

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)

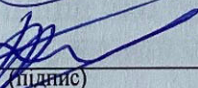
на тему: Розробка технології спорудження перегінного тунелю
на основі щитової проходки в слабких ґрунтах
за освітньою програмою «Мости і транспортні тунелі»
зі спеціальності: 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: MT1911


(підпис студента)

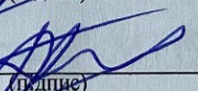
/ Даніїл ТЕН /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:


(підпис)

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

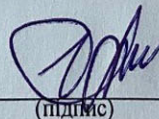
Нормоконтролер:


(підпис)

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

Консультант:

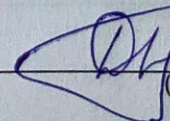
Охорона праці та безпека в
надзвичайних ситуаціях
(назва розділу)


(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)

ЗАЯВА

Я, Пен Даніїл Дмитрович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

студента(ки) групи МТ 1911 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:

Розробка технології спорудження перегінного тунелю
на основі щитової проходки в слабких ґрунтах

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)

Пен
(підпис)

Пен Даніїл Дмитрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Дата

14.06.2023

Керівник ВКР

[підпис]
(підпис)

Олександр Родіон
(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»

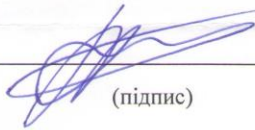
Тема Данила Дмитровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: Розробка технології спорудження
перехідного пристрою на основі чипових
приладів в складних умовах

в роботі не виявлено порушень академічної доброчесності.

Керівник ВКР


(підпис)

Олександр Рокша

(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: Development of a construction technology
for the running tunnel based on shield technology in weak soils
 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: MT1911 / Daniil TEN /
 (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 Тену Даніїлу Дмитровичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Розробка технології спорудження перегінного тунелю на основі щитової проходки в слабких ґрунтах

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 (слабкі ґрунти), конструкцій перегінного тунелю метрополітену та дані, що отримані під час пошуку в Internet.

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

Вступ. Розділ 1. Інженерно-геологічні умови спорудження тунелю. Розділ 2. Варіантне проєктування оправи перегінного тунелю. Розділ 3. Розрахунок оправи перегінного тунелю. Розділ 4. Зведення перегінного тунелю на основі щитової проходки в слабких ґрунтах. Розділ 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

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

Лист 1. Варіанти оправ. Лист 2. Оправа із залізобетонних блоків. Лист 3. Загальний вид щитового комплексу "Herrenknecht". Лист 4. Циклограма виробництва робіт.

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 спорудження тунелю. Розділ 2. Варіантне проєктування оправи перегінного тунелю.	01.05.2023 – 07.05.2023	
2	Розділ 3. Розрахунок оправи перегінного тунелю.	22.05.2023 – 28.05.2023	
3	Розділ 4. Зведення перегінного тунелю на основі щитової проходки в слабких ґрунтах. 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)

Даніїл ТЕН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Олексій ТЮТКІН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:

47 стор., 10 рис., 4 табл., 15 літературних джерел.

Об'єкт розробки – перегінний тунель.

Мета роботи – розробка технології спорудження перегінного тунелю на основі щитової проходки в слабких ґрунтах.

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

В бакалаврській роботі виконано аналіз інженерно-геологічних умов спорудження тунелю. Проведене варіантне проєктування оправи перегінного тунелю та виконане техніко-економічне порівняння.

Виконаний розрахунок навантажень на перегінний тунель. Проведений розрахунок залізобетонної оправи як кільця, що вільно деформується. Відшукано міцність конструктивного елементу перегінного тунелю (залізобетонний блок).

Розроблена технологія спорудження перегінного тунелю на основі щитової проходки в слабких ґрунтах. Розроблені технологічні процеси руйнування та транспортування породи, монтажу та гідроізоляції тунельної оправи, проведений розрахунок вентиляції при проходці. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: ПЕРЕГІННИЙ ТУНЕЛЬ, ЩИТОВА ПРОХОДКА, СЛАБКІ ҐРУНТИ, РОЗРАХУНОК ОПРАВИ, ТЕХНОЛОГІЯ СПОРУДЖЕННЯ, МЕТРОПОЛІТЕН, ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ СПОРУДЖЕННЯ ТУНЕЛЮ.....	9
РОЗДІЛ 2 ВАРІАНТНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ОПРАВИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ	10
2.1 Варіант 1. Оправа із чавунних тюбінгів.....	10
2.2 Варіант 2. Оправа із залізобетонних тюбінгів В30.....	11
2.3 Варіант 3. Оправа із залізобетонних блоків В40 (універсальна).....	12
2.4 Техніко-економічне обґрунтування варіантів.....	13
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ОПРАВИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ.....	19
3.1 Визначення навантажень на перегінний тунель	19
3.2 Розрахунок оправи за методом кільця, що вільно деформується	20
3.3 Перевірка на міцність залізобетонного блока.....	23
РОЗДІЛ 4 ЗВЕДЕННЯ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ НА ОСНОВІ ЩИТОВОЇ ПРОХОДКИ В СЛАБКИХ ҐРУНТАХ	27
4.1 Визначення основних розмірів щита	27
4.2 Технологія виробничого процесу	31
4.2.1 Розробка ґрунту	31
4.2.2 Транспортування ґрунту.....	32
4.2.3 Монтаж тунельної оправи	33
4.2.4 Гідроізоляція тунельної оправи	34
4.3 Розрахунок вентиляції при проходці	35
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	37
5.1 Роботи, що виконуються на об'єкті	37
5.2 Машини та механізми, які задіяні на об'єкті	37
5.3 Основні небезпечні виробничі фактори.....	37
5.4 Проходка тунелів механізованими щитами	38
5.5 Монтаж збірної оправи	38
5.6 Аварійні ситуації при проходці тунелю щитовим комплексом	41
ВИСНОВКИ.....	45
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	46

ВСТУП

Перегінний тунель метрополітену – це підземна споруда позавуличної місцевої залізниці ширини колії 1520 мм, довжина якого значно перевищує поперечні розміри. Ці тунелі призначені для руху поїздів і по своїй протяжності є складовою основних частин метрополітену. Перегінні тунелі з'єднують між собою станції метрополітену.

При будь-якому закладенні станцій метрополітену, як правило, споруджують два паралельних одноколійних перегінних тунелі кругового поперечного перерізу із габаритом 5,1 м. Перегінні тунелі метрополітену зазвичай прокладають на найкоротших відстанях між станціями, що також обґрунтовується вимогами безпеки (потенційне виникнення пожежі всередині тунелю).

Широко застосованою технологією спорудження перегінних тунелів є щитова проходка, яка використовує для більшості технологічних процесів (руйнування та транспортування породи, монтаж та гідроізоляція тунельної оправи тощо) потужний комплекс, головним механізмом якого є прохідницький щитовий комплекс.

Завдяки розвиненій виробничо-технічній базі та використанню щитових механізованих комплексів досягнуті висока продуктивність праці та великі швидкості проходки перегінних тунелів. Щитова проходка є основним способом спорудження тунелів у м'яких і нестійких породах, у складних інженерно-геологічних умовах.

Щитові комплекси розроблені для широкого спектру міцності гірських порід – від найслабкіших до міцних (tunnel boring machine). Відповідно, наявність тієї чи іншої породи наводить перелік вимог до комплексу, тобто його параметри слід розраховувати та обґрунтовувати (геометричні параметри щита, його маневреність, кількість гідроциліндрів тощо). Однак, для випадку слабких порід складність щитової проходки збільшується, що пов'язане із активним формуванням гірського тиску.

Різноманітність інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов, у яких споруджуються перегінні тунелі, виключає стандартний підхід до вибору типів конструкції оправ і способів виконання робіт. У кожному випадку умов можливі різні проєктні рішення, і тому вибір найбільш доцільного з них вимагає творчого застосування знань.

Проектування оправ для щитової проходки в слабких ґрунтах базується на виборі такої несучої конструкції, що буде не тільки витримувати дію постійних навантажень (гірський та гідростатичний тиски), а й тимчасових (вплив гідроциліндрів, маса щитового комплексу). Навіть під час техніко-економічного порівняння слід користуватися досвідом застосування оправ з різних матеріалів, щоб обрати не лише найменш трудомісткий, а й такий, що відповідає інженерно-геологічній ситуації з її особливостями, характерними для слабких ґрунтів.

Такий же самий принцип покладений в основу вибору щитового комплексу, який повинен мати систему протидії слабкому ґрунту в лобовій частині (систему привантаження). Сучасними щитами, які успішно застосовуються в слабких ґрунтах, є ті, що мають ґрунтове або комбіноване привантаження лобу забою в ножовому кільці (фірми «Ловат» та «Херренкнехт»).

