секцію уздовж станції, довжина якої рівна відстані між осями колон і пілонів або проходів між ними. Геометричні характеристики поперечних перерізів елементів типової секції, що чергуються, повинні бути приведені до ширини виділеної для розрахунку плоскої системи.

Сучасні методи розрахунку станційних конструкцій метрополітену дозволяють перейти від плоскої розрахункової схеми до просторової, у якій враховують роботу елементів типової секції як в поперечному, так і в поздовжньому напрямку. Трудомісткість таких розрахунків значно зростає [2].

Специфіка розрахунку підземних конструкцій, які споруджуються закритим способом, полягає в складності визначення навантажень на оправу. Це пояснюється тим, що одне з основних навантажень – гірський тиск – визначається параметрами як самої конструкції, так і ґрунтового масиву, який її оточує, що дозволяє встановити можливий характер взаємодії оправи з ґрунтовим масивом в конкретних умовах будівництва. Для цього слід вивчити інженерно-геологічні умови ділянки будівництва, визначити особливості конструктивного рішення оправи, проаналізувати технологічні особливості проходки станційних виробок і склепіння оправ.

Такий тип станції є складною просторовою конструкцією з трьох окремих тунелів, сполучених оправами проходів. У розрахунку станції на задані навантаження напружено-деформований стан конструкції може бути визначений за допомогою чотирьох спрощених плоских розрахункових схем.

Перша схема відображає роботу глухої ділянки станції, друга – ділянки отвору в перерізі по проході, третя – перемички проходів, четверта – ділянки отвору станції в перерізі по пілону.

Такий підхід цілком обґрунтований для розрахунку конструкцій станцій із збірного залізобетону, зважаючи на відсутність конструктивних зв'язків між сусідніми кільцями. З певним припущенням плоскі розрахункові схеми можуть застосовуватися і для розрахунку станційних оправ з чавунних тюбінгів. У глухій частині станції робота оправи найбільш визначена. Тут бічні тунелі розділені великим цілком ґрунту, який досягає 10 м і більше, і оправи цих тунелів працюють незалежно одна від одної. Тому як розрахункова схема оправи на цій ділянці станції приймається схема одиночного тунелю кругового контуру у вигляді плоскої стрижневої системи змінної жорсткості, розташованої в пружному середовищі (рис. 3.1) [15].

У частині отвору станції кільця оправи в перерізі по проході розраховують в припущенні незалежної роботи кілець отворів. У перерізі по проході оправи бічних тунелів розімкнені (рис. 3.2).

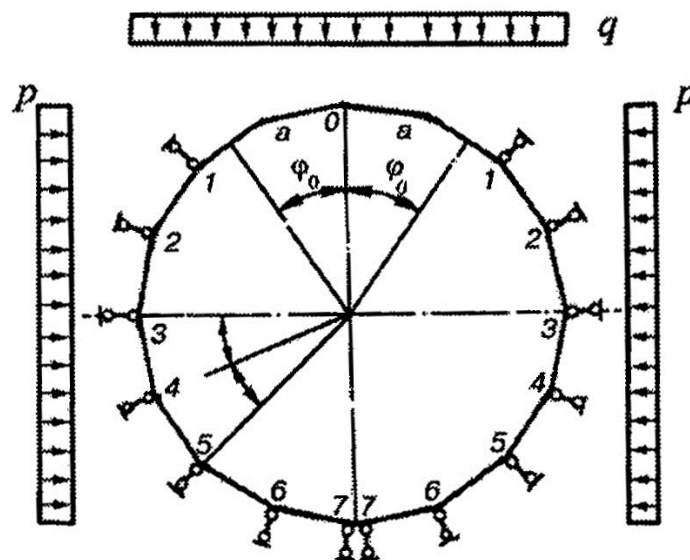


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема глухої ділянки пілонної станції

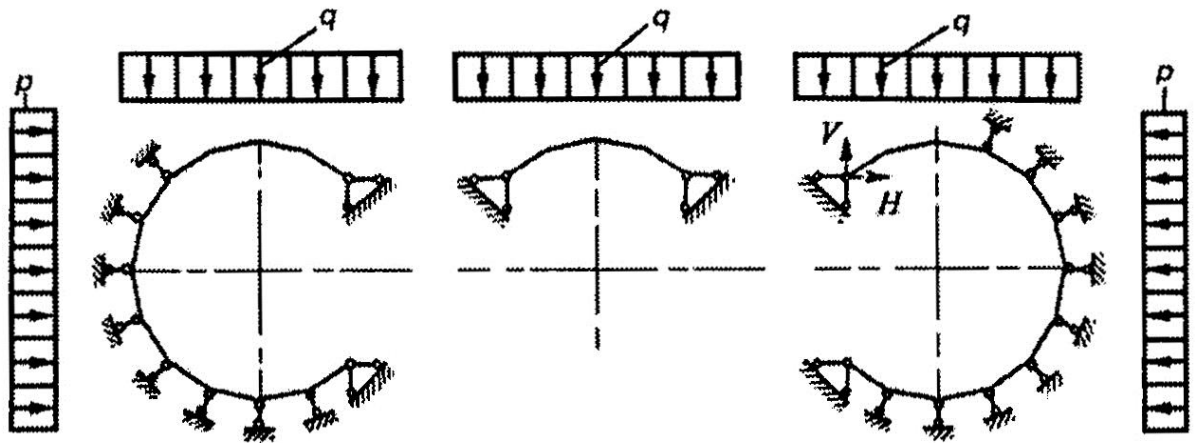


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема пілонної станції в ділянці проходку

Оправи тунелів, які спираються на перемички, у розрахунковій схемі можуть бути прийняті шарнірними у зв'язку з деякою податливістю з'єднання елементів перемички. У результаті розрахунку визначають опорні реакції. В оправі середнього тунелю розраховують тільки верхнє склепіння, оскільки зворотнє склепіння працює в сприятливих умовах і його параметри призначають конструктивно.

Потім виконують розрахунок перемички у вигляді арки, нерозрізної балки на опорах або однопрогонової балки, затисненої по кінцях, у результаті чого визначають силові фактори, що передаються від п'ят перемичок на оправи пілонів.

Розрахунок оправ частини отвору станції в перерізі по пілону є завершальним етапом розрахунку станції пілонного типу. Розрахункова схема в цьому перерізі є трьома кільцями змінної жорсткості, що працюють незалежно одне від одного (рис. 3.3). Слід зазначити, що коефіцієнт пружного відпору межах пілона необхідно збільшити з урахуванням заповнення пілона бетоном.

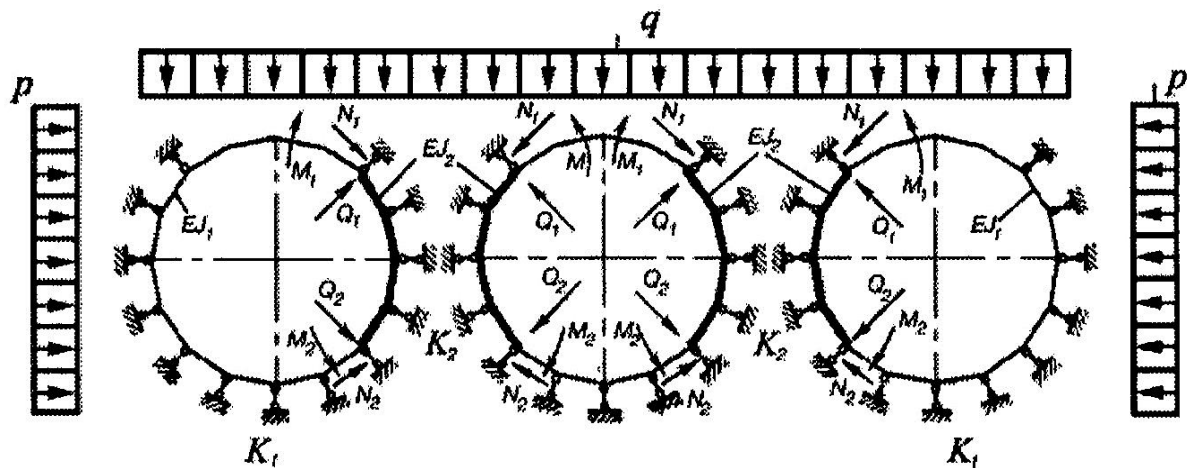


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема півонної станції в частині пілона

У вузлах контуру, відповідних місцям сполучення перемичок з оправою пілона, докладені зусилля, що передаються від п'ят перемичок на оправу пілона. Передача зусиль від перемички на оправу пілона відбувається нерівномірно, причому більш навантаженими виявляються рамні кільця отворів, на які безпосередньо спирається перемичка.

