

Реферат

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

Об'єкт дослідження: перегінний тунель, що споруджується новоавстрійським методом (NATM).

Предмет дослідження: напружено-деформований стан перегінного тунелю, що споруджується NATM.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні перегінних тунелів, що споруджуються NATM, при спорудженні альтернативної лінії Дніпровського метрополітену.

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

1. Проаналізовані інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови будівництва.
2. Розроблені варіанти оправи та проведено їх техніко-економічне порівняння.
3. Проведений чисельний аналіз конструкції оправи перегінного тунелю NATM на основі методу скінченних елементів.
4. Розроблений проєкт спорудження перегінного тунелю NATM.
5. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях при спорудженні NATM на основі БВР.

Галузь застосування: метробудування.

Ключові слова: метрополітен, перегінний тунель, новоавстрійський метод (NATM), буровибухові роботи (БВР), чисельний аналіз, метод скінченних елементів, охорона праці

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Розділ 1 Аналіз інженерно-геологічних умов будівництва перегінного тунелю NATM

Розділ 2 Проєктування оправ перегінного тунелю та їх техніко-економічне порівняння

2.1 Обґрунтування вибору типу оправы

2.2 Визначення параметрів конструкції кругових оправ

2.3 Техніко-економічне обґрунтування варіантів оправы

Розділ 3 Математичне моделювання оправы перегінного тунелю із варіацією їх геометричних характеристик

Розділ 4 Розробка проєкту спорудження перегінного тунелю NATM

4.1 Основні відомості про NATM

4.2 Основні відомості про буровибухові роботи

4.3 Розрахунок параметрів БВР

4.4 Складання паспорта БВР

4.5 Розрахунок параметрів буровибухових робіт

Розділ 5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Загальні висновки

Бібліографічний список

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Перегінні тунелі з'єднують станції метрополітену. При глибокому закладенні, а також при мілкому закладення і закритому способі робіт споруджують зазвичай два паралельних одноколійних перегінних тунелю кругового поперечного перерізу.

Перегінні тунелі призначені для руху поїздів та за своєю довжиною складають основну частину підземної лінії метрополітену. Вони розрізняються по числу шляхів, конструктивній формі і матеріалу оправ.

Більшість транспортних тунелів споруджується в скельних породах, для руйнування яких необхідна велика кількість енергії. Основним видом такої енергії є енергія вибухових речовин (ВР). Під час виконання вибухових робіт застосовується спеціальна технологія, яка передбачає буріння в скельних ґрунтах спеціальних вибухових виробок – шпурів або свердловин, у яких розташовуються заряди, вибух яких призводить до руйнування і дроблення ґрунту.

Частка буровибухових робіт (БВР) під час підземної розробки ґрунту становить до 85...90 %, що пов'язано з універсальністю цього способу й високою продуктивністю руйнування масиву за рахунок енергії ВР. Надалі буровибуховий спосіб буде використовуватися в прогресивних технологіях будівництва підземних споруд різного призначення.

Успішно застосовують в скальних, порушених і тріщинуватих породах при використанні буровибухових робіт новоавстрійський спосіб спорудження тунелю (NATM, НАТМ).

Головною особливістю новоавстрійського способу у порівнянні з іншими є використання у максимальному ступені несучої здатності навколишньої породи та залучені її в роботу в якості захисної конструкції, що оберігає виробку від обвалення.

На сьогодні новоавстрійський спосіб проходки тунелів є найбільш поширеним з гірських способів. Настільки незвичним інтенсивне поширення цього способу обумовлюється його економічністю та низькою

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

011.150018.МР.2020.ПЗ

матеріаломісткістю підземних конструкцій. Будівництво Дніпровського метрополітену, що триває нині і виконується фахівцями турецької фірми «ЛІМАК», базується на широкому застосуванні NATM.

Перевага новоавстрійського методу полягає у тому, що після вибухових робіт на ділянці встановлюють тимчасові кріплення, які вкривають спеціальним розчином. Далі техніка під тиском вкладає на арматуру бетон. Після будівництва монолітні тунелі витримують близько сотні років експлуатації. Водночас самі будівельні роботи можна закінчити у півтора рази швидше, ніж за іншими методиками.