Метою випускної кваліфікаційної роботи є розробка технології спорудження перегінного тунелю на основі щитової проходки в слабких ґрунтах. Для досягнення цієї мети був проведений комплекс розрахунків, який обґрунтовує конструкцію та матеріал оправи, доводить її міцність, а також повною мірою викладає результати розробки технологічних процесів щитової проходки в слабких породах.

РОЗДІЛ 1

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ СПОРУДЖЕННЯ ТУНЕЛЮ

Інженерно-геологічні умови представлені слабкими ґрунтами, характеристики яких наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Фізико-механічні характеристики ґрунтів

Номер ІГЕ	Найменування ґрунту	Нормативні значення					
		Коефіцієнт пористості	Модуль деформації, МПа	Коефіцієнт фільтрації, м/добу	Щільність ґрунту, т/м ³	Питоме зчеплення, МПа	Кут внутр. тертя, град.
		е	Е	К _ф	ρ	с	φ
1	Насипний ґрунт	—	—	—	1,60	—	—
1а	Рослинний ґрунт	—	—	—	1,52	—	—
2	Пісок	0,65	20	5-8	1,70	0,002	30
3	Супісок пластичний	0,70	9	0,5	1,75	0,013	24
4	Пісок	0,60	30	3-12	1,85	0,001	31
5	Супісок твердий	0,65	19	0,5	1,75	0,016	25
5а	Супісок пластичний	0,77	10	0,5	1,85	0,010	21
6	Суглинок твердий,	0,54	20	0,05	1,98	0,034	16
6а	Суглинок	0,60	11	0,05	2,04	0,020	18
6г	Глина	0,65	27	0,005	2,02	0,122	9
7	Глина строката	0,75	30	0,005	1,98	0,157	9
8	Суглинок твердий,	0,55	20	0,05	2,00	0,070	17
9	Супісок твердий	0,64	19	0,5	1,82	0,024	24
10	Пісок	0,59	38	3-8	1,80	0,001	34
11	Пісок	0,59	37	3-7	1,82	0,001	34
12	Супісок пластичний	0,70	13	0,5	1,87	0,018	22
13	Суглинок	0,86	14	0,05	1,91	0,026	19
14	Глина	0,72	28	0,005	1,99	0,090	11

Міцність ґрунтів, що проходяться щитом, складає не більше $f=0,6...0,8$.

РОЗДІЛ 2

ВАРІАНТНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ОПРАВИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ

2.1 Варіант 1. Оправа із чавунних тюбінгів

Конструктивні рішення чавунних тюбінгових оправ відрізняються кількістю типорозмірів елементів, що складають кільце (рис. 2.1) [1, 9, 10].

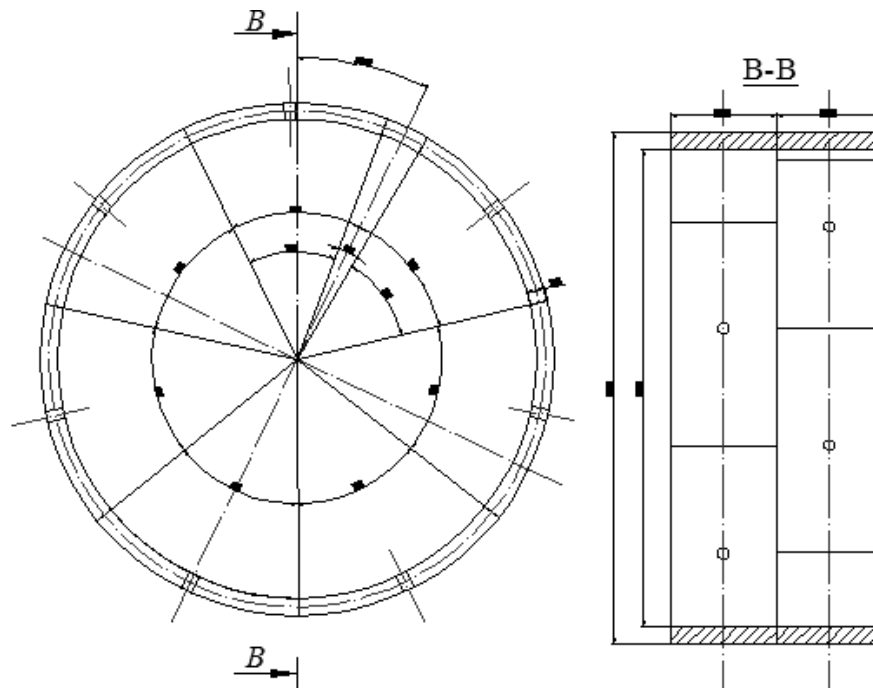


Рисунок 2.1 – Оправа із чавунних тюбінгів

Для визначення товщини тюбінгів слід скористатися емпіричною формулою:

$$h = n^3 \sqrt{\frac{R_{\text{вн}}^2}{f}} = 7,5 \cdot \sqrt{\frac{2,75^2}{0,6}} = 17,45 \text{ см}, \quad (2.1)$$

де $R_{\text{вн}}$ – внутрішній радіус оправ в м; f – коефіцієнт міцності породи, за класифікацією проф. М. М. Протод'яконова; n – емпіричний коефіцієнт, який дорівнює $n=7.5$ для чавунних тюбінгів;

Приймаємо $h = 20$ см.

Розміри елементів оправ, отримані розрахунком, округляють до 5 см.

2.2 Варіант 2. Оправа із залізобетонних тюбінгів В30

Залізобетонні тюбінгові оправи без плоского лотка за принциповим конструктивним рішенням аналогічні чавунним: у кільце оправи входять три типорозміри тюбінгів – «н», «з», «с» [8, 10].

Для визначення товщини блоків користуємося емпіричною формулою:

$$h = n^3 \sqrt{\frac{R_{\text{вн}}^2}{f}} = 9 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,75}{0,6}} = 20,95 \text{ см}, \quad (2.2)$$

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

Приймаємо $h = 25$ см.

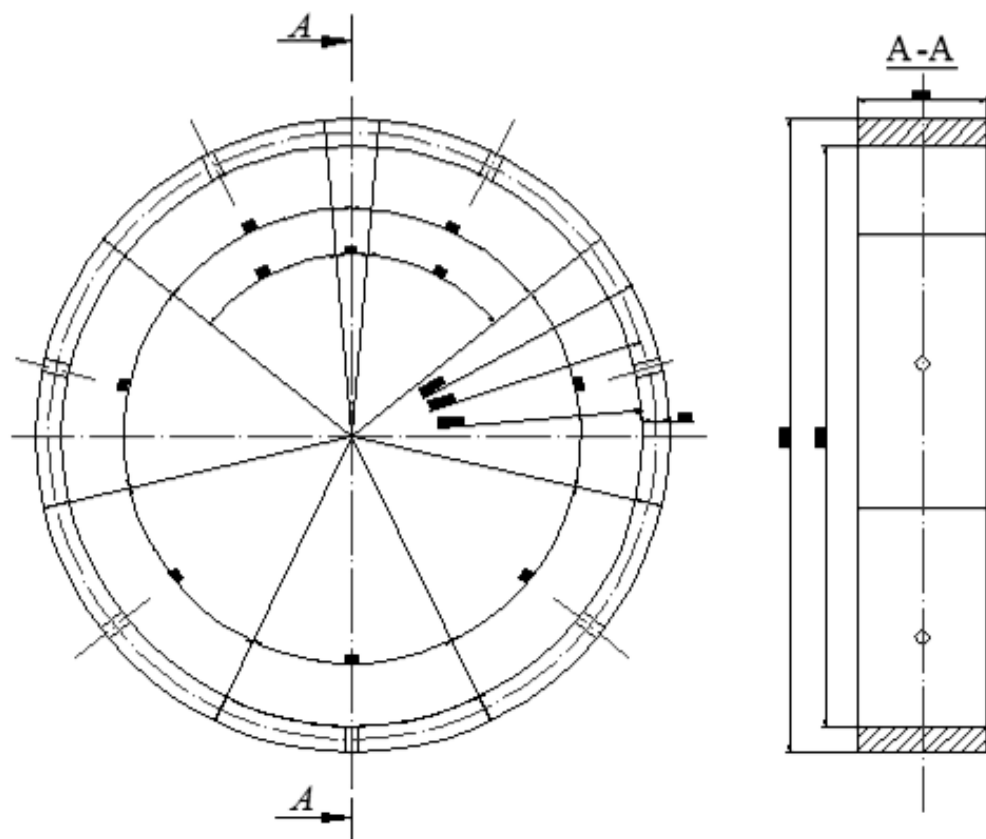


Рисунок 2.2 – Оправа із залізобетонних тюбінгів

2.3 Варіант 3. Оправа із залізобетонних блоків В40 (універсальна)

Для визначення товщини блоків слід скористатися емпіричною формулою [10]:

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

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

Приймаємо $h = 25$ см.