3.2 Визначення навантаження на оправу півонної станції

Вихідні дані:

Інженерно-геологічні умови: спондилова глина, $f = 1,1$.

Глибина закладення станції: 60 м.

Питома вага ґрунту $\gamma = 19 \frac{\kappa\text{Н}}{\text{м}^3}$

Знаходимо ширину склепіння обвалення (рис. 3.4) [5]:

$$B = b + 2 \cdot b \cdot \operatorname{tg}\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) = 30,3 + 2 \cdot 30,3 \cdot \operatorname{tg}\left(45 - \frac{30}{2}\right) = 65,28 \text{ м}$$

Висота склепіння обвалення дорівнює:

$$h_{\text{ск}} = \frac{B}{2 \cdot f} = \frac{65,28}{2 \cdot 1,1} = 29,67 \text{ м}$$

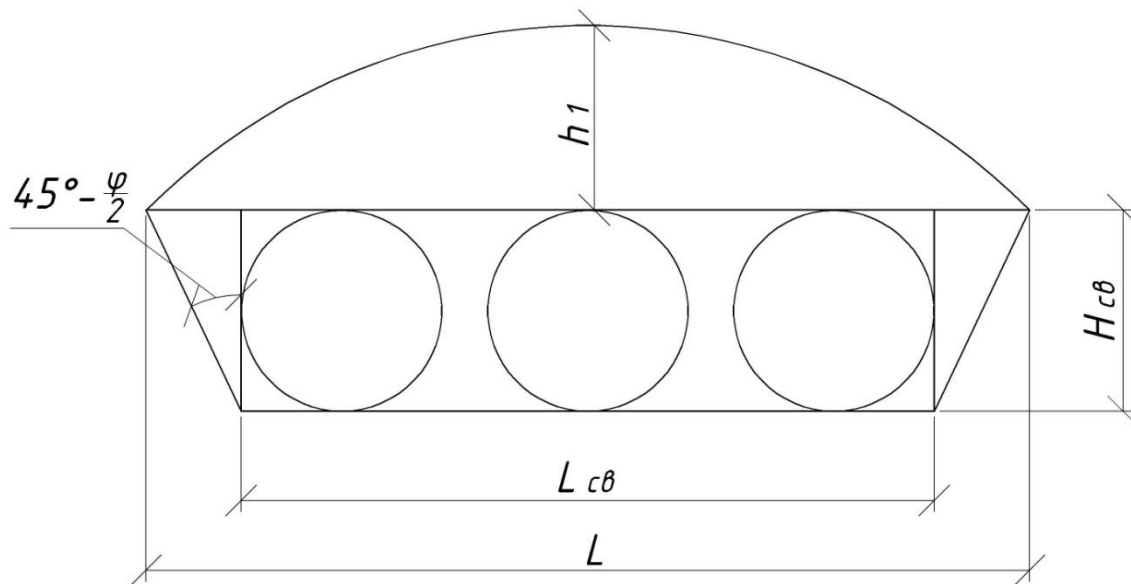


Рисунок 3.4 – Схема для визначення склепіння обвалення

Знаходимо нормативний вертикальний тиск:

$$q_s^H = \gamma \cdot h_{ск} = 19 \times 29,67 = 563,78 \text{ кН} / \text{м}^2$$

Розрахунковий вертикальний тиск:

$$q_s^P = q_s^H \cdot n = 563,78 \times 1,5 = 845,67 \text{ кН} / \text{м}^2,$$

де $n = 1,5$ – коефіцієнт запасу.

3.3 Статичний розрахунок методом скінченних елементів

Сутність методу скінченних елементів полягає в розбивці розрахункової області на значну кількість менших областей простого геометричного окреслення – скінченних елементів. Залежно від характеру розв’язуваної задачі використовують об’ємні, плоскі або стержневі елементи. Властивості елементів відображають реальні характеристики матеріалів ґрунту і конструкції [9, 15].

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.

Як розрахункову приймають ту схему конструкції, що відповідає експлуатаційній стадії. Постановка задачі є плоскою, а розрахункова схема станції – стержневою, навантаження вважається рівнорозподіленим. 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, із схеми видаляються, і перерахунок виконується до тих пір, поки не будуть знайдені точні границі зони пружного відпору.

Площу еквівалентного стержня F знаходять за формулою [9]:

$$F = \frac{k'l}{En} = \frac{5 \times 10^4 \times 1}{100000000 \times 45} = 0,00001$$

де $k' = 5$ – приведений по довжині коефіцієнт пружного відпору (якщо ширина розрахункової схеми прийнята рівною 1 м, збігається із значенням коефіцієнта пружного відпору); l – довжина стержня; E – модуль пружності матеріалу стержня; n – кількість стержнів.

Після визначення площі еквівалентного стержня його геометричні та деформаційні властивості присвоюються відповідним елементами моделі, прикладається розподілене навантаження, яке розраховано, та виконується розрахунок. Результатами розрахунку є згинальні моменти й нормальні сили, епюри (рис. 3.5 – 3.6).