Однак, при всій розробленості технології, існують питання, що потребують дослідження та наукового обґрунтування. До таких питань відносяться чисельний аналіз конструкції оправи перегінного тунелю NATM на основі методу скінченних елементів та розробка технології БВР під час проходки. Тому мета роботи полягає в обґрунтуванні перегінних тунелів, що споруджуються NATM, при спорудженні альтернативної лінії Дніпровського метрополітену.

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1

Аналіз інженерно-геологічних умов будівництва перегінного тунелю NATM

На поверхні землі за поздовжнім перерізом станційного тунелю, що проектується, знаходяться насипні ґрунти, які представлені асфальтовим покриттям з дресвяно-щебневим підсипанням, пісками та суглинками. Дресва – пухкі осадові гірські породи, що утворилися в результаті механічного руйнування самих різних гірських порід – уламкові [28]. Вони являють собою скупчення великих (200...20 мм – щебінь, 20...2 мм – дресва) незграбних уламків. Якщо таких уламків у складі ґрунту міститься більше 50 %, то ґрунт називають щебневим або дресвяним. Породи типово континентальні: не несуть на собі слідів перенесення і обробки водою. Можуть бути отримані штучно шляхом дроблення різних гірських порід. Піски – дрібноуламкові пухкі осадові гірські породи, що складаються з уламків різних мінералів (частіше всього кварцу) або гірських порід величиною від 0,05 до 2(3) мм (за іншими класифікаціями, 0,1...1 мм). Потужність відкладень складає 2,5 м.

За насипними ґрунтами від поверхні землі залягають суглинки сірувато-жовті, тверді, середньої стійкості. Суглинки – пухкі відклади, що складаються із 30...50 % тонкодисперсних частинок розміром менших за 10 мкм (0,01 мм) та уламкового матеріалу фракцій більших за 0,01 мм. У суглинках зазвичай присутні близько 10...30% глинистих часток діаметром менше 0,005 мм, які і обумовлюють основні їх фізико-технічні показники. За характерну ознаку суглинок звичайно приймається зміна числа пластичності в межах від 7 до 17. Максимальна потужність суглинка складає 6 м, мінімальна потужність – 2,5 м. Після суглинок від поверхні землі залягають супіски сірувато-жовті, різного ступеня запісоченості, пластичні, абсолютно нестійкі.

Супіски – пухкі відклади, що складаються на 70...90 % із алеврито-піщаного матеріалу та на 10...30 % із частинок розміром менше 0,01 мм. Число пластичності для супіски становить від 0,01 до 0,07. Максимальна потужність

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.150018.МР.2020.ПЗ				

супіску складає 5 м.

Після супісків від поверхні землі залягають супіски у вигляді флювіогляціальних відкладів, які представлені піщано-гравелистою товщею з галькою, щебенем та валунами кристалічних порід, водонасичені, абсолютно нестійкі. Флювіогляціальні відклади – продукт діяльності потоків талих вод льодовиків. Представлені галькою, гравієм, пісками з валунами, супісками, суглинками і глинами. Характеризуються слабкою можливістю сортування, різноманітністю мінералогічного складу. Максимальна потужність флювіогляціальних відкладів складає 6 м.

Після флювіогляціальних відкладів від поверхні землі залягає елювій кристалічних порід, який представлений дресвяно-щебеними ґрунтами з піщано-глинистим заповнювачем. Елювій – рихлі геологічні відкладення і ґрунти, що формуються в результаті вивітрювання поверхневих гірських порід на місці первісного залягання або в результаті вивітрювання і подальшої акумуляції його продуктів під дією сили тяжіння. Елювіальні відкладення формуються на горизонтальних або слабопохилих поверхнях. Максимальна потужність елювію складає 4 м.

