

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій
ННІ Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту

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

«Транспортна інфраструктура»
(повна назва кафедри)

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

на тему: Проект спорудження пілонної станції глибокого закладення
в м. Дніпрі з урахуванням її подвійного призначення
за освітньою програмою «Мости і транспортні тунелі»
зі спеціальності: 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

Виконала: студентка групи: МТ22160

	<hr/> <small>(підпис студентки)</small>	/ Олена МІЩЕНКО / <hr/> <small>(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)</small>
Керівник:	<hr/> <small>(підпис)</small>	/ зав. каф. Олексій ТЮТЬКІН / <hr/> <small>(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)</small>
Нормоконтролер:	<hr/> <small>(підпис)</small>	/ зав. каф. Олексій ТЮТЬКІН / <hr/> <small>(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)</small>
Консультант: Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях <small>(назва розділу)</small>	<hr/> <small>(підпис)</small>	/ проф. каф. Олег САБЛІН / <hr/> <small>(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)</small>

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

Студентка

(підпис)

Дніпро – 2025 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies
Dnipro Institute of Infrastructure and Transport

Building, architecture and infrastructure

(faculty)

Transport infrastructure

(department)

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

on the topic: Construction project for a deep pylon station in the city of Dnipro,
considering its dual purpose

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: MT22160 / Olena MISHCHENKO /

(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)

/ Prof. of Dept. Oleh SABLIN /

(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій
ННІ Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту

Факультет: «Будівництво, архітектура та інфраструктура»

Кафедра: «Транспортна інфраструктура»

Рівень вищої освіти: «Бакалавр»

Освітня програма: «Мости і транспортні тунелі»

Спеціальність: 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортна інфраструктура»

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

Дата _____

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ОС «бакалавр»
 (ступінь вищої освіти)

студентці Міщенко Олені Олександрівні

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Проект спорудження пілонної станції глибокого закладення в м. Дніпрі з урахуванням її подвійного призначення»

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

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

затверджені наказом від «03» березня 2023 р. № 329ст

2. Строк подання студентом роботи: «16» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Результати аналізу інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов Дніпровського метрополітену, конструкцій пілонної станції та дані, що отримані під час пошуку в Internet.

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

Вступ. Розділ 1. Аналіз інженерно-геологічних умов й варіантне проектування пілонної станції. Розділ 2. Розрахунок конструкції оправи пілонної станції методом скінченних елементів. Розділ 3. Проект спорудження пілонної станції глибокого закладення. Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

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

Лист 1. Інженерно-геологічні умови будівництва. Лист 2. Пілонна станція з оправою з чавунних тюбінгів. Лист 3. Пілонна станція з оправою із залізобетонних блоків. Лист 4. Технологічна схема проходки бокового станційного тунелю. Лист 5. Технологічна схема проходки середнього станційного тунелю.

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	Проф. каф. О. І. Саблін		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Розділ 1. Аналіз інженерно-геологічних умов й варіантне проектування пілонної станції.	28.04.2025 – 04.05.2025	
2	Розділ 2. Розрахунок конструкції оправи пілонної станції методом скінченних елементів.	19.05.2025 – 25.05.2025	
3	Розділ 3. Проект спорудження пілонної станції глибокого закладення. Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.	09.06.2025 – 15.06.2025	
4	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	16.06.2025 – 22.06.2025	
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	23.06.2025	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	24.06.2025 – 29.06.2025	

Студентка

_____ (підпис)

Олена МІЩЕНКО

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Олексій ТЮТЬКІН

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:

49 стор., 4 рис., 2 табл., 14 літературних джерел.

Об'єкт розробки – пілонна станція глибокого закладення в м. Дніпрі.

Мета роботи – розробка проєкту спорудження пілонної станції глибокого закладення в м. Дніпрі з урахуванням її подвійного призначення.

Метод дослідження – метод скінченних елементів, модифікований метод Метродіпротрансу.

В бакалаврській роботі проведено аналіз інженерно-геологічних умов й варіантне проєктування пілонної станції.

Виконано розрахунок конструкції оправи пілонної станції методом скінченних елементів.

Розроблений проєкт спорудження пілонної станції глибокого закладення з урахуванням інженерно-геологічних умов м. Дніпра. Розроблені положення технології розробки породи буровибуховим способом, виконано розрахунок вентиляції під час проведення вибухових робіт. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: МЕТРОПОЛІТЕН, ПІЛОННА СТАНЦІЯ, ГЛИБОКЕ ЗАКЛАДЕННЯ, МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ПРОЄКТ СПОРУДЖЕННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ Й ВАРІАНТНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ПІЛОННОЇ СТАНЦІЇ.....	9
1.1 Аналіз інженерно-геологічних умов будівництва пілонної станції	9
1.2 Варіантне проектування конструкції пілонної станції.....	11
1.2.1 Вибір конструкції оправи	12
1.2.2 Визначення основних розмірів станції	13
1.3 Техніко-економічне порівняння варіантів.....	15
2 РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ ОПРАВИ ПІЛОННОЇ СТАНЦІЇ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	20
2.1 Основні положення розрахунку конструкції оправи пілонної станції	20
2.2 Розрахунок вертикального гірського тиску.....	20
2.3 Розрахунок оправи пілонної станції на основі модифікованого методу Метродіпротрансу	22
3 ПРОЄКТ СПОРУДЖЕННЯ ПІЛОННОЇ СТАНЦІЇ ГЛИБОКОГО ЗАКЛАДЕННЯ	24
3.1 Основні принципи подвійного призначення станційної конструкції.....	24
3.2 Технологія розробки породи буровибуховим способом.....	25
3.3 Розрахунок вентиляції під час проведення вибухових робіт	36
3.4 Проходка бокових станційних тунелів	38
3.5 Проходка середнього станційного тунелю.....	40
3.6 Спорудження проїомів	42
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	44
4.1 Заходи безпеки під час бурових робіт	44
4,2 Заходи безпеки під час вибухових робіт	45
ВИСНОВКИ.....	47
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	48

ВСТУП

Метрополітен є транспортною системою, що базується на залізничній колії 1520 мм, має можливість виходу з підземних умов на поверхню й досить високу швидкість переміщення пасажирів (80 км/год). Ці три специфічні особливості метрополітену характеризують його як систему, що має потенціал для вписування в загальну транспортну систему мегаполіса й можливість розвитку генеральної схеми [1, 10].

Проектування схеми метрополітену, що притаманне умовам Радянського Союзу та пострадянського простору, базується на створенні первинних станцій, що мають глибоке закладення, потім поступово зменшують глибину і, за можливості ліній, виходять на поверхню або будуються на спеціальних естакадах [10]. Таке проектування генеральної схеми значно відрізняється від європейської та, ширше, світової практики, оскільки метрополітени Європи (Берлін, Мадрид, Париж, Краків, Варшава, Лондон тощо), Азії (міста Японії, Китаю, Південної Кореї тощо), Австралії та Північної Америки частіш усього закладаються у мілкому варіанті.

Така ситуація має об'єктивні причини, оскільки в СРСР метрополітен був не лише транспортною системою, а й виконував подвійне призначення, будучи укриттям від бомбово-ракетних ударів, в тому числі і в ядерному варіанті. Три метрополітени України (Київський, Харківський та Дніпровський) також розраховувалися для виконання подвійного призначення, однак експлуатація в мирний час дещо відсунула задачі цього напрямку [2].

Наразі, під час повномасштабної війни російської федерації проти України, подвійне призначення метрополітенів як укриттів від масованих дронowo-ракетних ударів знову виходить на перший план. Безсумнівно, що станції метрополітенів повинні виконувати своє транспортне призначення, регулюючи пасажиропотоки та чітко приймаючи та відправляючи метропоїзди. Але конструкція станцій глибокого й мілкого закладень повинна розглядатися з урахуванням подвійного призначення [4].

Відомо, що станційні комплекси є складними підземними конструкціями, які мають складну систему спорудження, тобто потребують розробки окремого проєкту виконання робіт. В цьому проєкті повинно бути відображено послідовність спорудження станційних тунелів та розраховано потрібні процеси, що дозволяють звести станційну конструкцію в найкоротший термін та увести її в експлуатацію.

Враховуючи умови закладення Дніпровського метрополітену та досвід, що отриманий в довоєнні роки (2016-2022 рр.), найбільш адекватним геологічній та гідрогеологічній ситуації є застосування колонної або пілонної станції. Для випускної кваліфікаційної роботи на отримання освітнього ступеня «бакалавр» обрано пілонний варіант, оскільки такий тип станції в дещо коригованому вигляді був запропонований фахівцями фірми «ЛІМАК», яка споруджувала об'єкти Дніпровського метрополітені.

Такий тип станції, який був вперше запроєктований для слабких ґрунтів, в останнє десятиріччя отримав свій розвиток в сенсі застосування для міцних порід, які характерні для інженерно-геологічних умов м. Дніпра. Однак пропозиція турецької фірми «ЛІМАК» (застосування NATM – Новоавстрійського методу спорудження тунелів) в даній роботі не впроваджена, а виконано аналіз класичних рішень пілонної станції з залізобетонною та чавунною оправою.

Для обраного типу станції виконана розробка проєкту спорудження в м. Дніпрі з урахуванням її подвійного призначення, причому вирішені всі основні питання проєктування, розрахунку та основних задач технології.

1 АНАЛІЗ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ Й ВАРІАНТНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ПІЛОННОЇ СТАНЦІЇ

1.1 Аналіз інженерно-геологічних умов будівництва пілонної станції

Ділянка пілонної станції, яка проєктується, в геоморфологічному відношенні приурочена до першої правобережної тераси р. Дніпро. Рельєф рівний, з незначним ухилом у північному напрямі в бік р. Дніпро.

Із за несприятливих фізико-механічних процесів і явищ на ділянці станції спостерігається підтоплення території.

Геологічна будова ділянки представлена комплексом осадових чверткових відкладень, які залягають на архей-протерозойському кришталевому фундаменті.