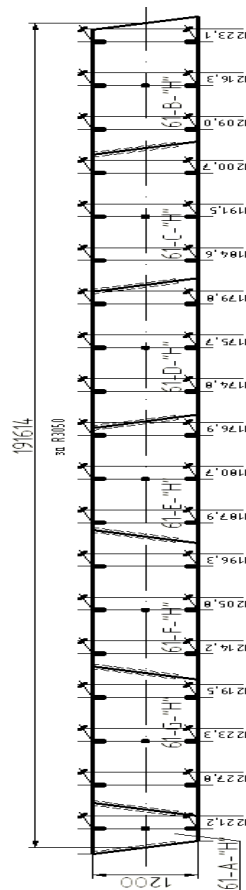


Рисунок 2.3 – Розгортка кільця $D_{\text{зовн}}/D_{\text{вн}}=6100/5600$

(вигляд з зовнішньої сторони)

Кожне універсальне кільце можна обертати відносно поздовжньої осі тунелю в межах 360° з перев'язкою блоків окремих кілець на половину їх довжини. Це дає можливість коригувати положення щита при проходці.

2.4 Техніко-економічне обґрунтування варіантів

Після визначення параметрів трьох варіантів оправи виконується їх техніко-економічне обґрунтування з метою встановлення найбільш економічного за трудовитратами варіанта, який далі приймається для статичного розрахунку [4, 5]. Для цього для кожного з них виконується розрахунок об'ємів робіт зі спорудження одного метра тунелю. У перелік робіт входять:

Варіант 1. Оправа із чавунних тюбінгів

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

$$V_p = \frac{\pi D_{3H}^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 5.9^2}{4} = 27.33 m^3, \quad (2.3)$$

де D_{3H} – зовнішній діаметр оправи.

2. Навантаження породи (m^3):

$$V_n = k_p V_p = 1.1 \cdot 27.33 = 30 m^3, \quad (2.4)$$

де k_p – коефіцієнт розпушення дорівнює 1.1.

3. Монтаж чавунної оправи (m^3):

$$V_k = \lambda \frac{\pi}{4} (D_{3H}^2 - D_{BH}^2) = 0.7 \cdot \frac{3.14}{4} \cdot (5.9^2 - 5.5^2) = 2.51 m^3, \quad (2.5)$$

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

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

$$G_k = (0,24...0,30) \gamma \frac{\pi}{4} (D_{3H}^2 - D_{BH}^2) = 0.24 \cdot 7.2 \cdot \frac{3.14}{4} (5.9^2 - 5.5^2) = 6,2 m, \quad (2.6)$$

де γ – питома вага чавуну, СЧ-21-40 $\gamma = 72.0 kH/m^3 = 7.2 m/m^3$

4. Нагнітання за оправу (m^2):

$$S_k = L_k \cdot 1 = \pi D_{3H} = 3.14 \cdot 5.9 = 18.53 m^2, \quad (2.7)$$

де L_k – довжина дуги кільця по зовнішньому діаметру.

5. Чеканення швів (на один метр тунелю):

$$L_{ч.ш.} = L_{BH} + n \cdot 1 = \pi D_{BH} + n = 3.14 \cdot 5.5 + 7 = 24.27 \text{ пог.м}, \quad (2.8)$$

де L_{BH} – довжина кола оправы по внутрішньому діаметру; n – кількість поздовжніх швів у оправі.

Таблиця 2.1 – Розрахунок трудовитрат Варіанту № 1

№ п/п	Найменування робіт	Шифр	Од. виміру	Об'єм робіт	Трудовитрати, чол.год	
					На одиницю	На об'єм
1.	Розробка породи	29-80-7	100 m^3	27.33	38,55	10,54
2.	Навантаження породи	29-94-1	100 m^3	30	41,08	12,35
3.	Монтаж оправы	29-128-4	1 т	6,20	4,55	28,16
4.	Нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу	29-138-6	100 m^2	18,53	68,1	12,25
5.	Чеканка швів	29-145-16	100 м	24.27	276,5	69,90
					Всього:	133,20

Варіант 2. Оправа із залізобетонних тюбінгів В30

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

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

де D_{3H} – зовнішній діаметр оправы.

2. Навантаження породи (m^3):

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

де k_p – коефіцієнт розпушення дорівнює 1,1.

3. Монтаж залізобетонної оправи (m^3):

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

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

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

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

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

4. Нагнітання за оправу (m^2):

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

де L_k – довжина дуги кільця по зовнішньому діаметру.

5. Чеканення швів (на один метр тунелю):

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

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

Таблиця 2.2 – Розрахунок трудовитрат Варіанту № 2

№ п/п	Найменування робіт	Шифр	Од. виміру	Об'єм робіт	Трудовитрати, чол.год	
					На одиницю	На об'єм
1.	Розробка породи	29-80-7	100 м ³	28,26	38,55	10,88
2.	Навантаження породи	29-94-1	100 м ³	31,1	41,08	12,75
3.	Монтаж оправи	29-126-13	100 м ³	3,16	3570,8	112,81
4.	Нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу	29-138-6	100 м ²	18,84	68,1	12,83
5.	Чеканка швів	29-145-11	100 м	24,27	100,33	24,35
					Всього:	173,64

Варіант 3. Оправа із залізобетонних блоків В40 (універсальна)

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

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

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

2. Навантаження породи (м³):

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

де k_p – коефіцієнт розпушення дорівнює 1,1.

3. Монтаж залізобетонної оправи (m^3):

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

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

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

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

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

4. Нагнітання за оправу (m^2):

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

де L_k – довжина дуги кільця по зовнішньому діаметру.

5. Чеканення швів (на один метр тунелю):

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

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

Таблиця 2.3 – Розрахунок трудовитрат Варіанту № 3

№ п/п	Найменування робіт	Шифр	Од. виміру	Об'єм робіт	Трудовитрати, чол.год	
					На одиницю	На об'єм
1.	Розробка породи	29-80-7	100 м ³	29,21	38,55	11,26
2.	Навантаження породи	29-94-1	100 м ³	32,13	41,08	13,2
3.	Монтаж оправи	29-126-11	100 м ³	4,59	1550,4	71,16
4.	Нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу	29-138-6	100 м ²	19,15	68,1	13,28
5.	Чеканка швів	29-145-11	100 м	24,58	100,33	24,66
					Всього:	133,56

Після проведеного техніко-економічного порівняння можна зробити висновок, що Варіанти 1 та 3 мають близькі значення трудовитрат, але, оскільки чавун є більш дорогим матеріалом, в якості розрахункового обираємо Варіант 3 – оправа із залізобетонних блоків В40 (універсальна).

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ОПРАВИ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ

3.1 Визначення навантажень на перегінний тунель

Статичний розрахунок оправи слід проводити для можливих несприятливих сполучень основних та додаткових навантажень [3, 7]. При визначенні нормативних навантажень від тиску порід і гідростатичного тиску підземних вод потрібно керуватися такими міркуваннями [10].

У розріджених і слабких зволжених породах (мулкі породи, пливуні, глини і суглинки текучої і м'якопластичної консистенції) нормативна величина вертикального гірського тиску дорівнює повній вазі порід, що залягають над тунелями [6]:

$$q_b^H = \sum \gamma_i h_i = 16 \cdot 2 + 18 \cdot 6,5 = 149 \text{ кН/м}^2, \quad (3.1)$$

де γ_i і h_i – відповідно питома вага і потужність i -го шару порід, який залягає вище: для піску $\gamma=16 \text{ кН/м}^3$, потужність шару становить 2 м; для супіску $\gamma=18 \text{ кН/м}^3$, потужність шару – 6,5м.