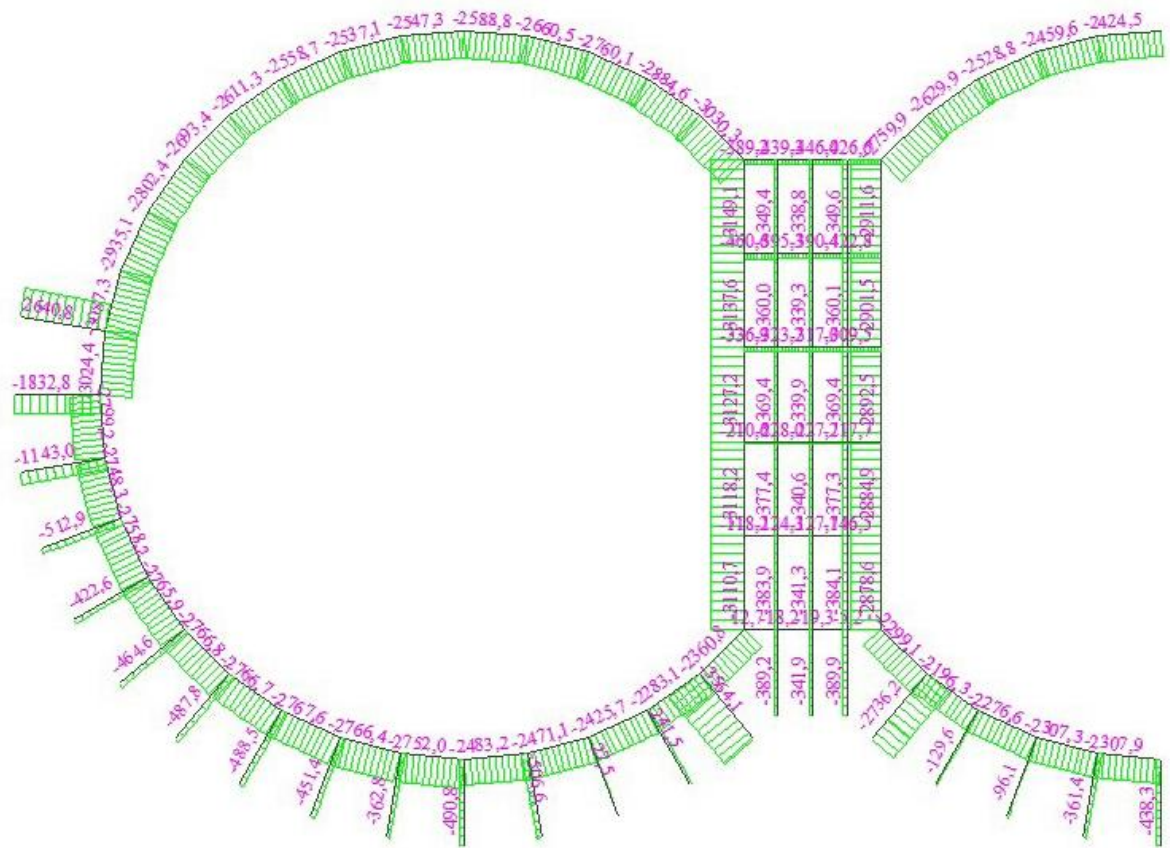


Рисунок 3.5 – Епюра нормальних сил у моделі

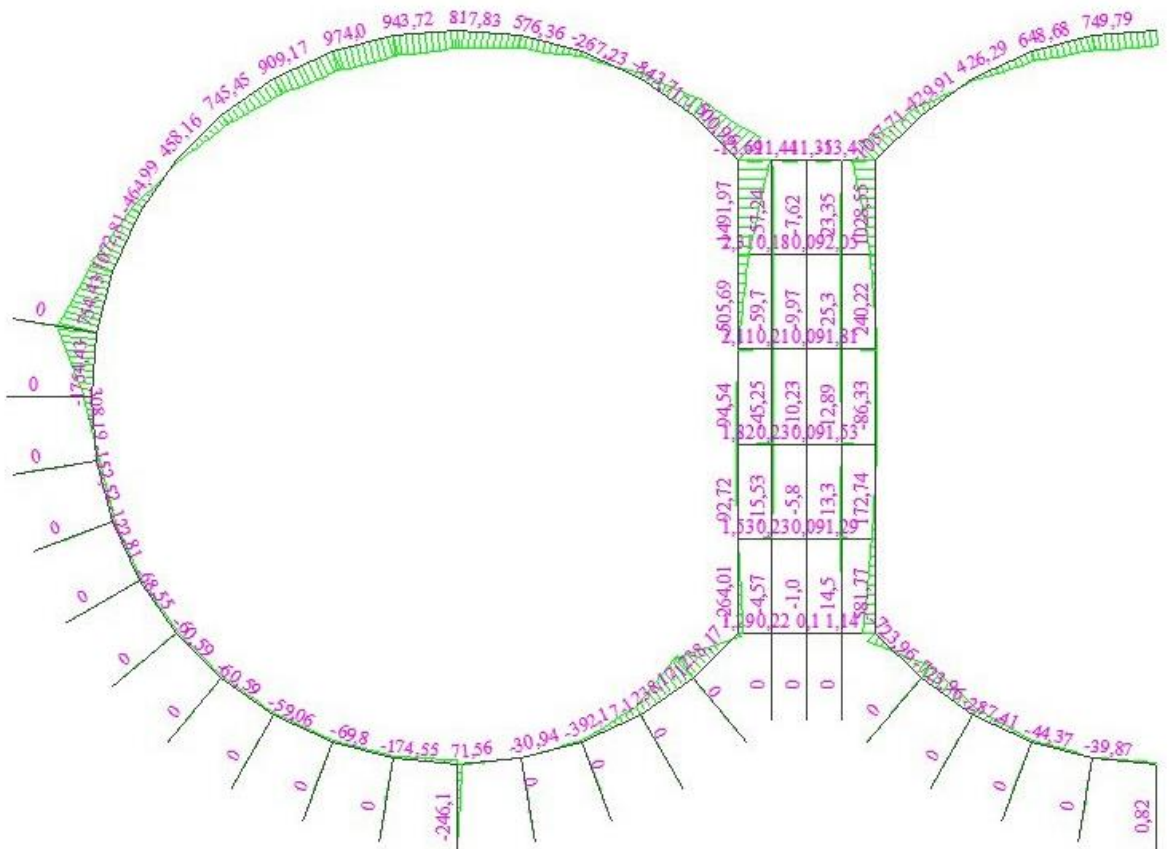


Рисунок 3.6 – Епюра згинальних моментів у моделі

3.4 Перевірка на міцність оправи з чавуну

Перевірку на міцність чавунних тюбінгів виконують за формулами:

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

$$\frac{2537,1}{673} - \frac{974 \times 0,057}{84267,33} \leq 180$$

$$3,77 - 0,0006 \leq 180$$

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

$$\frac{2537,1}{673} + \frac{974 \times 0,095}{84267,33} \leq 60$$

$$3,77 + 0,0011 \leq 60$$

де $N=2537,1$ та $M=974$ – 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 та розтягнутої фібри тюбінга відповідно; $R_c=180$ та $R_u=60$ – розрахункові опори чавуну на стиск та розтяг відповідно.

Умова виконується для обох перерізів, запаси міцності понад 20 разів.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНОЛОГІЯ СПОРУДЖЕННЯ СТАНЦІЙ ПІЛОННОГО ТИПУ В СЛАБКИХ ГЛИНЯСТИХ ПОРОДАХ

4.1 Основні положення спорудження пілонної станції методом пілот-тунелю

Спорудження трьохсклепінчастих станцій з кріпленням із збірних елементів ведуть шляхом послідовної проходки трьох станційних тунелів з одночасним зведенням постійної оправи за допомогою укладальників [11, 12, 14].

Проходка станційних тунелів на повний переріз допускається в ґрунтах, що не чинять тиску з боку лоба забою. У ґрунтах, що чинять тиск з боку лоба забою, спочатку виконують проходку пілот-тунелів або штолень, а в слабких глинистих або незв'язних ґрунтах – за допомогою щитів. Споруджуючи станції в нестійких ґрунтах, проходку другого за часом бокового тунелю ведуть з відставанням не менше ніж на 20...30 м щодо першого, а середнього – не менше ніж на 50 м щодо другого бокового тунелю.

З метою забезпечення збігу окремих конструктивних елементів по довжині станції проходку станційних тунелів із збірними оправами здійснюють в одному напрямку.

Можна виділити чотири основні технологічні схеми зведення станцій пілонного типу [11, 12]:

1. Спорудження пілонів і проходів безпосередньо після проходки станційних тунелів. За такою схемою споруджують пілонні станції з оправою із чавунних тюбінгів. У процесі проходки станційних тунелів у межах частини проходу станції в оправу включають рамні кільця з посилених і клинчастих тюбінгів. Кільця під час розробки проходів можна розімкнути, що дозволяє не виконувати додаткове посилення ділянок проходів.

2. Спорудження пілонів і проходів після того, як в заздалегідь пройдених станційних тунелях будуть виконані роботи з підсилення ділянок проходів. За цією схемою в більшості випадків споруджують пілонні станції з оправою із

залізобетонних елементів.

У процесі проходки станційних тунелів у кільця оправи частини проходу станції включають опорні залізобетонні блоки, що оформляють пілон. До розкриття проходів у межах цієї частини станції зводять спеціальні збірні або монолітні конструкції, які дозволяють розімкнути кільця в межах проходу.

3. Спорудження пілонів і проходів у штольнях до проходки станційних тунелів. Оправу проходів і пілони з монолітного бетону зводять у цих штольнях як єдину конструкцію у вигляді аркади, розташованої вздовж станції в межах прохідної частини. Потім споруджують станційні тунелі, при цьому їх розімкнену в межах частини проходу станції оправу спирають на готові бетонні конструкції.

Істотним недоліком такої схеми є висока трудомісткість робіт і низький рівень їх механізації в разі зведення опорних конструкцій гірським способом. Тому вона не набула практичного поширення, але може бути рекомендована у випадку багатопрогонових об'єднаних станцій пересадки.

4. Спорудження станційних тунелів одночасно зі спорудженням пілонів і проходів. У цьому випадку під час проходки бокових станційних тунелів переріз забою розробляють з урахуванням розміщення й монтажу збірних пілонів одночасно зі спорудженням тунельної оправи. Спосіб застосовується в стійких півскельних і скельних ґрунтах. У зв'язку з повсюдним припиненням будівництва пілонних станцій у ґрунтах такого типу цей спосіб втратив практичне значення.