Сучасні відкладення представлені насипними ґрунтами – асфальтовим покриттям з дресв'яно-щебенистою підсипкою, піски кварцові, темно-сірі, пілуваті, з включенням уламків червоної цегли, доменного шлаку, щебеню та іншого будівельного сміття до 10...20 % потужністю 2,2...4,8 м.

Комплекс алювіально-делювіальних верхньочвертинних відкладень загальною потужністю від 4,0 м до 11,5 м, які літологічно представлені суглинками, супісками та дрібними кварцовими пісками.

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

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

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

Флювіогляціальні середньо-чверткові відкладення представлені неоднорідними гравійно-гальковими відкладеннями жовто-сірими, неоднорідними, щільними, насиченими водою, з піщаним заповнювачем до 30...40 %, з валунами скельних порід та прошарками суглинків жовто-бурих,

туго пластичних, потужністю 0,8...5,6 м.

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

Дисперсна зона кори вивітрювання скельних порід: каоліни первинні, білі, сірувато-білі, тверді, з включенням зерен кварцу від 20...25 % до 40...50 %, з гідроокисами заліза, потужністю 1,2...5,7 м.

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

Фундаментом для більш молодших порід служать архей-протезойські породи, представлені плагіогранітами сірими, світло-сірими, іноді розу вато-сірими, дрібно-середньозернистими, у покрівлі крупнозернистими, масивної структури, від дуже сильно тріщинуватих до сильно тріщинуватих, слабо вивітрені, середньої міцності та міцні, обводнені. Максимально вскрита потужність скельних порід складає 37...40 м.

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

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

Водоносний комплекс являється безнапірним, постійно існуючим. Рівень підземних вод залягає на глибині 1,6...2,4 м. Занурення станції під статичний рівень складає 43,0...44,0 м.

Водне середовище неагресивне по всіх видах корозії до бетонів марок W4, W6, W8.

Скельні ґрунти представлені, переважно, сильно тріщинуватими плагіогранітами слабкої стійкості при проходці. Межа міцності на одноосний

стиск у водонасиченому стані складає 3,9...7,1 МПа.

На ділянках розвитку послаблених зон, при проходці тунелів рекомендується вести випереджаюче буріння горизонтальних розвідочних свердловин для виявлення істинної потужності зон і розділяючих їх блоків скельних ґрунтів.

1.2 Варіантне проєктування конструкції пілонної станції

Однією з найважливіших проблем метробудування є встановлення раціонального типу конструкції станції [11]. Правильне вирішення цього завдання залежить від проведення всебічного аналізу цілого ряду умов, що впливають на вибір типу конструкції.

Конструкції станцій метрополітенів залежать від інженерно-геологічних умов і матеріалів, які використовуються для кріплення станцій. Станції метрополітенів глибокого закладення проєктують і будують одно- та трьохсклепінчасті. Для будівництва станцій використовуються бетон і залізобетон, залізобетонні тубінги і блоки, чавунні тубінги [1, 11].

Конструктивна форма визначається також способом спорудження і необхідною шириною платформи. Закритим способом споруджують станції пілонного, колонного та односклепінчастого типу. Відкритим способом споруджують станції з плоскими перекриттями і односклепінчасті. Ширина платформи залежить від об'ємів пасажиропотоків, що склалися в даному районі з урахуванням перспективи [8].

Центральні станції розраховані на значний пасажиропотік, що обумовлює досягнення необхідної ширини платформи у 13...15 м. Міжколійна відстань складає 22...23 м, при цьому відстань між зовнішніми гранями оправ станційних тунелів 2...2,5 м. Ці станції отримали назву пілонних. При зменшенні міжколійної відстані до 18...19 м в місцях сполучення оправ влаштовують колони. Враховуючи дані умови при проведенні аналізу можливих варіантів, найбільш раціональною конструкцією є варіант трьохсклепінчастої станції пілонного типу.

1.2.1 Вибір конструкції оправи

Основними умовами, які визначають вибір конструкції оправи та технологію її спорудження, являються інженерно-геологічні умови [1, 11].

Вище проаналізовано, що проектом передбачено розміщення станції на глибині 40...50 м в скельних ґрунтах, які являються відносним водоупором. Скельні ґрунти представлені плагіогранітами від слабої до сильної тріщинуватості з окремими зонами дроблення і міліонізації, в яких можуть мати місце значні водопритоки.

Розглянемо наступні варіанти конструктивних рішень зовнішніх конструкцій станцій:

1. Варіант з оправою із чавунних тубінгів.
2. Варіант збірної залізобетонної оправи з гумовими ущільнювачами.

Основним конструктивним виконанням станції з чавунних тубінгів являється тунель кругового обрису. Тунелі станції мають два діаметра 8,5 і 9,5 м. Кожне кільце оправи тунелю шириною 0,75 м складається з тубінгів трьох типів: ключового, суміжного і нормального; знизу лотковий блок.

Перевагою даного варіанту являється висока водонепроникність, технологічність монтажу (як укладачем, так і лебідками), зручність стикування тубінгів з металоізолюванням монолітних ділянок (рам обрамлення проїомів, торцевих стін).

Недоліком є відносно висока вартість чавуна. Важливим фактором являється те, що чавун може виготовлятися у місті Дніпрі і не бути привозним.

Використана у залізобетонному варіанті конструкція оправи складається з трьох тунелів кругового обрису, які мають два діаметра 8,5 і 9,5 м. Кожне кільце оправи тунелю шириною 0,75 м складається з ребристих блоків чотирьох типів: ключового, суміжного і нормального, лоткового. По периметру тубінги мають суцільний гумовий шар.

Варіант передбачує використання збірної залізобетонної оправи, яка має високу міцність В-40 и водонепроникність W-8. Міцність досягається за

рахунок використання спеціальних добавок при виготовленні конструкцій. При цьому гідроізолювання швів здійснюється за рахунок гумових ущільнювачів та чеканки швів цементом.

К недолікам відноситься необхідність виконання високоточного монтажу, складність досягнення рівномірного обтискання ущільнювачів, високі вимоги до точності і якості виготовлення тюбінгів. Негативним фактором являється виробництво оправи у місті Києві, що негативно впливає на її показники вартості.

1.2.2 Визначення основних розмірів станції

Довжина пасажирської платформи приймається рівній довжині посадочної пасажирської платформи $L_{пл}$, яка залежить від числа вагонів у складі потягів, що проходять через станцію [8]:

$$L_{пл} = l \cdot n + a$$

де l – довжина вагонів між центрами зчеплень;

n – кількість вагонів у складі потягу;

a – запас на неточність зупинки потягів, приймаються рівним 2 м.

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

Ширина пасажирських платформ залежить від площі ω

$$\omega = P_{пл} \cdot \eta$$

де $P_{пл}$ – кількість пасажирів що одночасно знаходяться на платформі.

η – щільність заповнення платформи $\eta = 0,5$.

Кількість пасажирів, що одночасно знаходяться на платформі, визначається по формулі.

$$P_{nl} = A \cdot n \cdot K_{н.в.}$$

де A – розрахункова величина заповнення вагону $A = 170$ осіб.

$K_{н.в.}$ – коефіцієнт висадки-посадки пасажирів

$K_{н.в.} = 0,8$ для станцій біля центру міста:

$$P_{nl} = 170 \cdot 5 \cdot 0,8 = 680 \text{ осіб.}$$

Тоді площа пасажирської платформи складає:

$$\omega = 680 \cdot 0,5 = 340 \text{ м}^2.$$

Розрахункова довжина платформи.

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

$$L_p = 98 - 7 = 91 \text{ м}$$

Необхідна ширина платформи визначається по формулі:

$$e = \frac{\omega}{L_p} + 0,45 = \frac{340}{91} + 0,45 = 4,2$$

Важливим чинником, що визначає розміри станції, є число ескалаторів, яке залежить від годинного пасажиропотоку станції і пропускної спроможності одного ескалатора:

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

де, 8500 – пропускна спроможність одного ескалатора,

n_n – число пар потягів за годину $n_n = 40$ шт.

$$n_e = \frac{2 \cdot 30 \cdot 680}{8500} = 4,8$$

Приймаємо $n_e = 4$ шт. з кожного боку по два ескалатори.

Пропускна можливість проходу станції

$$l' = \frac{4000 \cdot k' \cdot b_{np} \cdot t \cdot n}{60 \cdot b'}$$

n – кількість проходів,

$k' = 0,75$ – коефіцієнт заповнення платформи,

$b_{np} = 8,8$ – ширина проходу,

$b' = 3,8 - 0,45$ – ширина глухої частини платформи без захисної смуги

Довжина глухих дільниць:

$$L_{2л} = \frac{L_{нл}}{3} = \frac{98}{3} = 33 \text{ м.}$$

1.3 Техніко-економічне порівняння варіантів

Проведено розрахунок об'ємів два варіанти будівництва станції [3, 5].

Варіант № 1. Конструкція пілонної станції із чавунних тубінгів

1. Проходка пілот-тунелю механізованим щитом [8]:

$$V_1 = 2 \frac{\pi D_n^2}{4} L_{нл} \cdot k_p = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot 5,5^2}{4} \cdot 98,25 \cdot 2 = 9332,28 \text{ м}^3;$$

D_n – діаметр пілот-тунелю, $D_n = 5,5$ м; k_p – коефіцієнт розпушення ґрунту, $k_p = 2$.

2. Розширення перерізу тунелю:

$$V_2 = 2 \frac{\pi}{4} (D_3^2 - D_n^2) L_{nl} \cdot k_p = 2 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (8,5^2 - 5,5^2) \cdot 98,25 \cdot 2 = 12957,2 \text{ м}^3;$$

D_3 – зовнішній діаметр тунелю.