Нижче елювію розташовані плагіограніти рожево-сірі, сірі, дрібно та середньозернисті, які у верхній частині вивітрені до рухлякового стану. В ньому знаходяться зони дроблення, мілонітизації, зони сильної та інтенсивної тріщинуватості. Граніт – найпоширеніша в континентальній земній корі гірська порода, що утворилася в результаті повільного охолодження і затвердіння на великій глибині магматичного розплаву. Граніт може сформуватися також при метаморфізмі – під впливом високих температур і тиску, а також різних рідких і газоподібних речовин, що піднімаються з глибини. Головні мінерали граніту – польовий шпат (35...40 %) і кварц (25...35 %). Саме шпат визначає колір граніту. Кварц присутній у вигляді склоподібних тріщинуватих зерен. Різні види гранітів характеризуються різними типами кристалічної структури. Плагіограніт – світло-сірий граніт з різким переважанням плагиоклаза при повній відсутності або незначному вмісті калієво-натрієвого польового шпату,

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

011.150018.МР.2020.ПЗ

що додає гранітам рожево-червоне забарвлення. Зони тріщинуватості розташовуються в місцях тектонічних розломів. Геологічний розлом, або розрив – порушення суцільності гірських порід, без зміщення (тріщина) або зі зміщенням порід по поверхні розриву. Максимальна потужність плагіограніту складає 49 м, мінімальна потужність – 44 м.

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2

Проектування оправ перегінного тунелю та їх техніко-економічне порівняння

2.1 Обґрунтування вибору типу оправ

На вибір типу оправ й визначення основних параметрів вирішальний вплив мають інженерно-геологічні й гідрогеологічні умови розташування тунелю [26, 27].

У нестійких водонасичених породах ($f < 0,3 \dots 0,4$) (мули, пливуні, піски, текучі супіски й суглинки з лінзами піску тощо), а також у зонах розломів і тектонічної роздрібненості оправа повинна бути водостійкою. Кільце оправ як у робочій, так і в монтажній стадії повинне мати достатню жорсткість, тобто слід збірну оправу проектувати із зв'язками розтягнення й перев'язкою без лоткового блока. У цьому випадку краще застосувати оправу з тюбінгів із сірого чавуну марки СЧ 21-40. Модифікований чавун марки МСЧ 28...38-90...120 може бути застосований за великого гірського і гідростатичного тиску, особливо для тунелів великих діаметрів ($D_{\text{вн}} > 8,0$ м) [5, 26].

У зволжених слабкостійких ($f = 0,5 \dots 1,0$) і стійких ($f = 1,5 \dots 3,0$) породах можливе застосування чавунних тюбінгових і блочних залізобетонних оправ з металевим або поліетиленовим екраном по внутрішній поверхні. Якщо значення гідростатичного тиску на рівні замка тунелю понад 0,15...0,20 МПа, можна застосовувати обидва типи оправ; якщо значення тиску більше 0,2...0,4 МПа – чавунну тюбінгову оправу [26, 39].

У стійких скельних зволжених породах при гідростатичному тиску до 0,15 МПа перевага може бути віддана блочній залізобетонній оправі з внутрішнім поліетиленовим екраном.

У слабкостійких породах природної вологості з невисоким коефіцієнтом міцності ($f = 0,5 \dots 2,0$) (піски, супіски, суглинки, глини) з діаметром тунелю $D_{\text{вн}} > 7,0 \dots 8,0$ м слід застосовувати оправу з блоків суцільного перерізу зі

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зв'язком між кільцями у вигляді кільцевої шпонки із затверділого цементно-піщаного розчину або оправи із залізобетонних тюбінгів зі зв'язком на болтах. При $D_{\text{вн}} < 6,0 \dots 7,0$ м можливо застосування оправи із залізобетонних тюбінгів або блоків суцільного і ребристого поперечних перерізів [26, 32].

У незволожених напівскельних і скельних породах ($f > 2,0 \dots 3,0$) застосовують, залежно від діаметра тунелю, оправи із залізобетонних тюбінгів, блоків ребристого або суцільного поперечного перерізу з плоскими (залізобетонні тюбінги) або циліндричними опукло-ввігнутими стиками з наявністю лоткового блока.