У разі закладення станції в необхідних нестійких ґрунтах, коли розкриття забою на весь переріз може призвести до його обвалення, станційні тунелі споруджують способом пілот-тунелю [11-13].

Суть способу полягає в тому, що виробку розкривають до розмірів основного тунелю за два прийоми: спочатку проходять тунель меншого діаметра із оправою з чавунних або залізобетонних тубінгів діаметром D_0 (пілот-тунель), а потім розкривають виробку до проектного контуру діаметром D . Це дозволяє розділити значну за розмірами площу забою на дві виробки

меншого перерізу й використати оправу пілот-тунелю як надійну опору для кріплення основного тунелю. Якщо в покрівлі виробки залягають нестійкі водонасичені ґрунти, з пілот-тунелю можна заздалегідь їх осушити або штучно закріпити, а потім починати розширення профілю.

Будуючи тунелі великого перерізу способом пілот-тунелю, можливі дві схеми організації робіт: паралельна й послідовна. Ці схеми визначають взаємозв'язок і послідовність виконання робіт у пілот-тунелі й основному тунелі.

За паралельною схемою роботи ведуть одночасно з відставанням від забою основного тунелю на 12...15 м. Така організація робіт доцільна під час спорудження протяжних тунелів, оскільки скорочуються загальні терміни будівництва. Проте в цьому випадку виникають певні труднощі, пов'язані з одночасним вантаженням ґрунту в зоні розширення виробки й транспортуванням ґрунту й матеріалів у пілот-тунелі (рис. 4.1) [12, 13].

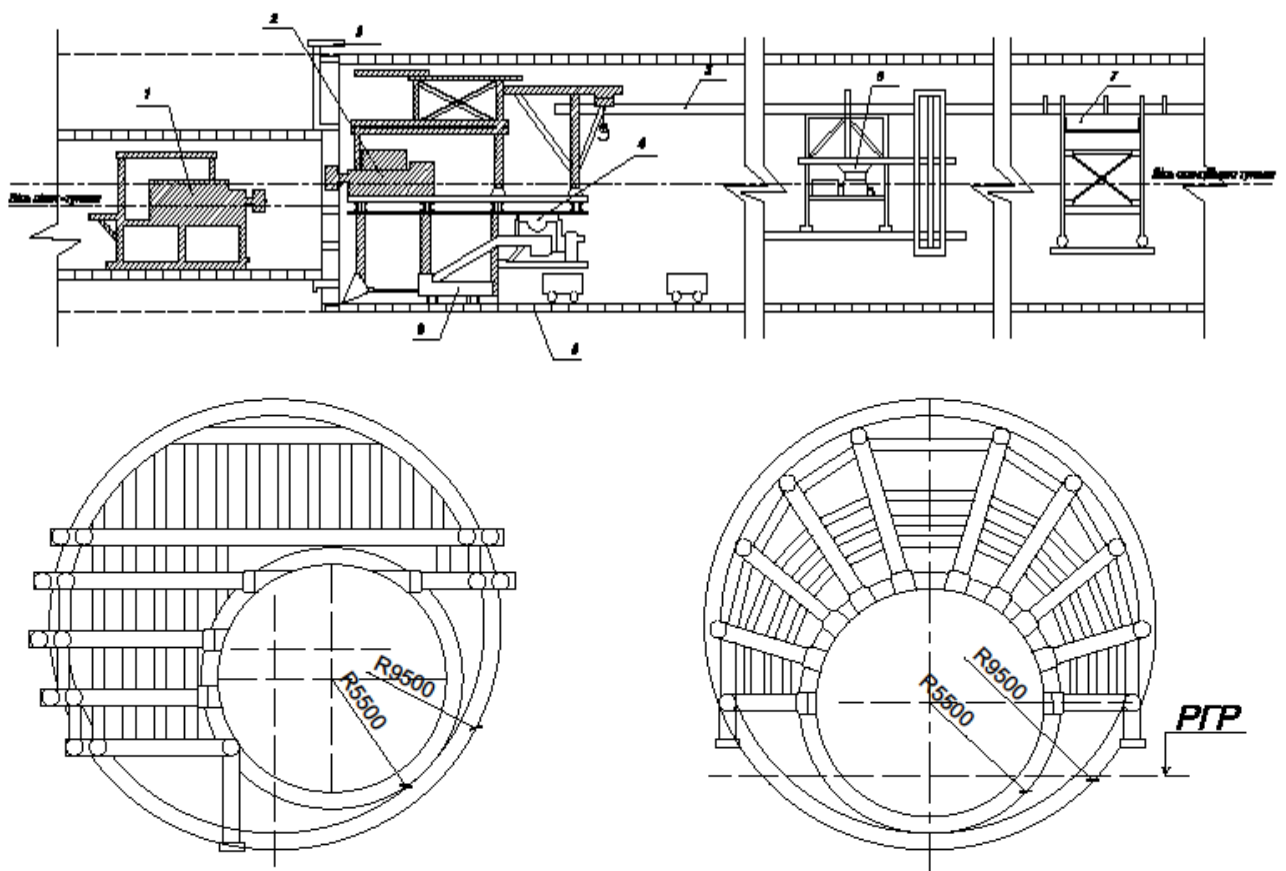


Рисунок 4.1 – Технологічна схема і кріплення способу пілот-тунелю

Цей недолік усувається, якщо організувати роботи за послідовною схемою. У цьому випадку до робіт з розширення виробки приступають після завершення проходки пілот-тунелю. Саме послідовну схему організації робіт звичайно використовують для спорудження станційних тунелів метрополітену через порівняно невелику їх протяжність. Роботи з проходки пілот-тунелю ведуть відповідно до технологічної схеми.

Спочатку за допомогою тунельного укладальника 1 або перегінного щита проходять тунель діаметром 5,5 м, у якому зводять тимчасову оправу. Вісь пілот-тунелю розташовують так, щоб забезпечити найкращі умови розробки й кріплення обох забоїв у даних геологічних умовах. Під час спорудження бокових тунелів станції вертикальну вісь пілот-тунелю суміщають з віссю станційної колії, а під час спорудження середнього тунелю – з його віссю, зміщуючи центр виробок по висоті.

Ґрунт розробляють зверху вниз відбійними молотками. Глибину заходки приймають з таким розрахунком, щоб можна було розібрати кільце оправи пілот-тунелю і змонтувати одне-два кільця оправи станційного тунелю. Покрівлю виробки кріплять марчеванами 3, один кінець яких заводять за кільце оправи станційного тунелю, а інший – у штрабу по периметру виробки. Кінці марчеван у забої підхоплюють кружальною аркою, опертою на вертикальні або похилі стояки 11.

Лоб забою утримують дошками 10, розпираючи їх на горизонтальні балки або труби 12, які розташовані по висоті з певним кроком, або на радіальні стояки, оперті на кільце оправи пілот-тунелю. Балки і стояки в місцях їх спирання на оправу пілот-тунелю притискують до забою горизонтальними розпірками – рошпанами 13, упираючи їх у сталеві пластини 14. Ці пластини встановлюють по периметру кільця, прикріплюючи болтами до ребер тюбінгів із пересувної платформи 8.

Кільце оправи пілот-тунелю, що звільнилося від ґрунту за допомогою породонавантажувальної машини 9, розбирають укладальником 1 і монтують чергове кільце постійної оправи станційним укладальником 2. У змонтоване

кільце постійної оправи із відставанням у 1-2 кільця виконують первинне нагнітання за допомогою розчинонагнітача 4, а потім – контрольне нагнітання 6 та карбування швів 7, а також нарощують труби вентиляції 5.

Розстановка робочої сили, устаткування й механізмів у станційному тунелі відповідає звичайним прийомам проходки.

4.2 Технологія спорудження пілонів та проходів

На глухих ділянках пілонної станції оправу монтують із нормальних кілець, а в прохідній частині необхідно влаштувати проходи із середнього тунелю в бокові. Для цього потрібно розімкнути кільця оправи в бокових тунелях з одного боку, а в середньому – з обох боків. Для цього в процесі проходки тунелю й монтажу оправи в нормальні кільця 1 середнього й бокових тунелів укладають спеціальні елементи, які утворюють раму проходу (рис. 4.2) [12, 13].