Горизонтальний тиск у цих породах є активним, і його нормативна середня розрахункова інтенсивність складає за результатами досліджень.

$$q_r^H = (0,8...0,9) q_b^H = 0,9 \cdot 149 = 134,1 \text{ кН/м}^2, \quad (3.2)$$

На рівні замка оправи горизонтальний тиск буде дорівнювати

$$q_r^3 = (0,8...0,9)(q_b^H - \gamma R_{3H}) = 0,9 \cdot (149 - 18 \cdot 3,05) = 84,69 \text{ кН/м}^2, \quad (3.3)$$

а на рівні лотка

$$q_r^n = (0,8...0,9)(q_b^H + \gamma R_{3H}) = 0,9 \cdot (149 + 18 \cdot 3,05) = 183,51 \text{ кН/м}^2, \quad (3.4)$$

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

Інтенсивність реакції породи, яка врівноважує інтенсивність вертикального гірського тиску, власної ваги оправи і виштовхувальної сили (тільки у зволожених породах), знаходять як:

$$P = q_{\text{в}}^{\text{р}} + \pi g - 0,5\pi R_{\text{зн}} = 163,9 + 3,14 \cdot 9,81 - 0,5 \cdot 3,14 \cdot 3,05 = 189,91 \text{ кН}, \quad (3.5)$$

де $q_{\text{в}}^{\text{р}}$ – розрахункове значення вертикального тиску; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Відповідно до вимог ДБН [1] у розрахунку оправи за несучою здатністю величину розрахункових навантажень визначають шляхом множення нормативних навантажень на коефіцієнт перевантаження n :

$$q_{\text{в}}^{\text{р}} = nq_{\text{в}}^{\text{н}} = 1,1 \cdot 149 = 163,9 \text{ кН/м}^2, \quad (3.6)$$

$$q_{\text{г}}^{\text{р}} = nq_{\text{г}}^{\text{н}} = 0,9 \cdot 183,51 = 165,16 \text{ кН/м}^2, \quad (3.7)$$

Нормативна власна вага оправи визначається як:

$$p^{\text{н}} = \frac{G_{\text{к}}}{2\pi r} = \frac{13,77}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,15} = 0,75, \quad (3.8)$$

де $G_{\text{к}}$ – маса кільця оправи (приймається за об'ємом, який визначено під час проектування варіантів); $r = \frac{R_{\text{вн}} + R_{\text{зн}}}{2} = \frac{2,8 + 3,05}{2} = 2,9 \text{ м}$ – середній радіус оправи.

Розрахункове значення власної ваги оправи визначається множенням на коефіцієнт перевантаження $p^{\text{р}} = np^{\text{н}} = 1,1 \cdot 0,75 = 0,825$.

3.2 Розрахунок оправи за методом кільця, що вільно деформується

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

навантажень. Розрахункова схема оправи для методу кільця, що вільно деформується, є розрахунковою схемою методу сил (рис. 3.1) [10, 15].

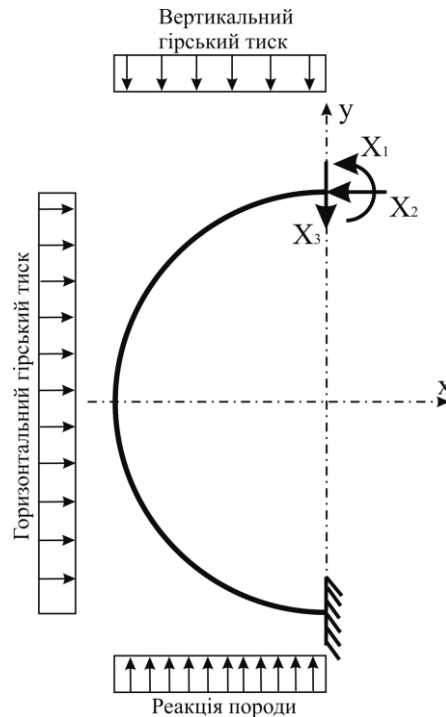


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема методу сил

Канонічними рівняннями деформації такої системи є:

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

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

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

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

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

Визначити зусилля в перерізах оправи (на 1 м тунелю) від основних навантажень можна за допомогою файлу Excel for Windows – **MKVD.xls**, який розміщений у каталозі розрахункових програм **TONNEL**. Нижче наведена роздруківка програми із вихідними даними та результатами розрахунку.

Розрахунок оправи методом кільця, що вільно деформується

Тип тунелю	Тен Д. (перегінний)	
Введіть глибину закладення, м	H	8,5
Введіть висоту води, м	H_6	6
Введіть питому вагу ґрунту, кН/м ³	γ	20
Введіть внутрішній радіус оправи, м	$R_{вн}$	2,8
Введіть зовнішній радіус оправи, м	$R_{зн}$	3,05
Введіть розрахункове значення вертикального тиску, кН/м ²	q_6^p	163,9
Введіть розрахункове значення горизонтального тиску на рівні замку, кН/м ²	q_2^3	76,22
Введіть різницю між розрахунковим значенням горизонтального тиску на рівні лотку і замку, кН/м ²	q_p P	165,16
Введіть розрахункове значення інтенсивності реакції породи, кН/м ²		189,91
Введіть розрахункове значення власної ваги оправи, кН/м ²	p^p	7,5

Розрахунок згинальних моментів, кН·м**Момент, М**

	p^p	q_6^p	q_6	q_2^3	q_p	P	Сумар- ний
Кут нахилу	Від	Від	Від	Від	Від	Від	
0	34,9	455,9	-38,3	-177,3	-161,3	-86,6	27,3
45	9,9	27,4	-7,0	0,0	-4,8	-31,8	-6,3
90	-39,8	-468,1	43,7	177,3	192,1	100,7	5,8
135	-21,7	-135,8	23,9	0,0	132,3	157,4	156,0
180	104,7	895,0	-114,9	-177,3	32,3	-595,4	144,4

Розрахунок нормальних сил, кН**Нормальна сила N**

	p^p	q_6^p	q_6	q_2^3	q_p	P	Сумарна
Кут нахилу	Від	Від	Від	Від	Від	Від	
0	-11,4	-53,0	23,4	232,5	157,7	61,4	410,6
45	5,8	212,5	21,5	116,2	103,9	43,4	503,3
90	35,9	499,9	18,5	0,0	0,0	0,0	554,3
135	46,2	391,0	19,7	116,2	148,0	-163,3	557,7
180	11,4	53,0	28,1	232,5	346,1	-61,4	609,7

3.3 Перевірка на міцність залізобетонного блока

Після визначення згинальних моментів і нормальних сил у перерізах оправи з максимальним згинальним моментом проводять перевірку на міцність. Для цього будують епюри моментів та нормальних сил із визначенням двох перерізів з максимальними згинальними моментами різних знаків, розглядаючи блоки оправи як елементи, що працюють в умовах стиснення з вигином [10].

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

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

Для поздовжньої робочої арматури потрібно застосовувати стержні діаметром не менше 12 мм і не більше 40 мм. Мінімальна відстань у світлі між стержнями арматури повинна бути не менша діаметра стержня і не менша 25 мм. Найбільшу відстань між осями стержнів робочої арматури приймають не більше за 1,5 товщини елемента.

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

1. Визначення площі поперечного перерізу блока:

$$A_b = bh, \quad (3.9)$$

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

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

2. Попереднє визначення площі арматури:

$$A_s^{\text{сум}} = \mu A_b, \quad (3.10)$$

$$A_s^{\text{сум}} = \mu A_b = 0,02 \cdot 0,3 = 0,006 \text{ м}^2$$

3. Площа поперечного перерізу одного стержня становить:

$$A_{\text{ст}} = \pi r_{\text{ст}}^2, \quad (3.11)$$

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

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

4. Визначення кількості стержнів робочої арматури:

$$n = \frac{A_s^{\text{сум}}}{A_{\text{ст}}}, \quad (3.12)$$

$$n = \frac{A_s^{\text{сум}}}{A_{\text{ст}}} = \frac{0,006}{0,000254} = 23,62$$

Кількість стержнів округлюється до цілого парного значення.

Приймаємо 24 стержні.