3. Проходка тунелів способом суцільного забою (середній тунель):

$$V_3 = \frac{\pi \cdot D_{сер}^2}{4} \cdot L_{nl} \cdot k_p = \frac{3,14 \cdot 8,5^2}{4} \cdot 98,25 \cdot 2 = 11144,73 \text{ м}^3;$$

4. Вкладання збірної залізобетонної оправки із блоків:

$$V_4 = 3 \cdot \frac{\pi}{4} (D_3^2 - D_{вн}^2) \cdot L_{nl} = 3 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (8,5^2 - 7,5^2) \cdot 98,25 = 3702,06 \text{ м}^3$$

5. Проходка проходів станційних тунелів:

$$V_5 = l_n \cdot h_n \cdot b_n \cdot n = 3 \cdot 3 \cdot 3,9 \cdot 14 = 491,4 \text{ м}^3$$

6. Влаштування колійних стін:

$$V_6 = 0,3 \cdot 2,7 \cdot L_{nl} = 0,81 \cdot 98,25 = 79,58 \text{ м}^3;$$

7. Влаштування платформи:

$$V_7 = 0,3 \cdot b \cdot L_{nl} = 0,3 \cdot (2 \cdot 3,2 + 6,6) \cdot 98,25 = 384,94 \text{ м}^3.$$

Варіант № 2. Конструкція пілонної станції із залізобетонною оправою

1. Проходка пілот-тунелю механізованим щитом [8]:

$$V_1 = 2 \frac{\pi D_n^2}{4} L_{nl} \cdot k_p = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot 5,5^2}{4} \cdot 98,25 \cdot 2 = 9332,28 \text{ м}^3;$$

D_n – діаметр пілот-тунелю, $D_n = 5,5$ м; k_p – коефіцієнт розпушення ґрунту, $k_p = 2$.

2. Розширення перерізу тунелю:

$$V_2 = 2 \frac{\pi}{4} (D_3^2 - D_n^2) L_{nl} \cdot k_p = 2 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (8,5^2 - 5,5^2) \cdot 98,25 \cdot 2 = 12957,2 \text{ м}^3;$$

D_3 – зовнішній діаметр тунелю.

3. Проходка тунелів способом суцільного забою (середній тунель):

$$V_3 = \frac{\pi \cdot D_{cep}^2}{4} \cdot L_{nl} \cdot k_p = \frac{3,14 \cdot 8,5^2}{4} \cdot 98,25 \cdot 2 = 11144,73 \text{ м}^3.$$

4. Вкладання чавунної оправи із тубінгів:

$$m = 0,24 \cdot \gamma_{чав} \cdot \frac{\pi}{4} (D_3^2 - D_{вн}^2) \cdot L_{nl} = 0,24 \cdot 7,2 \cdot \frac{3,14}{4} (8,5^2 - 7,8^2) \cdot 98,25 = 1520,66 \text{ т}$$

5. Проходка проходів станційних тунелів:

$$V_5 = l_n \cdot h_n \cdot b_n \cdot n = 3 \cdot 3 \cdot 3,9 \cdot 14 = 491,4 \text{ м}^3.$$

6. Влаштування колійних стін:

$$V_6 = 0,3 \cdot 2,7 \cdot L_{nl} = 0,81 \cdot 98,25 = 79,58 \text{ м}^3;$$

7. Влаштування платформи:

$$V_7 = 0,3 \cdot b \cdot L_{nl} = 0,3 \cdot (2 \cdot 3,2 + 6,6) \cdot 98,25 = 384,94 \text{ м}^3.$$

На основі отриманих об'ємів проведено техніко-економічне порівняння варіантів (таблиці 1.1-1.2) [3].

Таблиця 1.1 – Варіант № 1. Конструкція пілонної станції із чавунних тюбінгів

№	Назва роботи	Шифр	Вимірювач	Об'єм	Трудовитрати на одиницю	Трудовитрати на об'єм
1	Проходка пілот-тунелю	29-80-7	100 м ³	9332,28	38,6	3602,26
2	Розширення перерізу тунелю	29-80-8	100 м ³	12957,2	599,9	77730,24
3	Проходка тунелів способом суцільного забою (середній тунель)	29-70-9	100 м ³	11144,73	504,02	56171,67
4	Вкладання чавунної оправи	29-128-4	1 т	3702,06	1548,4	57321,77
5	Проходка проходів станційних тунелів	29-93-2	100 м ³	491,4	1041,22	5116,56
6	Влаштування колійних стін	29-155-1	100 м ³	79,58	1300,3	1035,04
7	Влаштування платформи	29-153-2	100 м ³	384,94	1227,7	4726,65
Сумарні трудовитрати						205704,19

Таблиця 1.2 – Варіант № 2. Конструкція пілонної станції із залізобетонною оправою

№	Назва роботи	Шифр	Вимірювач	Об'єм	Трудовитрати на одиницю	Трудовитрати на об'єм
1	Проходка пілот-тунелю	29-80-7	100 м ³	9332,28	38,6	3602,26
2	Розширення перерізу тунелю	29-80-8	100 м ³	12957,2	599,9	77730,24
3	Проходка тунелів способом суцільного забою (середній тунель)	29-70-9	100 м ³	11144,73	504,02	56171,67
4	Вкладання збірної залізобетонної оправи із блоків	29-126-11	100 м ³	1520,66	4,55	6919
5	Проходка проходів станційних тунелів	29-93-2	100 м ³	491,4	1041,22	5116,56
6	Влаштування колійних стін	29-155-1	100 м ³	79,58	1300,3	1035,04
7	Влаштування платформи	29-153-2	100 м ³	384,94	1227,7	4726,65
Сумарні трудовитрати						155301,4

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

2 РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ ОПРАВИ ПІЛОННОЇ СТАНЦІЇ МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

2.1 Основні положення розрахунку конструкції оправи пілонної станції

Розрахунок пілонної станції проводиться методом скінчених елементів на основі Модифікованого методу Метродіпротрансу [9, 13].

Для того, щоб знайти силові фактори в оправі такої складної конструкції, як пілонна станція, скористуємося одним із чисельних методів – методом скінчених елементів.

Застосування цього методу обумовлено тим що конструкція пілонної станції являється не регулярною структурою в якій є отвори (пройоми), значні перепади жорсткості (і в системі пілон – пройом і в місцях примикання чавунної та залізобетонної оправи в бокових тунелях), та відображення взаємодії станційної конструкції з оточуючим гірським масивом. Метод скінчених елементів також дає можливість точно відображати усі геометричні розміри, комплекси навантажень та спектри жорсткості і являється потужним математичним апаратом.

Для того, щоб найбільш повно відобразити фактор, який значно впливає на моменти й нормальні сили в оправі трьохсклепінчастих станцій, а саме просторовий фактор, постановка задачі також є просторовою. Це дозволяє, відмовившись від плоских схем, відобразити також взаємодію між кільцями в місцях пройому, місці пілону та перемичці.

2.2 Розрахунок вертикального гірського тиску

Величини навантажень від гірського тиску необхідно визначати розрахунком на основі результатів інженерно-геологічних вишукувань, аналітичних та експериментальних досліджень, а також досвіду будівництва в аналогічних інженерно-геологічних умовах [5]. При відсутності вказаних досліджень величини нормативних вертикальних навантажень від гірського тиску і коефіцієнти перевантаження для скельних і пів скельних ґрунтів

допускається приймати з урахуванням утворення склепіння [11, 12].

Величину прольоту L і висоту h_1 склепіння обрушення над верхньою точкою виробки слід визначати за формулами [8]:

$$L = B + 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right);$$

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

φ - значення можливого кута внутрішнього тертя ґрунтового масиву в межах перетину тунельної оправи, град. (для сильно тріщинуватих скельних ґрунтів середньої міцності $\varphi = 65^\circ$);

B – величина прольоту виробки, м ($B = 29.57\text{м}$);

h – висота виробки, м ($h = 9.62\text{м}$);

$$L = 29.57 + 2 \cdot 9.62 \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{65^\circ}{2}\right) = 33.84\text{м}$$

$$h_1 = \frac{33.84}{2 \cdot 15 \cdot 0.14} = 8.06\text{м}$$

Навантаження від нормативного гірського тиску на тунельну оправу у випадку утворення склепіння слід приймати рівномірно розподіленою по прольоту (діаметру) і висоті виробки. При цьому нормативний гірський тиск вертикальний q^H , тс/м², слід визначати за формулами:

$$q^H = k_p \cdot \gamma_{gp} \cdot h_1;$$

$\gamma_{gp} = 2.63\text{т}/\text{м}^3$ – об'ємна вага ґрунту (граніти).

Нормативну величину гірського тиску на оправу тунелів, що залягають у водонасичених ґрунтах, що містять вільну воду, слід приймати у вигляді дії

гідростатичного напору води.

Гідростатичний тиск води приймаємо на основі проведених натурних замірів тиску води під оправою і з урахуванням досвіду будівництва станцій в аналогічних умовах (тиск під оправою складає 40...60 % від гідростатичного):

$$p_g = 0.6 \cdot H \cdot \gamma_g = 0.6 \cdot 33.6 \cdot 1 = 20.16 \text{ м} / \text{м}^2$$

H - висота стовпа води над станцією, м; γ_g - об'ємна вага води, т/м³.

$$q^h = K_p \cdot \gamma_{гзв} \cdot h_1 = 1.8 \cdot 1.63 \cdot 8.06 = 23.65 \text{ м} / \text{м}^2$$

$$\begin{aligned} p^h &= \gamma_{zp} \cdot \left(K_p \cdot h_1 + 0.5 \cdot h \right) \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi^k}{2} \right) = \\ &= 1.63 \cdot \left(1.8 \cdot 8.06 + 0.5 \cdot 9.62 \right) \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{65^\circ}{2} \right) = 1.55 \text{ м} / \text{м}^2 \end{aligned}$$

Коефіцієнт надійності по навантаженню: $\gamma_g = 1.5$ – коефіцієнт надійності вертикальної складової власної ваги ґрунтового масиву.

Розрахункове значення вертикального тиску ґрунту склепіння обвалення:

$$q^p = \gamma_g \cdot q^h = 1.5 \cdot 23.65 = 35.48 \text{ м} / \text{м}^2$$

2.3 Розрахунок оправи пілонної станції на основі модифікованого методу Метродіпротрансу

На рис. 2.1. наведено розрахункову схему станції пілонного типу, які складаються з 45 та 39 вузлів які з'єднуються між собою стержневими елементами, а на рис. 2.2 і 2.3 – результати розрахунку оправи пілонної станції на основі модифікованого методу Метродіпротрансу [6, 14].