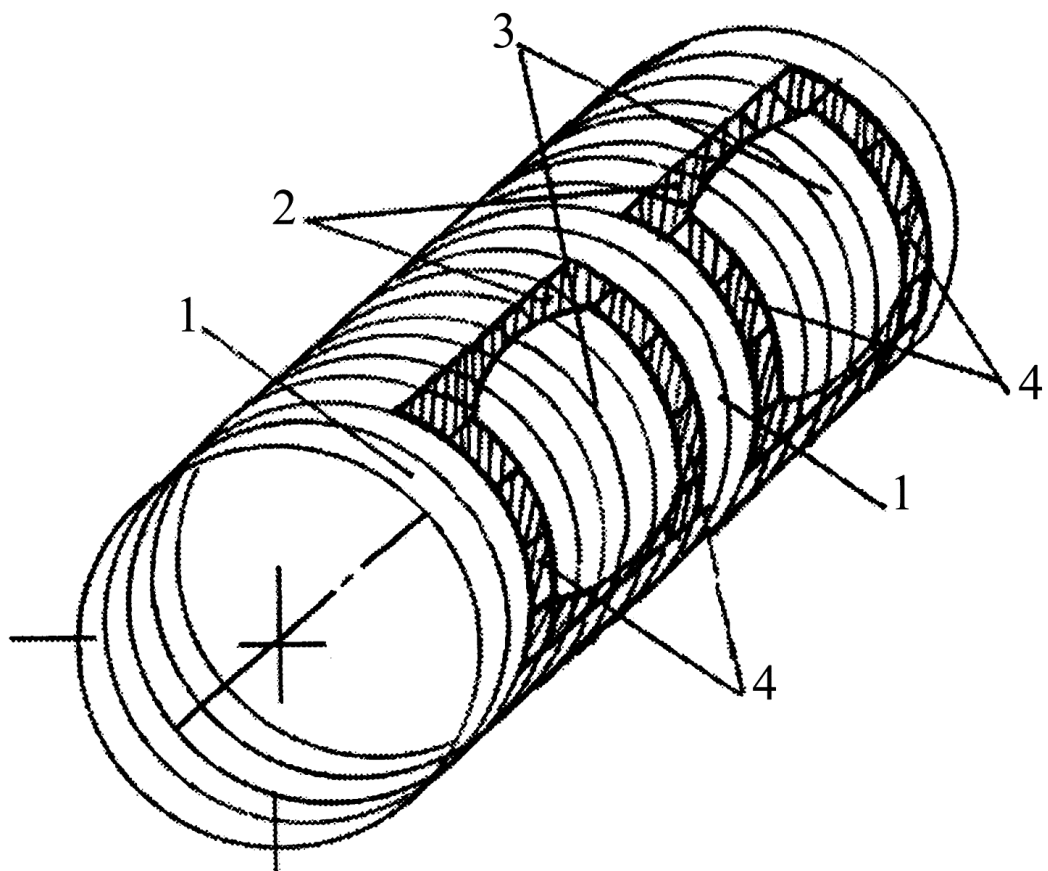


Рисунок 4.2 – Схема спорудження проходів

Верхня і нижня частини рами зібрані зі спеціальних фасонних клиноподібних тюбінгів зі скошеними кільцевими бортами. Укладені в певному порядку в суміжних кільцях вони утворюють клинчасті перемички проходу 2.

Після того як тюбінги тимчасового заповнення 3 будуть демонтовані, клинчасті перемички сприймуть навантаження від розімкнених кілець і передадуть його на посилені тюбінги 4 рами проходу. Ці тюбінги мають додаткове кільцеве ребро жорсткості. Зверху і знизу до рами проходу примикають тюбінги нормального кільця.

Якщо оправа станційних тунелів працює в умовах значних усесторонніх навантажень, то в рамах проходу влаштовують як верхні, так і нижні клинчасті перемички. У сприятливіших умовах, наприклад за наявності в основі станції напівскельних або скельних ґрунтів, проходи слід виконувати без нижніх клинчастих перемичок.

Якщо рами проходу розташовані впритул одна до одної, то пілон має мінімальну ширину (1,5 м). Розміщуючи між рамами проходу певну кількість нормальних кілець 1, збільшують ширину пілона до заданої відстані між проходами по довжині станції. Проходи між тунелями пілонної станції мають замкнуту бетонну або залізобетонну оправу. Внутрішній контур оправи проходу збігається з контуром проходів у станційній оправі. Ґрунтовий цілик між суміжними тунелями у вузьких пілонах шириною 1,5 м у скельних ґрунтах і в широких пілонах (до 3 м) в слабких ґрунтах замінюють бетоном. Якщо ґрунт у цілику між станційними тунелями має достатньо високі міцнісні властивості або його розміри по довжині станції значні, ґрунт у межах цілика не замінюють бетоном, а видаляють з кожної сторони проходу на 0,5...0,6 м і замінюють залізобетоном.

Роботи зі спорудження проходів та оправи пілонів починають, як правило, після закінчення проходки всіх трьох станційних тунелів. Видалення тюбінгів тимчасового заповнення із замкнутих кілець оправи, розробка ґрунту між кільцями суміжних тунелів, влаштування конструкції, поздовжня вісь якої розташовується перпендикулярно осі головних тунелів, призводять до істотної

зміни характеру навантажень, перерозподілу зусиль в просторовій конструкції і, як наслідок, значних деформацій окремих її елементів і вузлів. Тому під час спорудження проходів слід керуватися встановленими практикою правилами, що визначають послідовність розкриття проходів і спорудження їх оправи. Черговість цих робіт призначають з таким розрахунком, щоб вони виконувалися одночасно не більше ніж у двох проходах, розташованих на протилежних сторонах і зміщених на один-два проходи.

Ґрунт у межах пілона (між суміжними проходами й оправами середнього і бокового тунелів) видаляють, заповнюючи простір бетоном. Роботи ведуть з пересувного металевого риштування 3 (рис. 4.3), яке встановлюють перед проходом у середньому тунелі. Отвір шириною b починають розкривати, видаляючи лебідками вкладиші й середній верхній тюбінг тимчасового заповнення. Через щілину, що утворилася в кільцях, по осі проходу розробляють до тюбінгів бокового тунелю хідник висотою h , закріплюючи його штольневим кріпленням 1.

Лонгарини 2 встановлюють вище за місце розташування листів металевої гідроізоляції на товщину оправи проходу і спирають кінцями на тюбінги. Потім розкривають калоту на всю довжину проходу, встановлюючи чергові пари лонгарин і затягуючи покрівлю марчеванами.

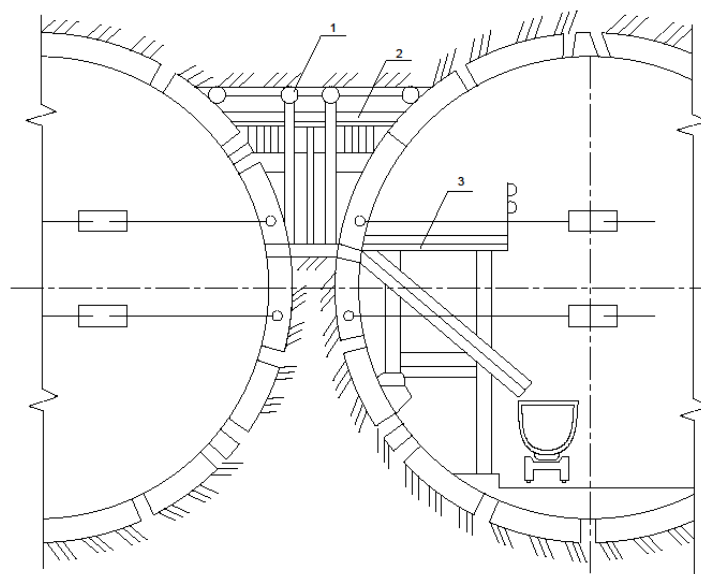


Рисунок 4.3 – Схема спорудження проходів станції з чавунними тюбінгами

У міру розкриття калоти знімають тюрінги тимчасового заповнення, що залишилися у верхній частині проходу, спочатку в середньому, а потім і в боковому тунелі.