5. Фактична площа арматури становить:

$$A_s^{\text{факт}} = A_s + A'_s = n A_{\text{ст}}, \quad (3.13)$$

$$A_s^{\text{факт}} = 24 \cdot 0,000254 = 0,0061 \text{ м}^2$$

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

$$A_s = A'_s = \frac{A_s^{\text{факт}}}{2}, \quad (3.14)$$

$$A_s = \frac{0,0061}{2} = 0,00305 \text{ м}^2$$

7. Визначення ексцентриситету нормальної сили e_0 відносно геометричної осі центру ваги перерізу елемента (рис. 3.2-3.3):

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{69,9}{357,9} = 0,195 \text{ м}, \quad (3.15)$$

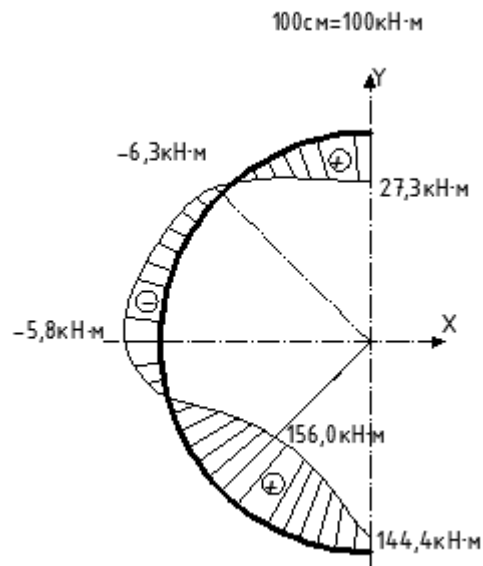


Рисунок 3.2 – Епюра згинальних моментів

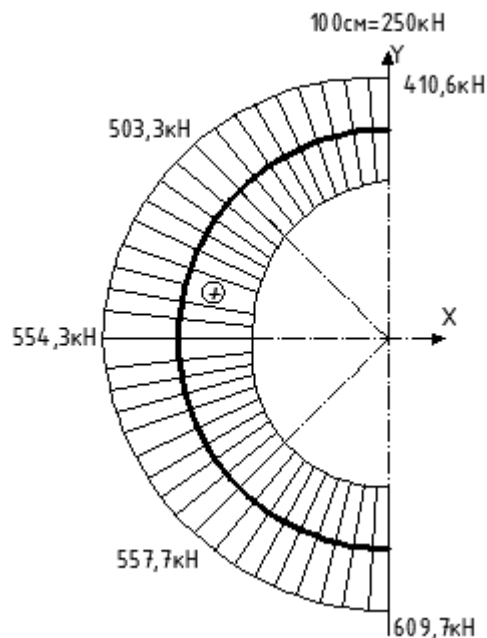


Рисунок 3.3 – Епюра нормальної сили

8. Перевірку блоків на міцність проводять за формулою розрахунку перерізів, які працюють у режимі позacentрового стиску:

$$N \cdot e \leq R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'), \quad (3.16)$$

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

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

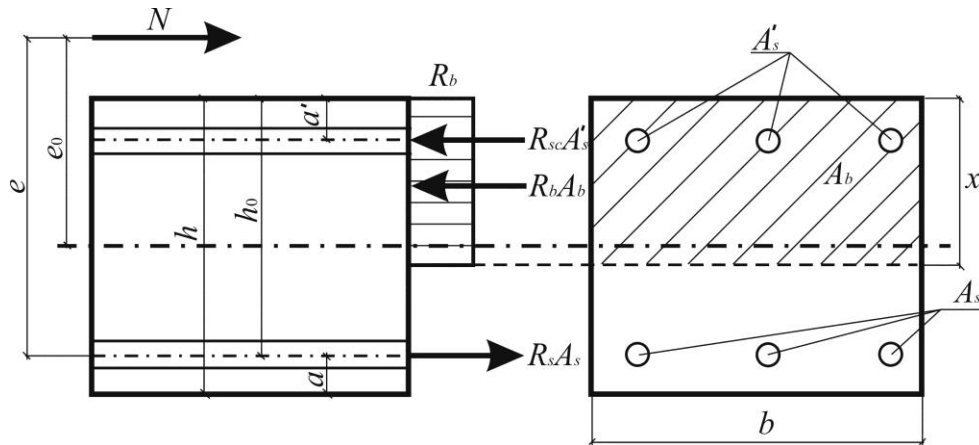


Рисунок 3.4 – Схема позначень для розрахунку на міцність

$$e = e_0 + \frac{h}{2} - a = 0,195 + \frac{0,25}{2} - 0,02 = 0,3 \text{ м} \quad (3.17)$$

9. Ширина стиснутої зони x визначається з формули

$$N + R_s A_s - R_{sc} A'_s = R_b b x, \quad (3.18)$$

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

$$x = \frac{N}{R_b b}, \quad (3.19)$$

$$x = \frac{N}{R_b b} = \frac{357,9}{22000 \cdot 0,25} = 0,065 \text{ м}$$

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

$$357,9 \cdot 0,3 \leq 22000 \cdot 0,25 \cdot 0,065 (0,221 - 0,5 \cdot 0,065) + 356000 \cdot 0,00305 (0,221 - 0,029)$$

$$107,37 \leq 275,86$$

Умова виконується, запас міцності дорівнює 2,57 рази, отже переріз елементів оправи та стержнів армування підібраний вірно.

РОЗДІЛ 4

ЗВЕДЕННЯ ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ НА ОСНОВІ ЩИТОВОЇ ПРОХОДКИ В СЛАБКИХ ГРУНТАХ

4.1 Визначення основних розмірів щита

Прохідницький комплекс складається з наступних частин (рис. 4.1) [13, 14]: Щит; Ротор; Привід ротору; Еректор; Подаючий контур; Шлюзи для персоналу; Візок; Транспортна трубопровідна мережа.

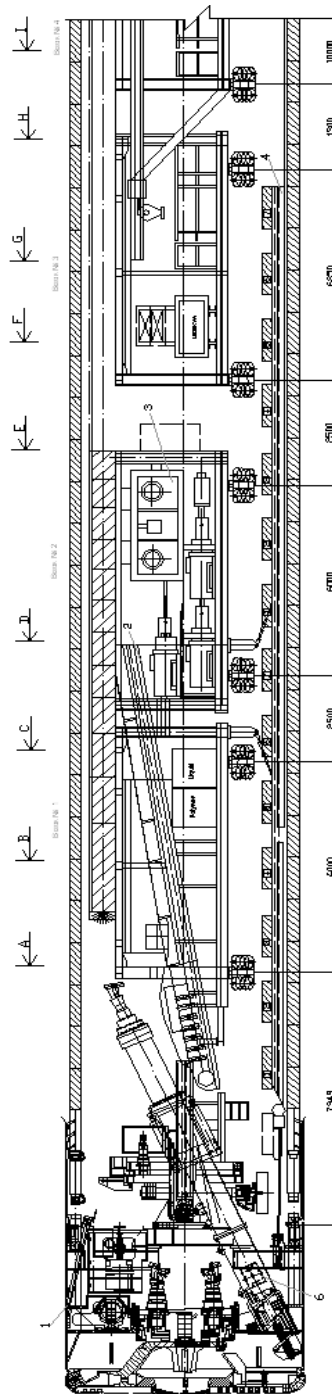


Рисунок 4.1 – Щитовий комплекс «Херренкнехт»

1. Повна довжина щита [10]:

$$L_{щ} = L_{нч} + L_{ок} + L_{хо}, \quad (4.1)$$

де $L_{нч}$ – довжина ножової частини, приймається рівною 1,0...1,2 м; $L_{ок}$ – довжина опорного кільця; $L_{ок}=2b$, де b – ширина кільця оправи; $L_{хо}$ – довжина хвостової оболонки щита, $L_{хо}=l_1+l_2+l_3$, де $l_1=(1,2...2,2)b$ – довжина перекриття кільця оправи ($1,2b$ приймається для стійких порід, $2,2b$ – для нестійких); $l_2=0,6$ м – довжина виступаючої під оболонку частини щитового гідроциліндра; $l_3=0,15$ м – величина зазору між опорною плитою щитового гідроциліндра і торцевою площиною оправи.

Приймаємо: $L_{нч}=1$ м;

$$L_{ок} = 2 \cdot b = 2 \cdot 1,2 = 2,4 \text{ м}$$

$$L_{хо} = 2 + 0,6 + 0,15 = 2,75 \text{ м}$$

Звідси

$$L_{щ} = L_{нч} + L_{ок} + L_{хо} = 1 + 2,4 + 2,75 = 6,15 \text{ м}, \quad (4.2)$$

2. Внутрішній діаметр оболонки щита $D_{щ}$ повинен бути дещо більшим за зовнішній діаметр оправи $D_{зн}$ для того, щоб врахувати можливі неточності при монтажі оправи й забезпечити можливість кута повороту щита відносно оправи на криволінійних ділянках траси (0,8 % від $D_{зн}$).