У незволожених стійких напівскельних і скельних породах ($f > 3,0$) з великими діаметрами тунелів ($D_{\text{вн}} \geq 7,0$ м) перевагу віддають оправі із залізобетонних тюбінгів або ребристих блоків.

Призначаючи тип поперечного перерізу елемента (тюбінги, ребристі блоки, блоки суцільного перерізу), зважають на такі міркування:

1) оправи із залізобетонних тюбінгів і ребристих блоків мають підвищену жорсткість і не потребують під час монтажу верхньої частини кільця підтримки висувними балками;

2) зменшена в місці оболонки товщина оправи з тюбінгів і ребристих блоків у поєднанні з більш низькою тріщиностійкістю цих оправ збільшує їхню водопроникність;

3) вихід бетону на виготовлення тюбінгів і ребристих блоків, а отже і їхня маса, менші, ніж блоків суцільного перерізу, але потреба в металі вища через великі витрати арматури, наявність болтових зв'язків і закладних металевих деталей, які обрамовують отвори.

2.2 Визначення параметрів конструкції кругових оправ

У ході проектування необхідно виконати порівняння в технічному та економічному відношенні декількох можливих варіантів оправи (із залізобетонних блоків і тюбінгів, з монолітно-пресованого бетону або чавунних тюбінгів). Здебільшого необхідно вибирати оправи із залізобетону або бетону, і

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тільки в особливо важких інженерно-геологічних умовах може бути допущено застосування оправ з чавунних тюбінгів [26].

Для виготовлення залізобетонних блоків і тюбінгів застосовують бетон класу не нижче В30, а чавунні тюбінги відливають з чавуну марки СЧ-21-40.

Визначення товщини елемента оправ

Для визначення товщини блоків і висоти бортів тюбінгів слід скористатися емпіричною формулою:

$$h = n \sqrt[3]{\frac{R_{\text{вн}}^2}{f}}, \text{ см} \quad (2.1)$$

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

- $n=14$ – для монолітно-пресованого бетону класу В30;
- $n=13$ – для монолітно-пресованого бетону класу В40;
- $n=12$ – для залізобетонних тюбінгів з бетону класу В30;
- $n=10$ – для залізобетонних блоків з бетону класу В30;
- $n=9$ – для залізобетонних блоків і тюбінгів з бетону класу В40;
- $n=7,5$ – для чавунних тюбінгів і залізобетонних блоків і тюбінгів з бетону класу вище В50.

Незалежно від результатів розрахунку товщина оправ із залізобетонних блоків повинна бути не менше 15 см, а товщина бортів або оболонок залізобетонних тюбінгів – не менше 10 см. Розміри елементів оправ, отримані розрахунком, округляють до 5 см.

Визначення ширини кільця та перевірка маси елемента

Ширина кільця визначає (якщо кількість елементів у кільці фіксована) масу елемента, а отже, і вантажопідйомність механізму для монтажу оправ. Але чим більше ширина кільця, тим менше цей показник і тим менші витрати на будівництво тунелю.

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Центральний кут замкового елемента («з») α_3 приймається рівним $6...10^\circ$. Якщо розрахунок проводиться в довжинах, то довжину по дузі елемента («з») приймають рівною $l_3=0,3...0,5$ м.

3. Для спрощення побудов центральний кут лоткового елемента («л») α_l можна приймати рівним центральному куту нормального елемента («н») α_n . Якщо розрахунок проводиться в довжинах, то плоску внутрішню поверхню (плоский лоток) елемента («л») l_l приймають рівною $2,2...2,4$ м.

4. Сума центральних кутів суміжного («с») α_c та половини замкового елемента α_c складає центральний кут нормального елемента («н») α_n , тобто

$$\alpha_n = \alpha_c + \frac{\alpha_3}{2} \quad (2.2)$$

5. Перед розбивкою кільця на елементи, залежно від діаметра оправи, обирають кількість елементів у кільці згідно з п.2.5 та перевіряють довжину та масу нормального елемента l_n . Якщо довжина та маса відповідає вимогам, задаються кутом замкового елемента α_3 . Для випадку кільця без лоткового елемента визначають кут суміжного α_c за формулою (2.2) і за допомогою транспортиру визначають всі кути елементів на кресленні (рис. 2.1).