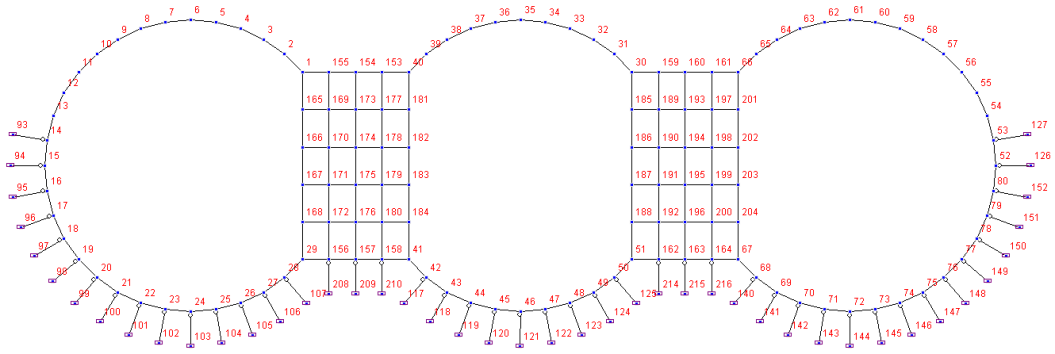


Рисунок 2.1 – Розрахункова СЕ-модель станція пілонного типу

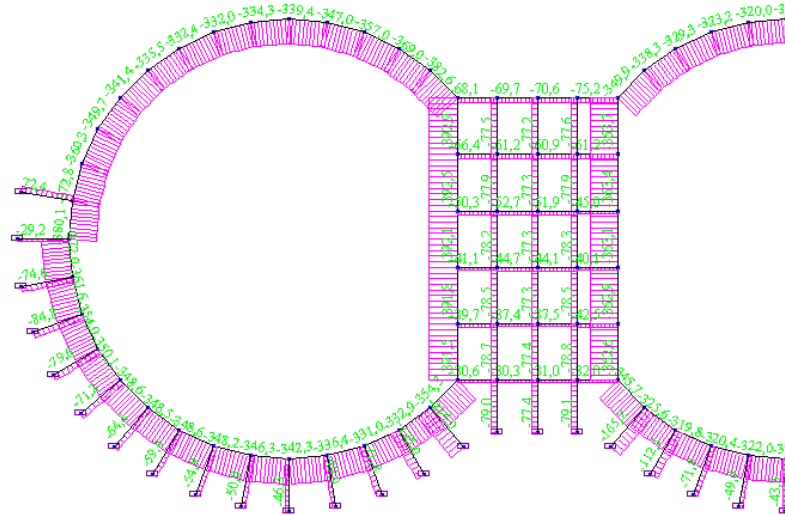


Рисунок 2.2 – Епюра нормальних сил

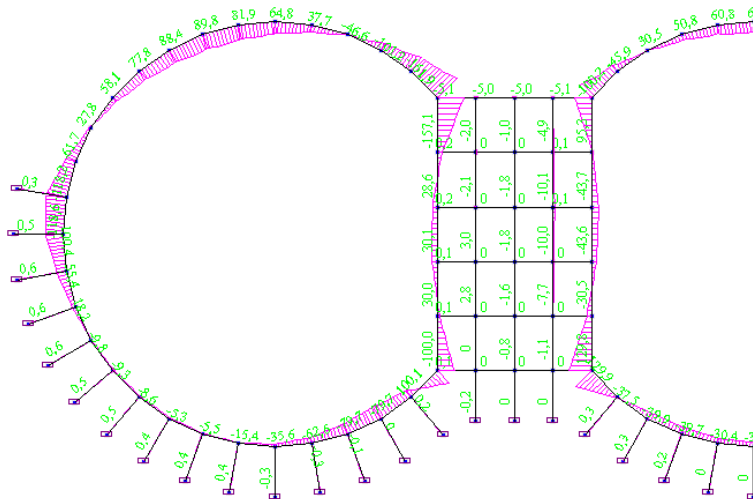


Рисунок 2.3 – Епюра моментів

Розрахунок міцності залізобетонного блоку, проведений в середовищі SCAD [6, 14], свідчить про запас міцності в 3,4...4,1 рази.

3 ПРОЄКТ СПОРУДЖЕННЯ ПІЛОННОЇ СТАНЦІЇ ГЛИБОКОГО ЗАКЛАДЕННЯ

3.1 Основні принципи подвійного призначення станційної конструкції

Положеннями ДБН [4] передбачено, що захисні споруди (ЗП) та споруди подвійного призначення (СПП) створені таким чином, щоб протягом терміну до 48 годин створити умови для перебування людей, що підлягають укриттю. ЗП та СПП повинні забезпечити захист виключаючи або зменшуючи прогнозовані небезпечні впливи, які можуть виникнути як складник явищ надзвичайної ситуації, воєнних або бойових дій та терористичних актів.

Станції метрополітенів є СПП, яким притаманні два функціональні призначення, тобто транспортне й захисне, яке характеризує ці підземні об'єкти як такі, що мають подвійне призначення. Обидва ці функціональні призначення були визначені ще під час Другої світової війни, коли станції метрополітенів з обох сторін (члени Антигітлерівської коаліції та Нацистська Німеччина) використовувалися як укриття.

СПП, до яких відноситься станція пілонного типу, успішно захищає міське населення від 2 груп потрапляння бойового заряду (прямого та непрямого, тобто віддаленого від периметру підземної споруди). Протягом війни російської федерації проти України пілонні станції Київського метрополітену зарекомендували себе як ефективні укриття [7] (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Пілонна станція Київського метрополітену
під час ракетного обстрілу

Слід підкреслити, що ДБН вимагає [4], що СПП мають бути запроєктовані таким чином, що б одночасно задовольняти встановлені вимоги відповідно до обох функціональних призначень. Однак, як показав досвід Київського метрополітену, в період масованих ракетно-дронових ударів станції виконували лише друге функціональне призначення, тобто працювали виключно як укриття. Оскільки згаданий ДБН не міг врахувати таку ситуацію, в подальшому він буде скоригований.

3.2 Технологія розробки породи буровибуховим способом

Найбільш ефективним способом розробки скельних порід є їх підривання. Вибуховий спосіб достатньо дешевий, використовується у породах із широким діапазоном міцності та забезпечує високі швидкості проходки [7].

Цикл буропідривних робіт являє собою ряд послідовних операцій, здійснених для зруйнування забою на деяку глибину, яка називається глибиною заходки. Допоміжні роботи ведуться одночасно з основними і не впливають на тривалість циклу.

Вибір виду вибухової речовини та визначення її кількості, необхідної для підривання заходки, обумовлюються міцністю породи, вологістю виробки, глибиною заходки, необхідними розмірами кусків та економічними міркуваннями. В умовах даного проєкту доцільно використовувати амоніт скельний та амоніт №6ЖВ.

Це пояснюється їх невисокою вартістю та безпекою у використанні; вони мають високу працездатність і бризантність та у пресованому стані мають щільність, що перевищує щільність динаміту; крім цього ці вибухові речовини є водостійкими.

При будівництві тунелів використовується велика кількість методів підривання.

Найбільш ефективний в умовах даного проєкту буде шпуровий метод підривання з використанням центральних прямих врубів у передовій штольні та центральних клинових врубів в уступній частині тунелю. Такі вруби

універсальні та забезпечують потрібний викид породи.

Існує декілька способів підривання.

Останнім часом широко використовується електричний спосіб підривання, який, пристосовується до даних умов будівництва, буде найбільш ефективним, оскільки перевага даного способу полягає у регулюванні черговості та необхідного уповільнення при великій кількості шпурів і значних розмірах виробки. Крім того, електричне підривання використовується, як більш безпечне. Для такого підривання використовуються електродетонатори миттєвої дії, такі як: ЕД-8-Ж, ЕД-8-Е, ЕД-8-ПС; короткоуповільненої дії: ЕДКЗ-ПМ-25, ЕДКЗ-ПМ-50, ЕДКЗ-ПМ-75 із уповільненням 25, 50, 75 мілісекунд відповідно.

Боковий станційний тунель

$$q = \left(0,3 \cdot \sqrt{f} + \frac{2}{\sqrt{S}} \right) \cdot e \cdot \psi \cdot W \text{ кг/м}^3,$$

кількість вибухової речовини на цикл [7]:

$$Q = q \cdot S \cdot \omega \text{ кг},$$

де: f – коефіцієнт міцності породи, $f=4$;

S – проектна площа перерізу, $S=56,72 \text{ м}^2$;

e – коефіцієнт працездатності вибухової речовини, $e=1$;

ψ – коефіцієнт впливу щільності зарядження $\psi=1,1$;

ω – прийнята глибина заходки на цикл $\omega=0,75 \text{ м}$;

W – коефіцієнт структури і тріщинуватості скельних ґрунтів, $W=1,4$.

Знаючи необхідні для розрахунку дані визначаємо питому витрату та кількість вибухової речовини на цикл:

$$q = \left(0,3 \cdot \sqrt{4} + \frac{2}{\sqrt{56,72}} \right) \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,4 = 1,33 \text{ кг/м}^3,$$

$$Q = 1,33 \cdot 56,72 \cdot 0,75 = 56,58 \text{ кг}.$$

Оскільки порода руйнується не по всій довжині шпура, треба визначити

необхідну довжину комплекту відбійних і контурних шпурів l_k . Для цього скористаємось формулою:

$$l_k = \frac{\omega}{\eta} = \frac{0,75}{0,9} = 0,83 \text{ м,}$$

де: η – коефіцієнт використання шпура, який у горизонтальних виробках складає $\eta=0,9$.