У підготовленій калоті встановлюють і зварюють листи металевої опалубки, які зовні мають анкерну арматуру для міцного з'єднання з бетоном, і бетонують верхню частину оправи проходу. Ці самі листи є гідроізоляцією проходів. Після витримки бетону до набирання проєктної міцності з проходу видаляють решту тюрінгів тимчасового заповнення і розробляють ґрунт в проході або на повний профіль, або спочатку середню, а потім нижню частину, після чого бетонують стіни і зворотне склепіння. На завершальній стадії робіт виконують контрольне нагнітання цементного розчину й карбування швів обрамлення.

У випадку закладення станції в складних гідрогеологічних умовах та у нестійких ґрунтах, роботи зі спорудження проходів дещо ускладнюються. По всій довжині частини проходу станції повинні бути виконані підготовчі роботи: контрольне підтягування болтів, постановка в кільцях кожного пілона трьох стяжок на рівні діаметра, а в проході – трьох парних стяжок по хордах. Одночасне розкриття проходів ведуть через два проходи на протилежних сторонах тунелю. У кожному проході роботи виконують у вказаній вище технологічній послідовності, але з проходу видаляють мінімальну кількість тюрінгів тимчасового заповнення. Тому під час розробки калоти звичайно витягують один верхній тюрінг в середині проходу, а потім середній і нижній тюрінги цього ж кільця. Таким чином, розробку ґрунту, кріплення виробки й бетонування оправи проходу виконують через вузьку вертикальну щілину при одному розімкненому кільці оправи. Решту тюрінгів тимчасового заповнення проходів витягують після спорудження 75 % всіх проходів станції, чим досягається зведення до мінімуму деформацій кілець оправи станційних тунелів.

Технологія робіт зі спорудження проходу і пілона складається з таких етапів (рис. 4.4).

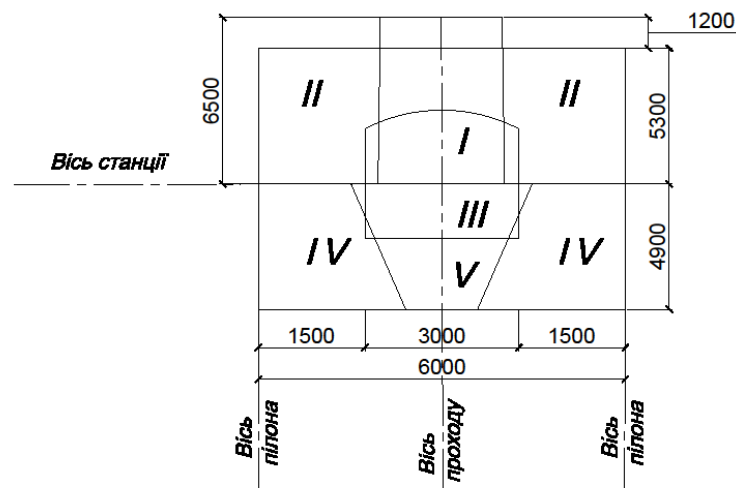


Рисунок 4.4 – Технологічна послідовність спорудження пілона й проходу

I етап. У боковому станційному тунелі встановлюють риштування, після чого знімають тюрінги, відповідні верху проходу. При цьому процес спорудження проходів спрощується за рахунок спеціальних тюрінгів заповнення. Після зняття тюрінгів ґрунт верхньої штольні розробляється вручну. У ній встановлюється підхоплювач з унтерцугів (поздовжні елементи), які з'єднані верхняком і спираються на стояки (рис. 4.5). По висоті стояк розклинюється трьома рошпанами, боки і верх штольні затягуються дошками.

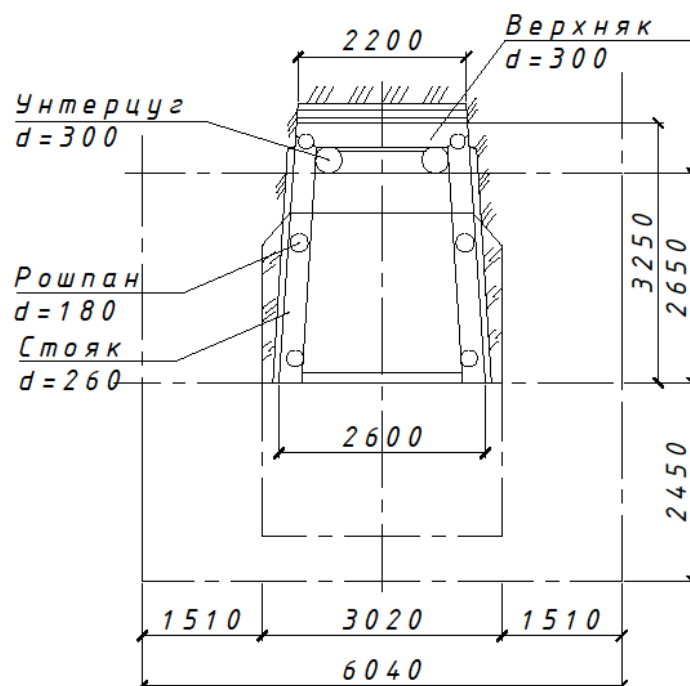


Рисунок 4.5 – Схема розробки й паспорт кріплення верхньої штольні по осі проходу

II етап. Симетрично в обидва боки від середини розробляється ґрунт калоти. У вигляді поздовжніх елементів застосовують дві дерев'яні лонгарини діаметром 300 мм, підхоплені металевими стояками з труб діаметром 125 мм, по три по довжині кожної лонгарини. Після розробки ґрунту калоти й повного її закріплення на підкружальне кріплення встановлюється металоізоляція і виконується бетонування, стояки з труб залишаються в бетоні пілона (рис. 4.6).