Зовнішній діаметр щита $D_{щ}$ складає

$$D_{щ} = 1,008D_{зн} + 2\delta,$$

де $\delta=30$ мм – товщина оболонки щита.

$$D_{щ} = 1,008D_{зн} + 2\delta = 1,008 \cdot 6,1 + 2 \cdot 0,03 = 6,21 \text{ м}, \quad (4.3)$$

3. Відношення $L_{щ}/D_{щ}$ називається коефіцієнтом маневреності щита. Величина цього коефіцієнта складає 0,4...0,75 для щитів великого, 0,75...1,0 –

середнього і більше, 1,0 – малого діаметрів.

$$L_{щ}/D_{щ}=6,15/6,21=0,99, \quad (4.4)$$

4. Приблизна вага щита визначається за формулою:

$$G_{щ} = 85D_{щ}^2 - 250 = 3027,95кН, \quad (4.5)$$

5. Величина необхідного повного зусилля щитових гідроциліндрів F:

$$F \geq (1,1 \dots 1,3)R, \quad (4.6)$$

де R – загальна сила граничного опору.

$$R=R_1+R_2+R_3+R_4$$

де R_1 – опір щиту породи по лобовій поверхні:

у породах із міцністю $f \geq 1,0$ $R_1=0$, у породах із міцністю $f < 1,0$:

$$R_1 = Sq_e^p = 30,27 \cdot 108,5 = 3284,29кН / м$$

де S – площа поперечного перерізу щита за зовнішнім діаметром;

R_2 – опір щиту породи по зовнішній поверхні:

$$R_2 = f_{m1} \left[(q_e^p + P + q_e^3 + q_e^7) L_{щ} D_{щ} + G_{щ} \right] + 1000 \pi C L_{щ} D_{щ} + 0,05 f_{m1} k_D \Delta L_{щ} D_{щ}, \quad (4.7)$$

де $f_{т1}$ – коефіцієнт тертя сталі по ґрунту ($f_{т1}=0,4 \dots 0,5$); C – питоме зчеплення між ґрунтом та сталлю щита (для сипких, напівскельних та скельних ґрунтів $C=0$; для глинястих – $C=5 \dots 10кН/м^3$); $k_D=(D_0/D_{щ})k$ – наведений коефіцієнт пружного відпору ґрунту ($D_0=5м$ – розмірний коефіцієнт; Δ – обжимання ґрунту боковою поверхнею: при $f \geq 1,0$ він дорівнює нулю; при $f < 1,0$ він

дорівнює:

$$\Delta = \frac{1}{6f + 4} - 0,77 = \frac{1}{6 \cdot 0,6 + 4} - 0,77 = -0,64$$

$$k_D = \frac{D_0}{D_{uy}} k = \frac{5}{6,21} \cdot 5000 = 4025,76 \text{ кН} / \text{м}^3$$

$$\begin{aligned} R_2 = f_{m1} \left[(q_6^p + P + q_2^3 + q_2^a) L_{uy} D_{uy} + G_{uy} \right] + 1000 \pi C L_{uy} D_{uy} + \\ + 0,05 f_{m1} k_D \Delta L_{uy} D_{uy} = 0,45 \left[(165,77 + 191,78 + 91,71 + 179,55) 6,15 \cdot 6,21 + 3027,95 \right] + \\ + 1000 \cdot 3,14 \cdot 0 \cdot 6,15 \cdot 6,21 + 0,05 \cdot 0,45 \cdot 4025,76 \cdot (-0,64) \cdot 6,15 \cdot 6,21 = \\ = 9955,42 \text{ кН} / \text{м} \end{aligned}$$

R_3 – опір щиту частини кріплення, яке розміщене під хвостовою оболонкою знаходять за формулою:

$$R_3 = f_{m2} (1, 2 \dots 2, 2) G_k, \quad (4.8)$$

де f_{t2} – коефіцієнт тертя пари «матеріал оправи – сталь» (для пари «чавун-сталь» $f_{t2}=0,18$; для пари «бетон-сталь» $f_{t2}=0,5$)

$$R_3 = f_{m2} 1,5 G_k = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 16,38 = 12,28 \text{ кН} / \text{м}$$

R_4 – опір щиту частини щитового комплексу, який переміщується разом зі щитом визначається наступним чином:

$$R_4 = k_m f_{m2} G_{uyk}, \quad (4.9)$$

де $k_m=2$ – коефіцієнт місцевого опору; G_{uyk} – вага частини щитового комплексу, який переміщується разом зі щитом, яка приблизно дорівнює вазі щита $G_{щ}$.

$$R_4 = k_m f_{m2} G_{uyk} = 2 \cdot 0,45 \cdot 3027,95 = 2725,155 \text{ кН} / \text{м}$$

Отже

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 3284,29 + 9955,42 + 12,28 + 2725,155 = 15977,145 \text{ кН} / \text{м}$$

$$F \geq 1,3 \cdot 15977,145 \text{ кН} / \text{м}$$

$$F \geq 20770,29 \text{ кН} / \text{м}$$

6. Зусилля одного гідроциліндра дорівнює:

$$P_0 = \frac{(1,3...1,5)F}{n}, \quad (4.10)$$

де n – кількість гідроциліндрів, які визначаються з конструктивних міркувань залежно від діаметра щита (2...3 гідроциліндра на один нормальний блок)

Приймаємо 14 гідроциліндрів

$$P_0 = \frac{(1,3...1,5)F}{n} = \frac{1,4 \cdot 20770,29}{14} = 2077,03 \text{ кН}$$

4.2 Технологія виробничого процесу

4.2.1 Розробка ґрунту

Ґрунт у призабійному просторі відокремлюється від масиву за допомогою різців, які знаходяться на роторі, який обертається [11-13]. Через отвори у роторі ґрунт попадає у робочу камеру. Тут він змішується з вже існуючою у камері пластичною пульпою. Зусилля гідроциліндрів, через кесонну перегородку, передається на пульпу що перешкоджає неконтрольованому вивалу ґрунту з призабійного простору. Стан рівноваги між статичним тиском ґрунту та опорним тиском пульпи у робочій камері забезпечує розробку породи без осідання або спучення поверхні перед щитом.

Ґрунт розробляється і навантажується на стрічковий конвеєр за допомогою шнеку. Потім ґрунт за допомогою стрічкового транспортеру переміщується до машин, які здійснюють відкатку породи до бункеру. По мірі розробки породи, механізований комплекс за допомогою щитових гідроциліндрів, пересувається вперед. Гідроциліндри упираються у раніше змонтоване кільце оправи. Нормальне керування досягається за рахунок комбінації вирівнювання кута

щита, використовуючи при цьому артикуляційні гідроциліндри та штучного вибору циліндрів тяги. Після пересування прохідницького комплексу на 1,3 м, починається монтаж наступного кільця оправи.

4.2.2 Транспортування ґрунту

Розроблений ґрунт через отвори у роторі попадає у робочу камеру, а з неї ґрунт потрапляє на шнековий транспортер. Шнековий переміщує транспортує ґрунт від забою і розвантажує ґрунт на стрічковий конвеєр, що змонтований по центру. Безперервний стрічковий конвеєр переміщує ґрунт до розвантажувального кузова, що розташований під конвеєром на вантажному автомобілі. Стрічковий конвеєр розвантажує ґрунт у кузов, а потім ґрунт вивозиться автомобілями по змонтованому тунелю під кран для видачі на поверхню [11-13].

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

Ґрунт з стрічкового транспортеру попадає до з'ємного кузова, який встановлено на автомобілі КрАЗ. Розроблений на довжину 1,2 м ґрунт (на одне кільце оправи) в об'ємі 38 м³ вантажиться на чотири автомашини. Автомашини, перша з яких завозить комплект блоків на кільце оправи, слідує по тунелю одна за одною та послідовно завантажується ґрунтом. Автомобіль доставляє ґрунт у камеру, де проводиться стропова кузову за чотири проушини та підйом його на поверхню за допомогою козлового крану КС-50-42Б. На обладнаній площадці розвантаження кузов опускають на землю, стропують його на дві передні

проушини по дві стропи на проушину, відкривають кріплення заднього борту та виконують розвантаження ґрунту. Потім кузов опускають на землю, запирають кріплення заднього борту, стропують кузов за чотири точки, опускають у монтажну камеру та встановлюють на автомобіль. Автомобіль проїжджає по тунелю, а на його місце під розвантаження заїжджає наступний автомобіль з ґрунтом. На площадці розвантаження екскаватор «пряма лопата» або автотранспортувач проводять навантаження ґрунту на автосамоскиди, які вивозять ґрунт за межі будівельного майданчику.

4.2.3 Монтаж тунельної оправи

Конструкція залізобетонної оправи тунелю має гумові ущільнювачі по периметру елементів оправи, що забезпечує її водонепроникність [2].

Перед монтажем кожного кільця, необхідно проводити заміри горизонтального та вертикального випередження, а також відхилення площини кільця від проектного положення. Для того щоб виконувати геометрію кільця, що монтується, слід обов'язково проводити інструментальний контроль установки першого блоку у проектне положення [11-13].