Для складання схеми розташування шпурів визначаємо кількість шпурових зарядів. Загальна кількість шпурів визначається із виразу:

$$N = N_{\text{в}} + N_{\text{від}} + N_{\text{к}} + N_{\text{п}} \text{ шт.}$$

де: $N_{\text{в}}$, $N_{\text{від}}$, $N_{\text{к}}$, $N_{\text{п}}$ – кількість врубових, відбійних, контурних і підшовових шпурів відповідно.

Згідно з прийнятими нормами кількість контурних шпурів можна визначити за формулою:

$$N_{\text{к}} = \frac{P_{\text{к}}}{a_{\text{к}}} \text{ шт.,}$$

де: $P_{\text{к}}$ – периметр виробки по лінії розташування контурних шпурів,

$$P_{\text{к}} = 2 \cdot \pi \cdot R = 2 \cdot 3,14 \cdot 4,25 = 26,69 \text{ м;}$$

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

Тоді:

$$N_{\text{к}} = \frac{P_{\text{к}}}{a_{\text{к}}} = \frac{26,69}{0,5} = 53,38 \approx 54 \text{ шт.}$$

Користуючись формулою Покровського визначимо врубові та відбійні шпури:

$$N_{\text{в}} + N_{\text{від}} = \frac{12,7 \cdot q \cdot S}{d^2 \cdot K_3 \cdot \Delta \cdot K_{\Delta}} + \sqrt{S'} \text{ шт,}$$

де: d – діаметр патрона вибухової речовини, $d=3,2 \text{ см}$;

K_3 – коефіцієнт заповнення шпура, $K_3=0,6$;

Δ – щільність заряджання вибухової речовини, $\Delta = 1,45$;

K_{Δ} – коефіцієнт ущільнення заряду, $K_{\Delta}=1,05$;

S' – площа ядра перерізу тунелю, яка дорівнює площі виробки без площі, що припадає на контурні шпури.

Для визначення площі ядра тунелю визначимо площу, що необхідно висадити контурними шпурами, скориставшись формулою:

$$S_k = (N_k - 1) \cdot a_k \cdot (\omega_k + 0,1) \text{ м}^2,$$

$$\omega_k = \frac{a_k}{m}$$

де: ω_k – лінія найменшого опору контурних шпурів;

m – коефіцієнт зближення зарядів, $m=0,8$;

тоді:

$$\omega_k = \frac{a_k}{m} = \frac{0,5}{0,8} = 0,625 \text{ м},$$

$$S_k = (N_k - 1) \cdot a_k \cdot (\omega_k + 0,1) = (54 - 1) \cdot 0,5 \cdot (0,625 + 0,1) = 19,21 \text{ м}^2.$$

Визначаємо площу ядра перерізу тунелю:

$$S' = S - S_k = 56,72 - 19,21 = 37,51 \text{ м}^2.$$

Знаючи необхідні показники, визначаємо суму врубових та відбійних шпурів:

$$N_g + N_{vid} = \frac{12,7 \cdot 1,33 \cdot 37,51}{3,2^2 \cdot 0,6 \cdot 1,45 \cdot 1,05} + \sqrt{37,51} = 73,86 \approx 74 \text{ шт.}$$

Тоді загальна кількість становить:

$$N = N_g + N_{vid} + N_k + N_n = 74 + 54 + 0 = 128 \text{ шт.}$$

Оскільки заряд складається з патронів вагою 200 та 300 г, розрахункову масу одного заряду округляють до 0,1 кг.

Масу контурного заряду визначають із виразу:

$$q_k = k_3 \cdot l_{ш} = 0,2 \cdot 0,75 = 0,15 \text{ кг},$$

де: k_3 – лінійна маса заряду в контурних шпурах;

$l_{ш}$ – довжина контурного шпуру.

Масу всіх контурних зарядів:

$$Q_k = q_k \cdot N_k = 0,15 \cdot 54 = 8,1 \text{ кг},$$

Середня маса заряду інших шпурів:

$$q_{cp} = \frac{Q - Q_{\kappa}}{N - N_{\kappa}} = \frac{56,58 - 8,1}{128 - 54} = 0,66 \text{ кг},$$

Маса заряду врубового шпуру:

$$q_{\varepsilon} = 1,2 \cdot q_{cp} = 1,2 \cdot 0,66 = 0,79 \text{ кг},$$

Маса всіх врубових зарядів:

$$Q_{\varepsilon} = q_{\varepsilon} \cdot N_{\varepsilon} = 0,79 \cdot 4 = 3,16 \text{ кг},$$

Маса зарядів відбійних шпурів:

$$Q_{\varepsilon id} = q_{cp} \cdot N_{\varepsilon id} = 0,66 \cdot 70 = 46,2 \text{ кг}.$$

Загальна маса вибухової речовини на цикл:

$$Q_{\varepsilon p} = Q_{\kappa} + Q_{\varepsilon} + Q_{\varepsilon id} = 8,1 + 3,16 + 46,2 = 57,46 \text{ кг},$$

Уточнена питома витрата вибухової речовини на цикл:

$$q_o = \frac{Q_{\varepsilon p}}{S \cdot \omega} = \frac{57,46}{56,72 \cdot 0,75} = 1,35 \text{ кг/м}^3,$$

Вихід породи за вибух (у масиві):

$$V = S \cdot \omega = 56,72 \cdot 0,75 = 42,54 \text{ м}^3,$$

Загальна кількість шпурометрів на цикл:

$$L_m = N \cdot l_{ui} = 128 \cdot 0,75 = 96 \text{ м}.$$

Середній станційний тунель

Передова штольня [7]

$$q = \left(0,3 \cdot \sqrt{f} + \frac{2}{\sqrt{S}}\right) \cdot e \cdot \psi \cdot W \text{ кг/м}^3,$$

кількість вибухової речовини на цикл:

$$Q = q \cdot S \cdot \omega \text{ кг},$$

де: f – коефіцієнт міцності породи, $f=4$;

S – проектна площа перерізу, $S=20,4 \text{ м}^2$;

e – коефіцієнт працездатності вибухової речовини, $e=1$;

ψ – коефіцієнт впливу щільності зарядження $\psi=1,1$;

ω – прийнята глибина заходки на цикл $\omega=1,5 \text{ м}$;

W – коефіцієнт структури і тріщинуватості скельних ґрунтів, $W=1,4$.

Знаючи необхідні для розрахунку дані визначаємо питому витрату та кількість вибухової речовини на цикл:

$$q = \left(0,3\sqrt{4} + \frac{2}{\sqrt{20,4}}\right) \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,4 = 1,61 \text{ кг/м}^3,$$

$$Q = 1,61 \cdot 20,4 \cdot 1,5 = 49,27 \text{ кг.}$$

Оскільки порода руйнується не по всій довжині шпура, треба визначити необхідну довжину комплексу відбійних і контурних шпурів l_k . Для цього скористаємось формулою:

$$l_k = \frac{\omega}{\eta} = \frac{1,5}{0,9} = 1,7 \text{ м,}$$

де: η – коефіцієнт використання шпура, який у горизонтальних виробках складає $\eta=0,9$.

Для складання схеми розташування шпурів визначаємо кількість шпурових зарядів. Загальна кількість шпурів визначається із виразу:

$$N = N_v + N_{від} + N_k + N_n \text{ шт.}$$

де: N_v , $N_{від}$, N_k , N_n – кількість врубових, відбійних, контурних і підшвових шпурів відповідно.

Згідно з прийнятими нормами кількість контурних і підшвових шпурів можна визначити за формулами:

$$N_k = \frac{P_k}{a_k} \text{ шт.}, \quad N_n = \frac{P_n}{a_n} \text{ шт.},$$

де: P_k – периметр виробки по лінії розташування контурних шпурів,

$$P_k = 2 \cdot (h - 0,1) + (b - 0,1) = 2 \cdot 4,15 + 4,7 = 13 \text{ м;}$$

P_n – ширина виробки по підшві,

$$P_n = b - 1 = 4,8 - 0,1 = 4,7 \text{ м;}$$

a_k – відстань між контурними шпурами,

a_n – відстань між підшвеними шпурами, $a_k = a_n = 0,5 \text{ м.}$

Тоді:

$$N_{\kappa} = \frac{P_{\kappa}}{a_{\kappa}} = \frac{13}{0,5} = 26 \text{ шт.}$$

$$N_n = \frac{P_n}{a_n} = \frac{4,7}{0,5} \approx 10 \text{ шт.}$$

Користуючись формулою Покровського визначимо врубіві та відбійні шпури:

$$N_{\epsilon} + N_{\epsilon i \delta} = \frac{12,7 \cdot q \cdot S}{d^2 \cdot K_3 \cdot \Delta \cdot K_{\Delta}} + \sqrt{S'} \text{ шт,}$$

де: d – діаметр патрона вибухової речовини, $d=3,2$ см;

K_3 – коефіцієнт заповнення шпура, $K_3=0,6$;

Δ – щільність заряджання вибухової речовини, $\Delta = 1,45$;

K_{Δ} – коефіцієнт ущільнення заряду, $K_{\Delta}=1,05$;

S' – площа ядра перерізу тунелю.

Для визначення площі ядра тунелю визначимо площу, що необхідно висадити контурними та підшововими зарядами, скориставшись формулою:

$$S_{\kappa} = (N_{\kappa} - 1) \cdot a_{\kappa} \cdot (\omega_{\kappa} + 0,1) \text{ м}^2,$$

де: ω_{κ} – лінія найменшого опору контурних зарядів;

m – коефіцієнт зближення зарядів, $m=0,8$;

тоді:

$$\omega_{\kappa} = \frac{a_{\kappa}}{m} = \frac{0,5}{0,8} = 0,625 \text{ м,}$$

$$S_{\kappa} = (N_{\kappa} - 1) \cdot a_{\kappa} \cdot (\omega_{\kappa} + 0,1) = (36 - 1) \cdot 0,5 \cdot (0,625 + 0,1) = 12,68 \text{ м}^2.$$

Визначаємо площу ядра перерізу тунелю:

$$S' = S - S_{\kappa} = 20,4 - 12,68 = 7,71 \text{ м}^2.$$

Знаючи необхідні показники, визначаємо суму врубівих та відбійних шпурів:

$$N_e + N_{eid} = \frac{12,7 \cdot 1,61 \cdot 7,71}{3,2^2 \cdot 0,6 \cdot 1,45 \cdot 1,05} + \sqrt{7,71} = 20 \text{ шт.}$$

Тоді загальна кількість становить:

$$N = N_e + N_{eid} + N_k + N_n = 4 + 16 + 26 + 10 = 56 \text{ шт.}$$

Оскільки заряд складається з патронів вагою 200 та 300 г, розрахункову масу одного заряду округляють до 0,1 кг.