6. Перев'язку поздовжніх стиків проводять таким чином, що суміжні кільця повертаються одне відносно одного на половину кута нормального елемента $\frac{\alpha_n}{2}$.

7. Якщо кільце має лотковий елемент, тоді для перев'язки поздовжніх стиків у кільце вводять половинні елементи «п» ($\alpha_n/2$), які встановлюють то ліворуч, то праворуч від лоткового. Центральний кут такого елемента $\frac{\alpha_n}{2}$

визначають:

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{\alpha_n}{2} = \frac{360^\circ - \alpha_{л}}{n}, \quad (2.3)$$

де n – кількість половин нормальних елементів ($\langle n \rangle / 2$).

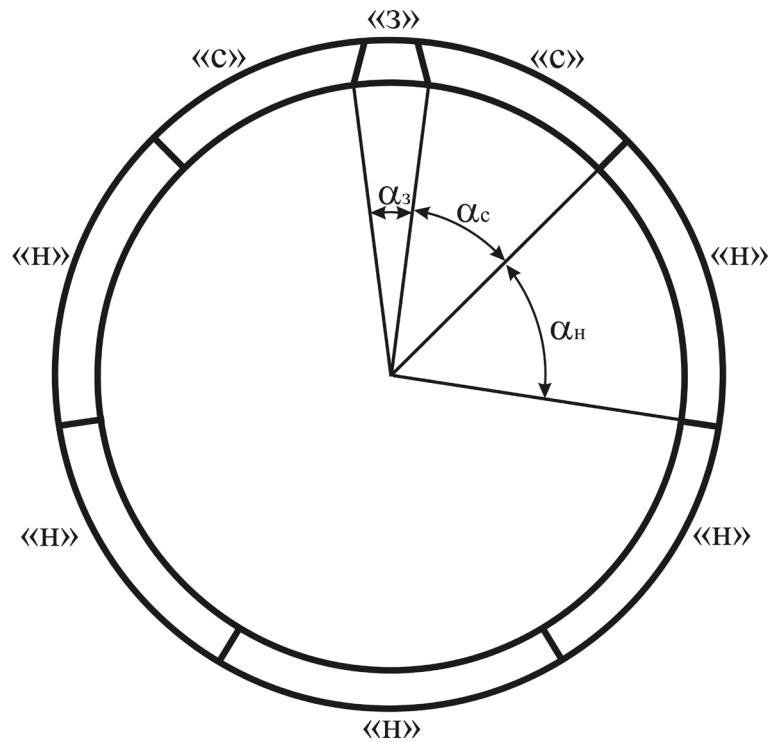


Рисунок 2.1 – Розбивка кільця без лоткового блока на елементи

Розбивку кільця на кресленні починають після того, як вже намічено лотковий елемент, і відкладають кількість половин від нормального елемента ($\langle n \rangle / 2$) на основі кута, який визначено за формулою (2.3) (рис. 2.2). Потім симетрично в обидва боки відкладаються значення кутів нормального елемента α_n шляхом подвоєння кута $\frac{\alpha_n}{2}$. Верхню частину оправи розбивають на два суміжні ($\langle \text{С} \rangle$) та один замковий ($\langle \text{З} \rangle$) елементи, причому повинно виконуватися рівняння (4.2). Якщо перев'язку в конструкції кільця з лотковим елементом не роблять, то необхідність в половинному елементі відпадає.