Блоки розвантажують за допомогою козлового крану, що переміщує блоки до накопичувача блоків оправи. Накопичувач переміщує блоки в зону монтажу для захвату їх укладальником.

Монтаж кільця оправи виконують у наступній послідовності:

- прибрати щитові гідроциліндри на ділянці одного елемента оправи, що монтується. Прибирання надто великої кількості гідроциліндрів може призвести до переміщення щита назад;
- монтаж блоків в кільце проводиться по схемі, що надає маркшейдерська служба, знизу до верху, розпочинаючи з лоткового блоку. Подальший монтаж наступних блоків проводиться по чергово по правому і лівому бокам відносно лотка;
- захопити гвинт кліщовим захватом блокоукладальника, розміщеним на траверсі;

- за допомогою блокоукладальника встановити тюбінг або блок у проектне положення;
- управляючі блокоукладальником, направити шпильки у гнізда «Би-блок» системи попереднього кільця;
- піджати блок блокоукладальником, щоб шпильки наполовину увійшли у гнізда;
- за допомогою щитових гідроциліндрів, притиснути блок до контакту з раніше змонтованим кільцем оправи;
- блок утримувати щитовими гідроциліндрами до закінчення монтажу кільця оправи;
- встановити болтові кріплення;
- встановити криволінійні шпильки і загвинтити їх;
- звільнити вилку захвату;
- викрутити пристрій для захвату;
- змонтувати інші елементи оправи до замикання кільця.

Аналогічним чином продовжується монтаж блоків оправи у відповідності зі схемою розміщення блоків. Перед монтажем ключового блоку обов'язково змазати його скошені торці змазкою для запобігання зриву стрічки набухаючої гуми у процесі монтажу. Після завершення монтажу кільця необхідно притиснути його щитовими гідроциліндрами.

4.2.4 Гідроізоляція тунельної оправи

Після спорудження ділянки тунелю між двома камерами проводять роботи по гідроізоляції стиків та болтових з'єднань [11-13].

Гідроізоляція тунельної оправи забезпечується використанням набухаючої гуми для ущільнення стиків блоків та нагнітанням спеціального розчину за оправу. При появі потреби в додатковій гідроізоляції її використовують по тимчасовим рекомендаціям про застосування «гідросумішей» (карбування швів, заміна монтажних шайб на бітумні).

4.3 Розрахунок вентиляції при проходці

Штучну вентиляцію підземних виробок слід застосовувати на всіх стадіях тунельних та будівельно-монтажних робіт, а також у період тимчасової перерви в процесі прохідницьких робіт. Кількість повітря, яке потрібно для вентиляції виробок, визначається за максимальною кількістю людей, одночасно зайнятих на підземних роботах, виходячи із норми не менше $6 \text{ м}^3/\text{хв}$ на людину [10].

Нижче наведений розрахунок вентиляції за допомогою програми Ventilation.xls для 8 чоловік.

Розрахунок вентиляції при виконанні робіт

Введіть довжину ділянки L (не більше 200 м), м	100
Введіть діаметр оправи D , м	5,1
Введіть максимальну кількість працівників N , чоловік	8
Введіть діаметр труб для вентиляції d , м	0,6
Введіть довжину ланки труби m , м	2,5
Площина перерізу виробки S , м^2	20,42
Кількість повітря (за кількістю працівників) QП , м^3	48,00
Швидкість руху V , м/с (порівняти із ВП)	0,04
Потрібна швидкість руху ВП , м/с	0,25
Потрібна кількість повітря Q , $\text{м}^3/\text{с}$	5,10
Розрахункова продуктивність вентилятора Qв , $\text{м}^3/\text{с}$	5,23
Коефіцієнт доставки η	1,03
Аеродинамічний опір трубопроводу R , кіломюргів	2,51
Введіть коефіцієнт аеродинамічного опору α	0,0003
Статичний напір вентилятору h , мм. вод. ст. (даПа)	67,005908
Площа вихідного отвору вентилятору Fв , м^2	1,05
Введіть швидкість повітря Vв (за номограмою, рис. 4.2), м/с	5

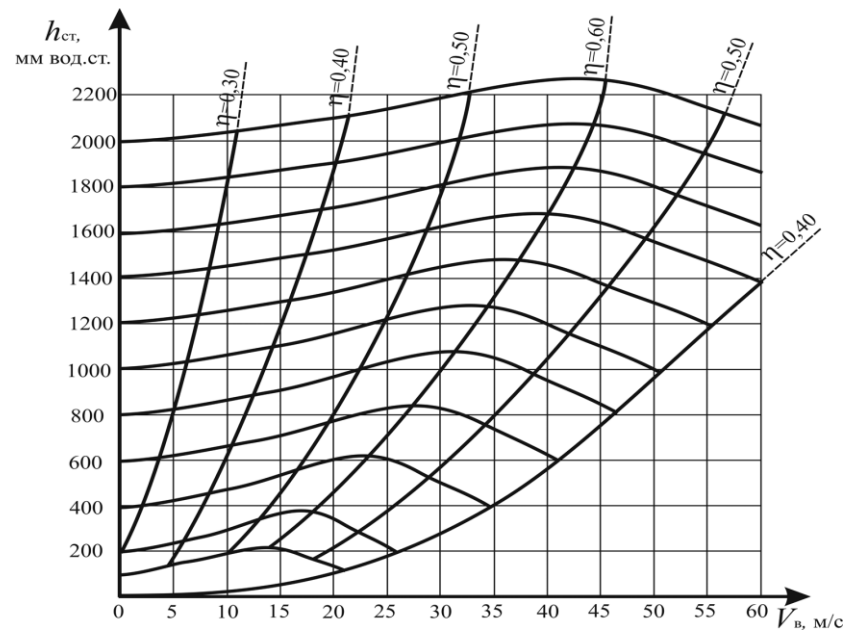


Рисунок 4.2 – Номограма для визначення швидкості повітря

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

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Роботи, що виконуються на об'єкті

- розробка ґрунту;
- автомобільна відкатка розробленого ґрунту;
- транспортування розробленого ґрунту за межі об'єкту;
- операції навантаження/розвантаження та стропування;
- пересування габаритного обладнання;
- робота екскаватора, бульдозеру та навантажувача ґрунту.

5.2 Машини та механізми, які задіяні на об'єкті

- тунелепрохідницький комплекс «Herrenknecht»;
- автомашини КрАЗ;
- екскаватор;
- навантажувач ґрунту;
- бетонозмішувач.

5.3 Основні небезпечні виробничі фактори

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

5.4 Проходка 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 кріплення або інших предметів.

При роботі механізованими щитами повинно бути передбачені спеціальні прилади для придушення пилу, 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.

5.5 Монтаж збірної оправи

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

записці проекту.

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 тьобінгом або блоком, а також у зоні обертання важелю укладальника під час його роботи.

Тьобінги або блоки вище горизонтального діаметру тунелю повинні кріпитись тільки зі спеціальних висувних площадках блоко- і тьобінгоукладальника або спеціальних пересувних риштувань.

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

Затягувати гайки до відказу, міняти болтові кріплення і загвинчувати пробки у отвори для нагнітання на висоті слід робити з пересувних риштувань, чеканочних візків. Виконання цих робіт з драбин і оправи забороняється.

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

Забороняється підвішувати тьобінг (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 тюбінгів 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 тюбінгів (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 тюбінгів повинні відповідати технічним нормам і бути пропущеними через захищені блоки безпечної конструкції, дбайливо закріпленими на спеціальних підвісках.

Прикріплювати тюбінги (блоки) до канату лебідки для підйому і спуску треба при допомозі спеціально пристрою, забезпечуючого безпеку проведення робіт. Перечіплювати тюбінги (блоки) у при піднятому стані з канату однієї лебідки на канат іншої забороняється.

Відчіплювати канат від тюбінга (блока) до то як він буде закріплений не менше чим трьома болтами з сусіднім зібраним кільцем забороняється.

Піднімати і спускати тюбінги (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 тюбінгової 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 огороженнями робочої зони від випадających кусків породи. Ці огороження встановлюються у відповідності з проектом.

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

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

При обтисканні кільця оправи виносними гідроциліндрами вище рівня горизонтального діаметра повинна бути передбачена проектом, виключаючи випадання вкладишів та виносних гідроциліндрів у місцях обжимання.

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

5.6 Аварійні ситуації при проходці тунелю щитовим комплексом

Обов'язки уповноваженого керівника з ліквідації аварії наказом по метрополітену покладаються на одного з заступників керівника метрополітену згідно з розподілом функціональних обов'язків або посадову особу, яка його заміщує у разі його відсутності. Начальником штабу з ліквідації аварії, як правило, призначається головний інженер метрополітену.