Масу контурного і підшовеного зарядів визначають із виразу:

$$q_k = k_3 \cdot l_{ш} = 0,6 \cdot 1,5 = 0,9 \text{ кг,}$$

Масу всіх контурних і підшовених зарядів:

$$Q_k = q_k \cdot N_k = 0,9 \cdot 36 = 32,4 \text{ кг,}$$

Середня маса заряду інших шпурів:

$$q_{cp} = \frac{Q - Q_k}{N - N_k} = \frac{49,27 - 32,4}{56 - 36} = 0,84 \text{ кг,}$$

Маса заряду врубового шпуру:

$$q_e = 1,2 \cdot q_{cp} = 1,2 \cdot 0,84 = 1,01 \text{ кг,}$$

Маса всіх врубових зарядів:

$$Q_e = q_e \cdot N_e = 1,01 \cdot 4 = 4,04 \text{ кг,}$$

Маса зарядів відбійних шпурів:

$$Q_{eid} = q_{cp} \cdot N_{eid} = 0,84 \cdot 16 = 13,44 \text{ кг.}$$

Загальна маса вибухової речовини на цикл:

$$Q_{ep} = Q_k + Q_e + Q_{eid} = 32,4 + 4,04 + 13,44 = 49,88 \text{ кг,}$$

Уточнена питома витрата вибухової речовини на цикл:

$$q_o = \frac{Q_{ep}}{S \cdot \omega} = \frac{49,88}{20,4 \cdot 1,5} = 1,63 \text{ кг/м}^3,$$

Вихід породи за вибух (у масиві):

$$V = S \cdot \omega = 20,4 \cdot 1,5 = 30,6 \text{ м}^3,$$

Загальна кількість шпурометрів на цикл:

$$L_m = N \cdot l_{ш} = 56 \cdot 1,5 = 84 \text{ м.}$$

Уступна частина

$$q = \left(0,3 \cdot \sqrt{f} + \frac{2}{\sqrt{S}} \right) e \cdot \psi \cdot W \text{ кг/м}^3,$$

кількість вибухової речовини на цикл:

$$Q = q \cdot S \cdot \omega \text{ кг},$$

де: f – коефіцієнт міцності породи, $f=4$;

S – проєктна площа перерізу, $S=50,44 \text{ м}^2$;

e – коефіцієнт працездатності вибухової речовини, $e=1$;

ψ – коефіцієнт впливу щільності зарядження $\psi=1,1$;

ω – прийнята глибина заходки на цикл $\omega=1,5 \text{ м}$;

Знаючи необхідні для розрахунку дані визначаємо питому витрату та кількість вибухової речовини на цикл:

$$q = \left(0,3\sqrt{4} + \frac{2}{\sqrt{50,44}} \right) \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,4 = 1,36 \text{ кг/м}^3,$$

$$Q = 1,36 \cdot 50,44 \cdot 1,5 = 102,72 \text{ кг}.$$

Оскільки порода руйнується не по всій довжині шпура, треба визначити необхідну довжину комплекту відбійних і контурних шпурів l_k . Для цього скористаємось формулою:

$$l_k = \frac{\omega}{\eta} = \frac{1,5}{0,9} = 1,7 \text{ м},$$

де: η – коефіцієнт використання шпура, який у горизонтальних виробках складає $\eta=0,9$.

Для складання схеми розташування шпурів визначаємо кількість шпурових зарядів. Загальна кількість шпурів визначається із виразу:

$$N = N_v + N_{від} + N_k + N_n \text{ шт.}$$

де: N_v , $N_{від}$, N_k , N_n – кількість врубових, відбійних, контурних і підшовових шпурів відповідно.

Згідно з прийнятими нормами кількість контурних шпурів можна визначити за формулами:

$$N_k = \frac{P_k}{a_k} \text{ шт.},$$

де: P_k – периметр виробки по лінії розташування контурних шпурів,

$$P_k = 2 \cdot \pi \cdot R - b = 2 \cdot 3,14 \cdot 4,75 - 4,8 = 25,03$$

a_k – відстань між контурними шпурами, $a_k = 0,6$ м.

Тоді:

$$N_k = \frac{P_k}{a_k} = \frac{25,03}{0,6} = 42 \text{ шт.}$$

Користуючись формулою Покровського визначимо врубіві та відбійні шпури:

$$N_e + N_{eio} = \frac{12,7 \cdot q \cdot S}{d^2 \cdot K_3 \cdot \Delta \cdot K_\Delta} + \sqrt{S'} \text{ шт,}$$

де: d – діаметр патрона вибухової речовини, $d=3,6$ см;

K_3 – коефіцієнт заповнення шпура, $K_3=0,6$;

Δ – щільність заряджання вибухової речовини, $\Delta = 1,45$;

K_Δ – коефіцієнт ущільнення заряду, $K_\Delta=1,05$;

S' – площа ядра перерізу тунелю.

Для визначення площі ядра тунелю визначимо площу, що необхідно висадити контурними та підшововими зарядами, скориставшись формулою:

$$S_k = (N_k - 1) \cdot a_k \cdot (\omega_k + 0,1) \text{ м}^2,$$

$$\omega_k = \frac{a_k}{m}$$

де: ω_k – лінія найменшого опору контурних зарядів;

m – коефіцієнт зближення зарядів, $m=0,8$;

тоді:

$$\omega_k = \frac{a_k}{m} = \frac{0,6}{0,8} = 0,75 \text{ м,}$$

$$S_k = (N_k - 1) \cdot a_k \cdot (\omega_k + 0,1) = (42 - 1) \cdot 0,6 \cdot (0,75 + 0,1) = 17,425 \text{ м}^2.$$

Визначаємо площу ядра перерізу тунелю:

$$S' = S - S_k = 50,44 - 17,425 = 33,02 \text{ м}^2.$$

Знаючи необхідні показники, визначаємо суму врубових та відбійних шпурів:

$$N_e + N_{eid} = \frac{12,7 \cdot 1,36 \cdot 33,02}{3,6^2 \cdot 0,6 \cdot 1,45 \cdot 1,05} + \sqrt{33,02} = 54 \text{ шт.}$$

Тоді загальна кількість становить:

$$N = N_e + N_{eid} + N_k = 4 + 50 + 42 = 96 \text{ шт.}$$

Оскільки заряд складається з патронів вагою 200 та 300 г, розрахункову масу одного заряду округляють до 0,1 кг.

Масу контурного і підшовеного зарядів визначають із виразу:

$$q_k = k_3 \cdot l_{ш} = 0,6 \cdot 1,5 = 0,9 \text{ кг},$$

Масу всіх контурних зарядів:

$$Q_k = q_k \cdot N_k = 0,9 \cdot 42 = 37,8 \text{ кг},$$

Середня маса заряду інших шпурів:

$$q_{cp} = \frac{Q - Q_k}{N - N_k} = \frac{102,72 - 37,8}{96 - 42} = 1,2 \text{ кг},$$

Маса заряду врубового шпуру:

$$q_e = 1,2 \cdot q_{cp} = 1,2 \cdot 1,2 = 1,44 \text{ кг},$$

Маса всіх врубових зарядів:

$$Q_e = q_e \cdot N_e = 1,44 \cdot 4 = 5,76 \text{ кг},$$

Маса зарядів відбійних шпурів:

$$Q_{eid} = q_{cp} \cdot N_{eid} = 1,2 \cdot 50 = 60 \text{ кг}.$$

Загальна маса вибухової речовини на цикл:

$$Q_{ep} = Q_k + Q_e + Q_{eid} = 37,8 + 5,76 + 60 = 103,56 \text{ кг},$$

Уточнена питома витрата вибухової речовини:

$$q_o = \frac{Q_{ep}}{S \cdot \omega} = \frac{103,56}{50,44 \cdot 1,5} = 1,36 \text{ кг/м}^3,$$

Вихід породи за вибух (у масиві):

$$V = S \cdot \omega = 50,44 \cdot 1,5 = 75,66 \text{ м}^3,$$

Загальна кількість шпурометрів на цикл:

$$L_m = N \cdot l_{ш} = 96 \cdot 1,5 = 144 \text{ м.}$$

3.3 Розрахунок вентиляції під час проведення вибухових робіт

Вентиляція призначена для створення нормальних умов перебування людей у тунелях. Вентиляційні пристрої повинні бути для підтримання необхідної чистоти, температури та вологості повітря, забезпечувати рівний повітрообмін [1, 8]. При виробництві підривних робіт необхідну для провітрювання, кількість повітря визначають із умов, якщо кількість умовного вуглецю була б не більшою 0,008 % через проміжок часу, не більше ніж за 30 хвилин після вибуху та початку провітрювання.

При комбінованій схемі вентиляції на відстані $l=40$ м від забою, достатній для розташування всього прохідницького устаткування та комплексу, улаштовується перемичка, що перешкоджає розповсюдженню забрудненого повітря по тунелю. Забруднене повітря відсмоктується по трубопроводу, діаметром 940 мм, до порталу, або вентиляційної свердловини. Одночасно нагнітається повітря за допомогою пересувного вентилятора з короткою трубою, діаметром 600 мм, завдяки цьому повітря у призабійній зоні інтенсивно переміщується, та відбувається більш повне видалення шкідливих газів.