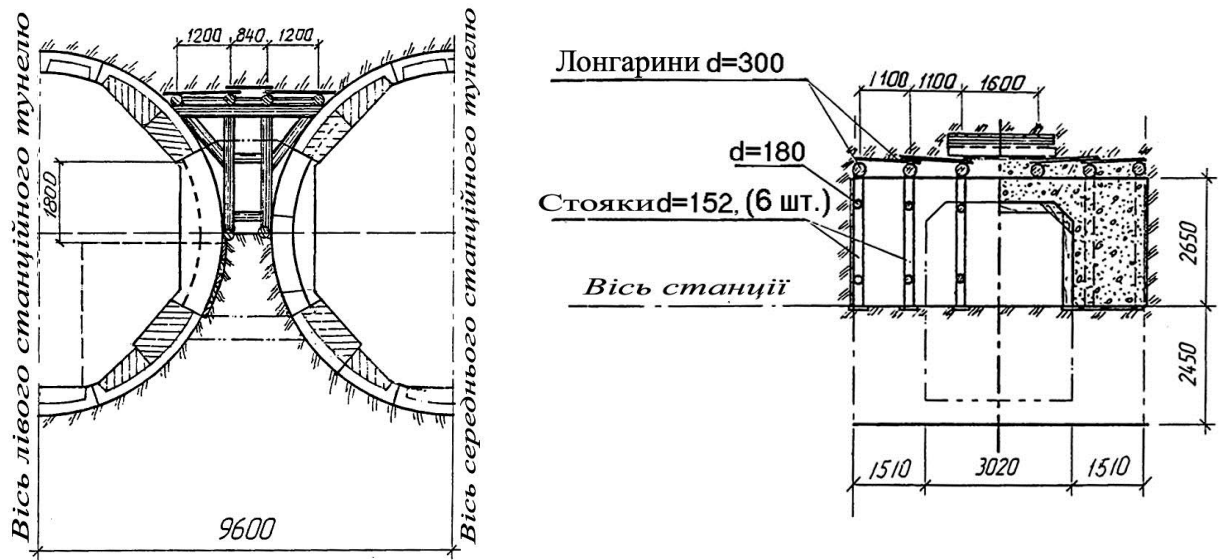


Рисунок 4.6 – Розкриття калоти й бетонування
верхньої частини пілона й проходу

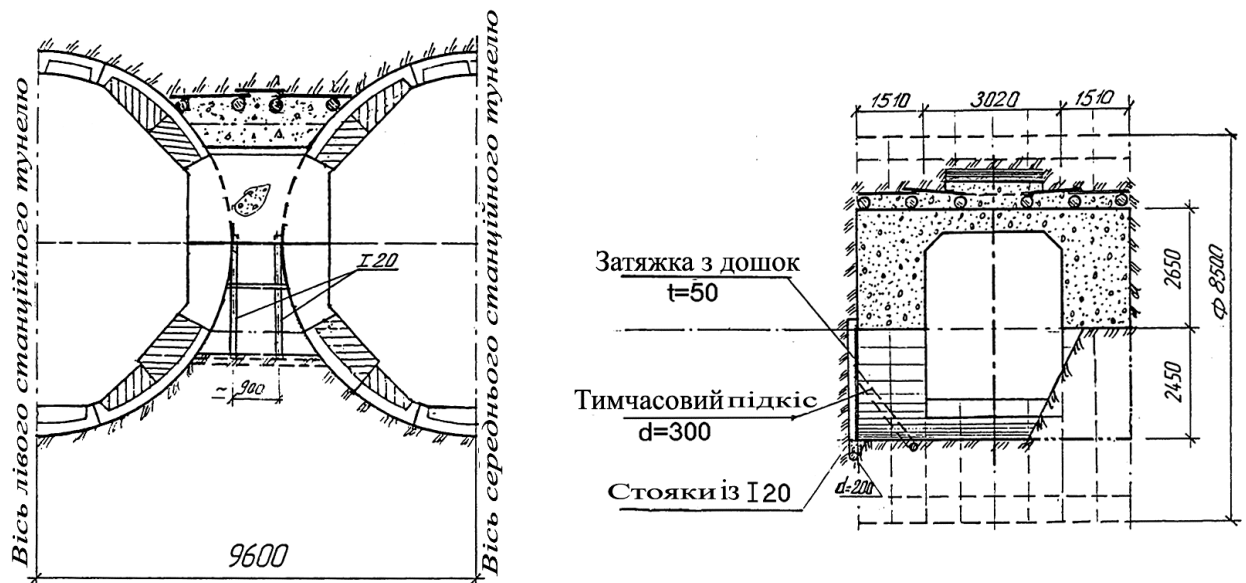


Рисунок 4.7 – Розкриття калоти й бетонування
нижньої частини пілону й проходу

III етап. Розробляється ґрунт ядра проходу.

IV етап. Виконується розробка середньої штроси й забій закріплюється стояками з двотавра № 20. Стояки спираються одним кінцем на бетон частини склепіння, а іншим – на дерев'яну балку, замонолічену в бетон основи (рис. 4.7).

Стояк по місцю розклинюють підкосами, які перед бетонуванням знімають. Встановлюється металоізоляція й виконується бетонування стіни проходу. Аналогічно підводиться лотокова частина проходу, яка бетонується разом із стінами.

Слід зазначити, що спорудження проходів і пілонів ведеться в шаховому порядку.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Загальні положення охорони праці

Під час щитової проходки виконуються наступні роботи.

1. Проходка пілот-тунелю механізованим щитом. Щит, виготовлений німецькою фірмою Herrenknecht S-402, який використовується у даній випускній роботі, є тунелепрохідницьким комплексом.

2. Прибирання породи. Розроблений ґрунт транспортується за допомогою шнека з регульованою чистотою оборотів, і потрапляє в загрузочну воронку стрічкового транспортеру. Транспортний шнек діаметр 700 мм.

3. Монтаж збірної оправи. Під захистом хвостової частини щита установлений еректор, що служить для монтажу оправи тунелю.

Небезпечні фактори при роботі тунелепрохідницького комплексу:

- падіння породи з машин, при транспортуванні породи;
- знаходження людей в зоні дії машин;
- падіння елементів оправи при монтажу оправи;
- рухома рама, яка переміщується при монтажі оправи;
- переміщення самого тунелепрохідницького комплексу.

Всі роботи, що проводяться в тунелях, повинні відповідати вимогам Правил безпеки при будівництві підземних споруд .

До початку робіт необхідно привести робоче місце і проходи в стан, що забезпечує повну безпеку. Слід переконатися в тому, щоб на шляху руху транспортних засобів не було працівників, а також вжито заходів щодо забезпечення переміщень вантажів та матеріалів за розробленими схемами, затвердженим керівником будівельного підрозділу.

Прохід до місця робіт дозволяється тільки за встановленими для цього маршрутами. За неосвітленим 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. Будь незрозумілий робочим сигнал слід вважати сигналом зупинки.

У разі необхідності освітлення робочих місць переносними світильниками використовуються Електросвітильники напругою не вище 50 В у приміщеннях, а поза приміщеннями – не вище 12 В. При цьому ручні Електросвітильники повинні бути тільки заводського виготовлення.

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

Місця для проведення зварювальних робіт повинні бути очищені від горючих матеріалів у радіусі не менше 5 м. Після закінчення робіт необхідно ретельно оглянути місце виконання цих робіт, пролити водою спалимі конструкції та обладнання з метою виключення можливих загорянь та пожеж.

Ліси, підмості й інші засоби підмашування, що використовуються при реконструкції та ремонті тунелів, повинні відповідати вимогам стандартів Системи безпеки праці.

5.2 Вимоги безпеки при проходці тунелів механізованими щитами

Робоче місце машиніста щита повинно бути обладнано світловою і звуковою сигналізацією, з'єднаною з усіма механізмами технологічного комплексу.

Перед включенням двигуна робочого органа щита та іншого механізму технологічного комплексу машиніст щита повинен дати світловий і звуковий сигнали попереджуючі про початок робіт.

Двигун робочого органа щита може вмикатися тільки після того, як машиніст перевірить, чи немає у забої людей, а також відсутність обвалів породи, залишки кріпів або інших предметів.

При роботі механізованими щитами повинно бути передбачені спеціальні прилади для по давлення пилі, знижуючи її зміст в призабійній зоні до допустимих рівнів санітарних норм.

При огляді забою, ремонті щита та приводів усі двигуни повинні вимкнені, а на пульті управління повинен бути вивішено плакат: «Не включати – працюють люди!».

Машиніст щита при появі екстреної необхідності повинен вимкнути двигуни приводу щита и комплексу по проханню любого з бригади, працюючих на механізованому щиту.

При зупинках механізованого щита на термін більше зміни забою повинен бути закріплений згідно паспорту, розробленим з урахуванням інженерно-геологічних умов і конструкції робочого органу щита.

У випадку зупинки подачі електроенергії персонал, обслуговуючий щит і технологічний комплекс, повинен швидко вимкнути усі електродвигуни.

При необхідності виконання робіт попереду робочого органу щита ці роботи повинні виконуватися під наглядом змінного інженера.

5.3 Вимоги безпеки під час навантаження породи

При навантаженні породи у забої навантажувальною машиною чи екскаватором у зоні їхньої дії можуть знаходитися тільки машиніст та його помічник.

Кузови вагонеток, автомобілів-самоскидів не повинні загрузатися породою доверху. Відстань від породи до верху борта повинна бути не менше 10 см.

При роботі у забої двох породонавантажувальних машин машиністам заборонено керувати ними з площадок, які знаходяться зі сторони між пуття.

Екскаватори для навантаження породи повинні мати звукові сигнали, які подаються по встановленій схемі, з якої повинен бути ознайомлений увесь працюючий у забої персонал. Таблицю сигналів треба вивішувати на видному місці поблизу екскаватора.

Розвантажувальна частина транспортера повинна періодично чиститись. Ця

робота може виконуватися лише при зупиненій транспортній стрічці і вимкненими електродвигунами. Зчеплення і розчеплення вагонеток з породонавантажувальною машиною під час її руху заборонено.

При навантаженні породи транспортером в нерозщеплений состав забороняється знаходитись близько від вагонеток і електровоза та на шляху, зайнятим цим составом. Після завершення завантаження породи захисні піддони транспортерів повинні бути чистими.