При виникненні аварії уповноважений керівник з ліквідації аварії для виконання завдань, визначених планом ліквідації аварії (ПЛА), збирає штаб з ліквідації аварії.

Враховуючи можливість виникнення аварії у неробочий час (нічна перерва, неробочий час уповноваженого керівника тощо) або відсутності його на місці події, наказом по підприємству право першочергового введення у дію ПЛА надається черговому по метрополітену.

Перед погодженням і затвердженням ПЛА командний склад загону

Державна служба надзвичайних ситуацій (ДСНС), що обслуговує підземні об'єкти метрополітену, проводить комплексну перевірку стану протиаварійного захисту кожного підземного об'єкта. Комплексна перевірка проводиться на підставі спільного наказу керівника метрополітену та керівника ДСНС.

Графік комплексної перевірки погоджується керівником метрополітену. Під час проведення перевірки всебічно перевіряються:

- наявність та можливість використання запасних (евакуаційних) виходів підземних станцій та перегінних тунелів для виходу людей, пересування гірничорятувальників у респіраторх і транспортування постраждалих;
- стан вентиляційних пристроїв і вентиляції;
- наявність і стан засобів повідомлення про аварію;
- наявність протипожежного водопостачання, справність протипожежних водогонів (трубопроводів), первинних та автоматичних засобів гасіння пожеж тощо;
- стан мереж енергопостачання;
- забезпеченість працівників підземних станцій метрополітену засобами індивідуального захисту органів дихання та їх стан;
- наявність засобів протиаварійного призначення та забезпечення належного порядку в місці їх зберігання;
- підготовленість працівників підземних станцій метрополітену до застосування засобів саморятування, протипожежного оснащення та знання ними місцезнаходження запасних виходів і правил поведінки працівників при виникненні аварій;
- наявність спеціалізованих об'єктових аварійно-рятувальних служб (далі – АРС), їх укомплектування та готовність до дії;
- повнота розроблення ПЛА відповідно до Інструкції;
- здійснення періодичного спеціального навчання і тренування посадових осіб, указаних у Інструкції, які проводяться на базі підрозділу ДСНС відповідно до затвердженого плану.

При здійсненні періодичних спеціальних навчань і тренувань

відпрацьовуються заходи з питань охорони праці залежно від можливих видів аварій та видів небезпеки.

Матеріали комплексної перевірки оформляються у вигляді відповідних актів, що розглядаються і затверджуються на нараді у посадової особи, вказаної в Інструкції, за участю органу управління ДСНС, командного складу підрозділу (загону) ДСНС, керівників територіального органу управління МНС та ВО метрополітену.

За результатами наради у присутності головного інженера метрополітену та за участю командного складу підрозділу (загону) ДСНС, територіального органу управління МНС та ВО складається протокол наради, що підписується головним інженером метрополітену та командиром підрозділу ДСНС, що обслуговує підземні об'єкти метрополітену.

У разі відсутності зауважень щодо готовності підприємства до ліквідації аварій ПЛА затверджується на цій нараді.

Порушення, виявлені під час перевірки, повинні бути усунені до дати введення у дію ПЛА. У разі неможливості усунути порушення до зазначеного терміну керівництвом метрополітену вживаються заходи із забезпечення безпечної експлуатації об'єктів і роботи працівників на період усунення порушень, складаються відповідні графіки заходів щодо усунення порушень.

Перед введенням у дію нових діляниць (станцій, перегінних тунелів, ескалаторів тощо) або після реконструкції існуючих відповідальні посадові особи, визначені в Інструкції, зобов'язані протягом доби внести до ПЛА і погодити з командиром загону ДСНС відповідні зміни і доповнення.

У разі невнесення необхідних змін, доповнень чи виявлення невідповідності заходів оперативної частини дійсному стану на об'єктах метрополітену командир підрозділу (загону) ДСНС має право скасувати власне узгодження ПЛА або узгодження окремих позицій його оперативної частини. Про скасування узгодження ПЛА або окремих позицій його оперативної частини керівництво підрозділу (загону) ДСНС обов'язково повідомляє керівництво метрополітену, територіального органу управління МНС, відповідні органи

державного нагляду за охороною праці.

Повний комплект ПЛА знаходиться в уповноваженого керівника з ліквідації аварії (посадової особи, яка його заміщує у разі його відсутності) або у начальника штабу з ліквідації аварії, а також у штабі загону ДСНС, що безпосередньо обслуговує підземні об'єкти метрополітену.

Витяг з ПЛА щодо позицій оперативної частини стосовно окремої станції повинен постійно знаходитись у чергового станції (об'єкта) метрополітену.

З урахуванням цієї Інструкції структурні підрозділи метрополітену мають право розробляти відповідні планувальні документи щодо дій підрозділів при ліквідації різних видів аварій на об'єктах метрополітену, що не суперечать позиціям оперативної частини ПЛА.

ВИСНОВКИ

1. В кваліфікаційній роботі виконано аналіз інженерно-геологічних умов будівництва. На основі проведених вишукувань можна зробити висновок, що у місці будівництва наявні слабкі ґрунти (міцність за проф. Протод'яконовим не більше $f=0,6\dots0,8$).

2. На основі аналізу інженерно-геологічних умов проведене варіантне проєктування оправи перегінного тунелю та виконане техніко-економічне порівняння, з якого випливає, що найменш витратним є варіант 3 (універсальна оправа із залізобетонних блоків В40).

3. Виконаний розрахунок навантажень на перегінний тунель, проведений розрахунок залізобетонної оправи як кільця, що вільно деформується, побудовані епюри силових факторів.

4. Відшукано міцність конструктивного елементу перегінного тунелю (залізобетонний блок). Умова міцності залізобетонного блоку оправи як елемента, що працює в умовах стиснення з вигином, виконана, запас міцності – 2,57 рази.

5. Розроблена технологія спорудження перегінного тунелю на основі щитової проходки в слабких ґрунтах. Розроблені технологічні процеси руйнування та транспортування породи, монтажу та гідроізоляції тунельної оправи, проведений розрахунок вентиляції при проходці. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Айвазов, Ю. М. Проектування метрополітенів (у 3-х частинах). Навчальний посібник. Частина 1 [Текст] / Ю. М. Айвазов. – Київ: НТУ, 2006. – 166 с.
2. Бондаренко, Н. К. Порівняльний аналіз результатів маркшейдерських та чисельних досліджень перегінного тунелю Київського метрополітену [Текст] / Н. К. Бондаренко, О. Л. Тютюкін // Наука та прогрес транспорту. – 2022. – № 2(98). – С. 78-85.
3. Гайко, Г. І. Конструкції кріплення підземних споруд: Навчальний посібник [Текст] / Г. І. Гайко. – Алчевськ: Дон ДНУ, 2006 – 133 с.
4. ДБН Д.1.1-1-2000 Правила визначення вартості будівництва [Текст]. – Київ: Держбуд України, 2003. – 148 с.
5. 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.
6. ДБН В.2.3-7-2010. Споруди транспорту. Метрополітени [Текст]. – Київ: ДП «Укравхбудінформ», 2011. – 195 с.
7. Заворицкий, В. И. Проектирование подземных транспортных сооружений [Текст] / В. И. Заворицкий. – Київ: Будівельник, 1975. – 204 с.
8. Кауфман, Л. Л. Строительство тоннелей. Часть I. [Текст] / Л.Л. Кауфман, Н.И. Кулдыркаев, Б.А. Лысиков. – Донецк: Норд-Прес, 2006. – 360 с.
9. Лысиков Б. А. Использование подземного пространства [Текст] / Б.А. Лысиков, А.А. Калюхин. – Донецк: Вебер, 2008. – 416 с.
10. Петренко, В. Д. Методичні вказівки для курсового проектування «Спорудження тунелів щитовим способом» [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, О. Л. Тютюкін, В. П. Купрій; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во «Нова ідеологія», 2010. – 56 с.
11. Петренко, В. Д. Моніторинг деформацій оправи Сирецько-Печерської лінії Київського метрополітену та заходи щодо їх зменшення [Текст] / В. Д.

Петренко, О. Л. Тютюкін, Є. Ю. Кулаженко, В. І. Петренко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2017. – №11. – С. 42-51.

12. Петренко В. И. Опыт освоения подземного пространства государственной корпорацией «Укрметротоннельстрой» [Текст] / Сб. научн. трудов НГАУ. – Днепропетровск : НГАУ, 1997. – С. 125-128.

13. 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.

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.