При комбінованій системі, якщо відстань до перемички l_n менше 50 м, кількість повітря може бути визначене за формулою:

$$Q_k = \frac{15,6}{t} \sqrt{ASl_n} \text{ м}^3/\text{хв},$$

де $t \leq 30$ хв – час провітрювання, $t=30$ хв;

A – витрати вибухових речовин за один період підривання, згідно з паспортом БВР, $A=153,44$ кг;

S – поперечний переріз виробки, $S=70,85$ м²;

$l_{\text{п}}$ – відстань до перемички, $l_{\text{п}}=45$ м;

Кількість повітря складає:

$$Q_{\kappa} = \frac{15,6}{30} \sqrt{153,44 \cdot 70,85 \cdot 45} = 364 \text{ м}^3/\text{хв.}$$

Одержану кількість перевіряємо за кількістю людей (не менш 6 м³/хв на людину), та на швидкість руху повітря у виробці:

$$V = \frac{Q}{60S} \text{ м/сек,}$$

де: Q – одержана кількість повітря, $Q=364$ м³/хв;

S – поперечний переріз виробки, $S=70,85$ м²;

$$V = \frac{364}{60 \cdot 70,85} = 0,09 \text{ м/сек.}$$

Оскільки швидкість повітря менше 0,25 м/сек, то кількість повітря для вентиляції знаходиться:

$$Q = 0,25 \cdot S \text{ м}^3/\text{сек};$$

$$Q = 0,25 \cdot 70,85 = 17,71 \text{ м}^3/\text{сек} = 1062 \text{ м}^3/\text{хв.}$$

Розрахункова продуктивність вентилятора дорівнює:

$$Q_b = \eta Q \text{ м}^3/\text{хв,}$$

де: η – коефіцієнт доставки,

$$\eta = \left(\frac{k dz}{3m} \sqrt{R+1} \right)^2,$$

де: k – коефіцієнт питомої стикової повітряної непроницності;

d – діаметр труб, $d=0,6$ м;

z – довжина трубопроводу, $z=45$ м;

m – довжина ланки труби, $m=2,5$ м;

k – аеродинамічний коефіцієнт, $k=1,13$.

$$\eta = \left(\frac{0,002 \cdot 0,6 \cdot 45}{3 \cdot 2,5} \sqrt{1,13 + 1} \right)^2 = 1,02.$$

Розрахуємо розрахункову продуктивність:

$$Q_b = \eta Q = 1,02 \cdot 1062 = 1084 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

За необхідними властивостями обираємо 3 вентилятора СВМ-6м. Його властивості:

- діаметр робочого колеса – 600 мм;
- число ступенів – 1;
- частота обертання колеса – 2940 хв^{-1} ;
- продуктивність 190-420 $\text{м}^3/\text{хв}$;
- тиск 12-24,5 ГПа;
- продуктивність електродвигуна – 14 кВт;
- довжина – 630 мм;
- ширина – 700 мм;
- висота – 770 мм;
- вага – 265 кг.

3.4 Проходка бокових станційних тунелів

Проходка станційних тунелів $D_n/D_{вн}=8,5/7,8$; в скельних тріщинуватих зводнених грунтах від середньої до слабкої стійкості передбачається еректорним способом з монтажем оправи з чавунних тюбінгів тюбінгоукладачем [10, 11].

Буріння шпурів ведеться буровою установкою TAMROCK.

Навантаження породи за допомогою породонавантажувальною машиною

1ППН – 5п в глухі вагонетки і відкатується до шахтного стовбуру.

Відвантаження підірваної породи – породонавантажувальною машиною 1ППН – 5п і частково у ківш машини при очищенні лотку.

Монтаж оправи тюбінгоукладачем, обладнаним захисними пристроями від дії ударів породи при вибухах, а також висувним захисним козирком та 10 платформами (майданчиками). Монтаж кілець ведеться із застосуванням плоских металевих шайб. Подача тюбінгів – на тюбінговозках.

Наявність висувного рейкового звена дозволяє подавати тюбінговозки безпосередньо під захват руки укладача.

Для забезпечення нормативних допусків по еліптичності кілець при монтажі можуть застосовуватись тимчасові металеві стяжки діаметром 40мм і розпірки, а первинне нагнітання повинно виконуватись рівномірно з обох сторін без відставання.

Подача сухої суміші на робочий майданчик укладача здійснюється тельфером $Q=5т$ в опрокидних вагонетках місткістю $1,1м^3$ або у спеціальних контейнерах.

Технологічна платформа зі стрілочним з'їздом пересувається одночасно з пересуванням укладача.

Первинне й контрольне нагнітання цементного розчину 1:0 під тиском до 3 атм. виконується з мінімальною відстанню від останнього кільця безпосередньо з укладача. Первинне й контрольне нагнітання передбачається виконувати вище горизонтальної осі тунелю.

Повторне контрольне нагнітання цементного розчину 1:0, а потім і чеканка швів виконується зі спеціальної пересувної теліжки після завершення проходки станційних тунелів і оформлення пройомів.

По мірі проходження тунелів встановлюються металеві стяжки.

В цілях забезпечення надійної гідроізоляції тунелів передбачається 100% заміна болтів і встановлення асбобітумних шайб після оформлення пройомів.

Провітрювання здійснюється за допомогою головної вентиляційної установки, розташованій на шахтній поверхні стовбуру. Для прискорення

провітрювання у верхній частині забою застосовується вентилятор – побуджувач типу СВМ – 6м, який подає повітря у забій по прогумленому трубопроводу $L=40\dots60$ м. Загазоване повітря засасується в трубу діаметром 940 мм, кінець якої розташований за укладачем.

Трубопроводи стиснутого повітря, водопроводу та водовідливу нарощуються по мірі монтажу оправи, не доходячи до укладача. В призабійній зоні використовуються високонапірні шланги, кріплення труб до оправи на хомутах.

3.5 Проходка середнього станційного тунелю

Проходка станційних тунелів $D_n/D_{вн}=9,5/8,8$ в скельних тріщинуватих зводнених ґрунтах від середньої до слабкої стійкості передбачається способом нижнього уступу, т. є з розподілом забою на 2 уступи (яруси) і монтажем оправи з чавунних і залізобетонних тюбінгів тюбінгоукладачем крокуючого типу ТУ – 4ГПБ [10, 11].

При цьому проходка верхнього уступу здійснюється також з розподілом на частини.

В першу чергу проходиться верхня передова виробка (штольня) з випередженням нижнього уступу на 20...30 м. Потім виконується розширення калотної профіль, виходячи з постійного забезпечення відстані між забоем нижнього уступу і забоем калоти не менш 5 м, що дозволяє забезпечити загальну стійкість лобу забою.

Розширення на калотний профіль чергується з розробкою нижнього уступу і монтажем оправи з чавунних і залізобетонних тюбінгів. Величина заходки за обома уступами приймається з урахуванням фактичної стійкості порід в межах 1,5...3 м (на 2...4 кільця оправи).

Послідовність робіт після проходки верхньої виробки в межах ділянки $L=20\dots30$ м на чергову заходку прийнята наступна:

1. Розширюється верхня частина на калотний профіль (верхній уступ) по довжині 1,5...3 м.

2. Розробляється нижній уступ на ту ж довжину.

3. Монтується оправа чергових 2...4 кілець оправи з виконанням первинного нагнітання цементно-піщаного розчину 1:3 за оправу по мірі монтажу кілець. Далі цикл повторюється і т.д.

Обурювання забою при проходженні верхньої виробки і розширення на калотний профіль передбачається ручними перфораторами типу ПР – 24л; ПР – 30л і т.п.

Тимчасове кріплення кривлі верхньої частини тунелю передбачається залізобетонними анкерами із затяжкою з металеві сітки по всій поверхні кривлі.

При проходженні передової виробки і калоти порода за допомогою скреперної установки транспортується в бік укладача і скидається на підшву нижнього уступу, де відвантажується породонавантажувальною машиною 1ППН – 5п в глухі вагонетки і відкатується до шахтного стовбуру.

Скреперна лебідка встановлюється на укладачі – по місцю.

Розробка нижнього уступу ведеться методом шпурових зарядів. Буріння шпурів ведеться буровою установкою TAMROCK.

Відвантаження підірваної породи – породонавантажувальною машиною 1ППН – 5п і частково у ківш машини при очищенні лотку.

Монтаж оправи тюбінгоукладачем, обладнаним захисними пристроями від дії ударів породи при вибухах, а також висувним захисним козирком та 10 платформами (майданчиками). Монтаж кілець ведеться із застосуванням плоских металевих шайб. Подача тюбінгів – на тюбінговозках.

Наявність висувного рейкового звена дозволяє подавати тюбінговозки безпосередньо під захват руки укладача.

Для забезпечення нормативних допусків по еліптичності кілець при монтажі можуть застосовуватись тимчасові металеві стяжки діаметром 40мм і розпірки, а первинне нагнітання повинно виконуватись рівномірно з обох сторін без відставання.

Подача сухої суміші на робочий майданчик укладача здійснюється

тельфером $Q=5$ т в опрокидних вагонетках місткістю $1,1 \text{ м}^3$ або у спеціальних контейнерах.

Технологічна платформа зі стрілочним з'їздом пересувається одночасно з пересуванням укладача.

3.6 Спорудження проїомів

Спорудження проїомів виконують одночасно не більш ніж на двох ділянках розташованих на протилежних сторонах і зміщених на один-два проїома. Грунт в межах пілону (між суміжними проїомами і оправами середнього і бокового тунелів) видаляють, заповнюючи бетоном простір, що вивільнився [10, 11].

Роботи виконують з пересувних підмостків, які встановлюють перед проїомом в середньому тунелі. Проїом починають розкривати, видаляючи лебідками вкладиші і середній верхній тьобінг тимчасового заповнення. Через утворену в кільцях щілину по осі проходу розробляють до тьобінгів бічного тунелю ходок, закріплюючи його штольневим кріпленням. Лонгарини встановлюють вище місця розташування листів металевої ізоляції на товщину оправи проходу і опирають кінцями на тьобінги. Потім розкривають калоту на всю довжину проїому, встановлюючи чергові пари лонгарин та затягуючи кровлю марчеванами. По мірі розкриття калоти знімають ті які залишились тьобінги тимчасового заповнення у верхній частині проїому спочатку в середній, а потім і в боковому тунелі.