5.4 Вимоги безпеки під час монтажу збірної оправи

Для монтажу тюрінгової або блочної оправи треба застосовувати механічні укладальники, а у окремих випадках – лебідки, що повинно бути показано у записці проєкту.

До початку робіт по монтажу збірної оправи тунелю укладальник повинен бути перевірений машиністом укладальника та черговим електрослюсарем. Результати перевірки повинні бути занесені у журнал прийому і здачі зміни.

Подавати сигнали машиністу укладальника дозволяється тільки одному робочому, назначеному службою технічного надзору. Включення механізмів дозволяється тільки після подачі сигналу цим робочим, котрий повинен перевірити, що роботі механізму нічого не мішає. До включення механізмів машиніст повинен дати сигнал у відповідь. Кожен незрозумілий сигнал повинен бути прийнятий машиністом укладальником як сигнал «стоп».

Забороняється знаходження людей під піднятим тюрінгом або блоком, а також у зоні обертання важелю укладальника під час його роботи.

Тюрінги або блоки вище горизонтального діаметру тунелю повинні кріпитись тільки зі спеціальних висувних площадках блоко- і тюрінгоукладальника або спеціальних пересувних підмостків.

До встановлення болтових кріплень кожен тюрінг повинен бути узятий не менш чим на три оправки. Уміщувати болтові отвори вложених і вкладаємих тюрінгів другими способами забороняється.

Затягувати гайки до відказу, міняти болтові кріплення і загвинчувати

пробки у отвори для нагнітання на висоті слід робити з пересувних підмостків, чеканочних візків. Виконання цих робіт з драбин і оправи забороняється.

Залишати тьюбінг (блок) у піднятому стані по закінченні роботи або на час перерви забороняється.

Забороняється підвішувати тьюбінг (блок) до руки укладальника при несправному захваті.

При огляді і ремонті укладальників збірних оправ повинні бути прийняті міри, мішаючи їм обертатися.

При переміщенні елемента збірної оправи укладальником, лебідкою або другими приладами повинно бути виключено зачіпання за які-небудь предмети.

Залишання оправок, пробок, гайок, ключів, болтів, шайб, кусків породи на бортах и ребрах тьюбінгів оправи тунелю, а також на укладальнику та щиті забороняється.

Оправу дозволяється монтувати не менше чим двома лебідками (під'ємною і відтяжною). При цьому керувати механічними лебідками лицям, не маючих відповідних прав.

При підйомі і встановленні тьюбінгів (блоків) лебідками останні повинні бути добре закріплені і розставлені не ближче 5 м і не далі 15 м по горизонталі піднімаємого вантажу.

При закінченні подачі електроенергії машиніст повинен швидко вимкнути усі електродвигуни на своєму робочому місці до подачі електроенергії до отримання особливого розпорядження.

Канати для підйому і спускання тьюбінгів повинні відповідати технічним нормам і бути пропущеними через захищенні блоки безпечної конструкції, дбайливо закріпленими на спеціальних підвісках.

Прикріпляти тьюбінги (блоки) до канату лебідки для підйому і спуску треба при допомозі спеціально пристрою, що забезпечує безпеку проведення робіт.

Перечіпляти тьюбінги (блоки) у при піднятому стані з канату однієї лебідки на канат іншої забороняється.

Відчіпляти канат від тьюбінга (блока) до то як він буде закріплений не менше

чим трьома болтами з сусіднім зібраним кільцем забороняється.

Піднімати і спускати тьобінги (блоки) треба плавно, не допускаючи ривків, розкачувань і різких зупинок.

Піднімаємі і укладаємі елементи збірної оправи повинні бути постійно у полі зорі лиць, працюючих на лебідках. При монтажі оправи прорізних кілець або перших кілець у камерах дозволяється працювати на лебідках без наявності прямої видимості, при цьому лебідка повинна мати двосторонню звуко-світлову сигналізацію з містом укладки.

Збірка кілець тьобінгової оправи за допомогою лебідок дозволяється тільки при проходці камер довжиною не більше 25 м у стійких породах з надійною кривлею. В деяких випадках ця відстань може бути збільшена, але не більше ніж на 50 м.

Монтаж збірної оправи з наступним стисненням її у породу повинен проводитись під захистом хвостової оболонки щита.

Монтаж оправи при оголеній кривлі боках допускається лише у стійких ґрунтах із захисними огородженнями робочої зони від випадających кусків породи. Ці огородження встановлюються у відповідності з проєктом.

У випадку зупинки щита залишати кільце оправи у не обжатому стані за границею оболонки забороняється.

При обтисканні оправи клиновими блоками зі сторони шелиги склепіння повинні бути передбачені проєктом, виключені випаданням клинового блока.

При обтисканні кілець оправи виносними домкратами вище рівня горизонтального діаметра повинна бути передбачена проєктом, виключаючи випадання вкладишів та виносних домкратів у місцях обжимання.

Домкрати для обтискання або вкладишів у місцях обтискання кільця оправи повинна встановлюватися зі спеціальними висувних площадок, що встановлюються на щиті або візку укладальника.

ВИСНОВКИ

1. В бакалаврській роботі виконано аналіз інженерно-геологічних умов будівництва. На основі проведених вишукувань можна зробити висновок, що станція пілонного типу глибокого закладення перетинає ґрунти з різними фізико-механічними властивостями та вологістю, але їх можна характеризувати як слабкі та водонасичені.

2. На основі досліджених інженерно-геологічних умов проведене варіантне проєктування станції пілонного типу глибокого закладення та виконане техніко-економічне порівняння. Прийнято варіант № 2 (оправа з чавунних тюбінгів), оскільки трудовитрати на його спорудження є мінімальними, також цей варіант задовольняє інженерно-геологічним умовам.

3. Визначено навантаження на оправу пілонної станції. Проведений статичний розрахунок станційної конструкції методом скінченних елементів, для чого розроблено скінченно-елементну схему на основі еквівалентних стержнів. Отримано силові фактори, на основі яких побудовано епюри.

4. Обґрунтовано параметри міцності конструктивного елементу станційного тунелю (чавунний тюбінг). Умова міцності чавунного тюбінгу оправи як елементу, що працює в умовах стиснення з вигином, виконана, запас міцності понад 20 разів.

5. Обґрунтовано технологію спорудження станції пілонного типу в слабких глинястих породах. Розроблені основні положення спорудження пілонної станції методом пілот-тунелю та алгоритм технології спорудження пілонів та проходів. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Айвазов, Ю. М. Проектування метрополітенів (у 3-х частинах). Навчальний посібник. Частина 2 [Текст] / Ю. М. Айвазов. – Київ: НТУ, 2009. – 216 с.
2. Гайко, Г. І. Конструкції кріплення підземних споруд: Навчальний посібник [Текст] / Г. І. Гайко. – Алчевськ: ДонДНУ, 2006 – 133 с.
3. ДБН Д.1.1-1-2000 Правила визначення вартості будівництва [Текст]. – Київ: Держбуд України, 2003. – 148 с.
4. ДСТУ Б Д.2.2-29:2012 Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Тунелі та метрополітени (Збірник 29) (ДБН Д.2.2-29-99, MOD) [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. – 271 с.
5. ДБН В.2.3-7-2010. Споруди транспорту. Метрополітени [Текст]. – Київ: ДП «Укравхбудінформ», 2011. – 195 с.
6. Заворицкий, В. И. Проектирование подземных транспортных сооружений [Текст] / В. И. Заворицкий. – Київ: Будівельник, 1975. – 204 с.
7. Кауфман, Л. Л. Строительство тоннелей. Часть II. [Текст] / Л. Л. Кауфман, Н. И. Кулдыркаев, Б. А. Лысиков. – Донецк: Норд-Прес, 2006. – 330 с.
8. Лысиков Б. А. Использование подземного пространства [Текст] / Б.А. Лысиков, А.А. Калюхин. – Донецк: Вебер, 2008. – 416 с.
9. Петренко, В. Д. Методичні вказівки для курсового 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.
10. 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.
11. Петренко, В. И. Опыт освоения подземного пространства

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

12. 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.

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

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

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