У підготовленій калоті встановлюють і зварюють листи металевої опалубки, які зовні мають анкерну арматуру (для надійного зчеплення з бетоном), і бетонують верхню частину оправи проїому. Ці листи являються також гідроізоляцією проїомів. Після витримки бетону до набору проектної міцності з проїому видаляють інші тьобінги тимчасового заповнення і розробляють грунт спочатку середньої, а потім нижньої частини, після чого бетонують стіни та зворотне склепіння. На завершуючій стадії робіт виконують контрольне нагнітання цементного розчину і чеканку швів обрамлення.

Вкладання залізобетонних елементів платформи і стін підплатформених

приміщень станції виконують краном вантажопідйомністю 7 т.

На підплатформені стіни вкладають платформені коробкообразні блоки. Шви між блоками платформи заповнюють цементно-піщаним розчином і на них вкладають гідроізоляційний шар.

Колійні стіни споруджують з тих же залізобетонних блоків, що і підплатформені. Ці блоки вкладають на цементно-піщаному розчині і прикріплюють до оправи станції за допомогою полосової або арматурної сталі, яка закладається у шви між блоками, це надає стіні стійкість.

Залізничну колію вкладають спеціальними укладачами на бетонну основу, яка влаштовується з монолітного бетону класу В10.

Колія вкладається на коротиши довжиною 900 мм. Укладання шпал-коротитшів ведуть по встановленій для однієї ланки рейок епюрі розташування шпал. Рейки використовують типу Р65, кріплення рейок до шпал окреме.

У слабостійких ґрунтах (зони дроблення, мілонітизації, каолінізації) випереджаюча проходка передової штольні не виконується, а розробка верхньої частини на 3 чергових кільця ведеться класичним калотним способом. Довжина калоти в розробці 3...4 м. Тимчасове кріплення – системою з лонгарин і стійок з установленням дерев'яної затяжки. Напрямок розробки – від осі до п'ят. Кінці лонгарин зі сторони змонтованої оправи спираються на тубінги, а у лобу забою на дерев'яні стійки. Лоб затягується дошками. Нижня частина забою розробляється з відставанням уступу на рівні подошви у верхній частині довжиною не менш 1,5...2 м. Розробка нижньої частини виконується заходками на 1...2 кільця. Необхідність встановлення анкерного кріплення – по місцю. Шаг встановлення анкерів у поперечних рядах 0,8 м, а між рядами 0,8...1,2 м з урахуванням ступеню тріщинуватості і стійкості порід.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Заходи безпеки під час бурових робіт

З метою підтримання безпечності та ефективності бурових робіт необхідно [7]:

- перед початком буріння проводити обробку покрівлі виробки й поверхні забою з подальшою розміткою шпурів згідно з паспортом БВР;
- при забурюванні шпурів штангу бурового інструмента необхідно підтримувати спеціальними пристроями;
- не допускати присутності людей в зоні маніпуляторів;
- використовувати раціональні режими буріння із врахуванням інженерно-геологічних умов;
- суворо дотримуватися строків профілактичного ремонту бурового обладнання в процесі експлуатації.

У разі виконання бурових робіт у забої кожний бурильник повинен уважно стежити за режимом роботи бурового обладнання й не допускати відхилень, які можуть бути пов'язані із зміною інженерно-геологічних умов, до яких відносяться: збільшення або зниження швидкості буріння; зміну зусиль подачі бура на забій або його заклинювання; проскакування буру порожнини; появу або посилення притоку води із шпурів до виробки; зміну кольору води або викидів із шпуру мулу або піску. Якщо помітні такі ознаки, слід повідомити начальника дільниці (майстра), який приймає рішення по конкретному випадку. Особливу увагу слід звертати на такі явища під час проходки виробок у зоні геологічних порушень. Для уточнення стану рекомендується бурити розвідувальні свердловини довжиною не менше 3 м. Роботи виконують під керівництвом працівника служби технічного нагляду.

До початку буріння шпурів забій повинен бути приведений в безпечний стан шляхом обробки ґрунту. Буріння шпурів на висоті більше 1,5 м від підосви виробки дозволяється виконувати із спеціальних риштувань, підмостків або бурових рам.

Для захисту очей від пилу бурильник повинен використовувати захисні окуляри із склом, що не б'ється. З метою безпечного виконання робіт під час забурювання шпурів застосовуються короткі забурники довжиною 0,5...0,8 м. Без забірника можна бурити лише за допомогою самохідних бурових установок. Звільнювати бури, що заклинило, дозволяється буровим ключем або спеціальними пристроями.

До роботи на бурових станках або установках допускаються особи, які мають посвідчення на право управління відповідним механізмом і пройшли стажування та вивчили інструкції з експлуатації і правила охорони праці. Забороняється працювати на несправному обладнанні.

Забороняється бурити в залишені після буріння частини шпурів («стакани»).

У разі роботи на самохідних установках забороняється перебувати під піднятим маніпулятором і автоподавачем, а також між забоєм та установкою. Переміщення бурових установок із одного забою в інший дозволяється тільки в транспортному положенні.

4,2 Заходи безпеки під час вибухових робіт

Виконуючи вибухові роботи, необхідно дотримуватися правил безпеки під час підготовки ВР, підривання зарядів і огляду результатів підривання. ВМ не дозволяється кидати, кантувати, у процесі роботи з ними забороняється палити, користуватися вогнепальною зброєю. Сірники та запальнички дозволяється при собі мати лише підривникам.

Підготовлені до вибуху заряди повинні бути обов'язково підірвані. В одному шпурі дозволяється використати лише один патрон-бойовик, який обережно розміщують в пробуреній порожнині. Якщо бойовик, що застряг у шпурі, витягнути неможливо, то заряджання припиняють і підривають його разом із рештою.

Заряджання на висоті більше 2 м необхідно виконувати з риштувань або полків. Забійка шпурів інертним матеріалом повинна виконуватися невеликими порціями із максимальною обережністю. Підривати шпури без забійки

заборонено.

Під час виконання вибухових робіт обов'язковими є звукові сигнали, які подають у такому порядку.

Перший сигнал – запобіжний (один довгий). Подається перед початком заряджання. Після заряджання монтують і перевіряють підричну мережу. Люди виводяться на безпечну відстань – не менше 150 м від забою при тунелі без збійок та поворотів.

Другий сигнал – бойовий (два довгих). Після цього сигналу підричник виконує підривання.

Третій – відбій (три коротких). Сигнал подається після огляду місця підривання і сповіщає про завершення підричних робіт.

Заряди, що не підірвалися необхідно терміново підірвати за допомогою зарядів, які розташовують в паралельно пробурених шпурах на відстані не ближче 30 см від шпуру із зарядом, що відмовив.

Після підривання і провітрювання забій слід привести в безпечний стан шляхом обстукування та оббирання шматків ґрунту, що нависають. Оббирання здійснюють металевими штангами або відбійними молотками з робочих майданчиків або платформ.

ВИСНОВКИ

1. В бакалаврській роботі проведено детальний аналіз інженерно-геологічних умов й визначено, що скельні ґрунти інженерно-геологічних умов м. Дніпра представлені, переважно, сильно тріщинуватими плагіогранітами. Межа міцності на одноосний стиск у водонасиченому стані складає 3,9...7,1 МПа, тому для подальшого проєктування прийнято коефіцієнт міцності за проф. М. М. Протод'яконовим $f=4$.

2. Виконане варіантне проєктування пілонної станції й обрані два варіанти (№1. Варіант з оправою із чавунних тюрбінгів й №2. Варіант збірної залізобетонної оправи з гумовими ущільнювачами). Визначено основні розміри станції, розраховано об'єми робіт та проведено техніко-економічне порівняння варіантів. Прийнято варіант № 2 з залізобетонних блоків, оскільки трудовитрати на його спорудження є мінімальними, а також цей варіант задовольняє інженерно-геологічним умовам.

3. Виконано розрахунок конструкції оправи пілонної станції методом скінченних елементів, а також розрахунок міцності залізобетонного блоку, проведений в середовищі SCAD, свідчить про запас міцності в 3,4...4,1 рази.

4. Розроблений проєкт спорудження пілонної станції глибокого закладення з урахуванням інженерно-геологічних умов м. Дніпра. Викладено основні принципи подвійного призначення станційної конструкції. Розроблені положення технології розробки породи буровибуховим способом, виконано розрахунок вентиляції під час проведення вибухових робіт.

5. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях для виконання технології розробки породи буровибуховим способом.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Айвазов, Ю. М. Проектування метрополітенів (у 3-х частинах). Начальний посібник. Частина 1 [Текст] / Ю. М. Айвазов. – Київ: НТУ, 2006. – 166 с.
2. Гайко, Г. І. Аналіз прогресивних конструктивних рішень підземних споруд цивільного захисту [Текст] / Г. І. Гайко, А. Л. Ган, В. В. Вапнічна, І. О. Матвійчук // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2024. – №26. – С. 31-40.
3. ДБН Д.2.2.-29-99 Ресурсні елементні кошторисні норми. Збірка 29. Тунелі та метрополітени [Текст]. – Київ: Держбуд України, 2006. – 271 с.
4. ДБН В.2.2-5:2023 Захисні споруди цивільного захисту зі Зміною №1 [Текст]. – Київ : Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2023. – 124 с.
5. ДБН В.2.3-7-2010. Споруди транспорту. Метрополітени [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 195 с.
6. 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.
7. Петренко, В. Д. Методичні вказівки для курсового та дипломного проектування «Проектування буровибухових робіт під час будівництва тунелів» [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, О. Л. Тютюкін; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во «Нова ідеологія», 2011. – 29 с.
8. 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.

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

10. 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.

11. Петренко, В. І. Станції метрополітену: конструкції та спорудження [Текст]: навчальний посібник / В. І. Петренко, В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін. – Д.: Вид-во «Нова ідеологія», 2012. – 164 с.

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

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

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