									011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

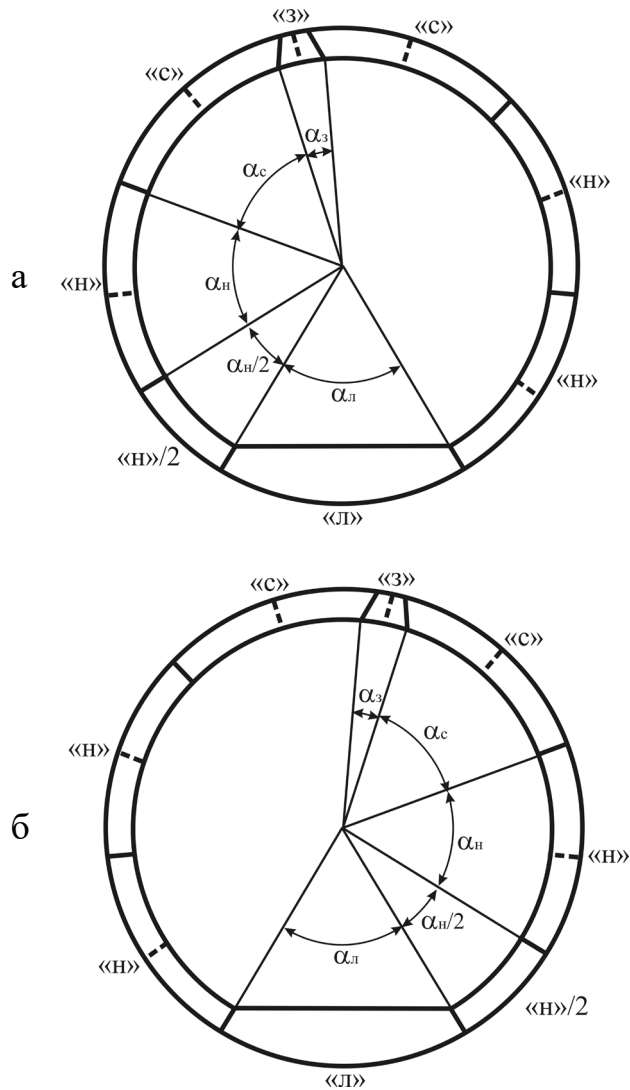


Рисунок 2.2 – Розбивка кільця з лотковим блоком на елементи (а) та кільце після перев’язки (б)

8. Кути елементів визначають з точністю до 1’.

2.3 Техніко-економічне обґрунтування варіантів оправи

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. Для цього для кожного з них виконується розрахунок об’ємів робіт зі спорудження одного метра тунелю. У перелік робіт входять:

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

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_p = \frac{\pi D_{3H}^2}{4}, \quad (2.4)$$

де D_{3H} – зовнішній діаметр оправи.

2. Навантаження породи (m^3):

$$V_H = k_p V_p, \quad (2.5)$$

де k_p – коефіцієнт розрихлення.

3. Монтаж залізобетонної оправи (m^3):

$$V_k = \lambda \frac{\pi}{4} (D_{3H}^2 - D_{BH}^2), \quad (2.6)$$

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

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

$$G_k = \gamma V_k l, \quad (2.7)$$

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

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

$$G_k = (0,24 \dots 0,30) \gamma \frac{\pi}{4} (D_{3H}^2 - D_{BH}^2), \quad (2.8)$$

					011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де γ – питома вага чавуну, її значення можна отримати із табл. 4 додатка.

У формулі мінімальне значення коефіцієнта необхідно приймати при $D_{\text{зн}} > 8,0$ м, максимальне – при $D_{\text{зн}} < 8,0$ м.

Масу кільця чавунної оправы можна визначити помноживши масу одного метра на ширину кільця.

4. Нагнітання за оправу (м^2):

$$S_{\text{к}} = L_{\text{к}} \cdot 1 = \pi D_{\text{зн}}, \quad (2.9)$$

де $L_{\text{к}}$ – довжина дуги кільця по зовнішньому діаметру.

5. Чеканення швів (на один метр тунелю):

$$L_{\text{ч.ш.}} = L_{\text{вн}} + n \cdot 1 = \pi D_{\text{вн}} + n, \quad (2.10)$$

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

Розрахунок трудовитрат заноситься у таблицю (табл. 2.1).

Примітка. Шифри та значення трудовитрат, які потрібні на виконання робіт зі спорудження одного метра тунелю, наведені в [10, 12].

Після розрахунку проводиться порівняння загальних трудовитрат за трьома варіантами і обирається найбільш економічний варіант. Якщо різниця у вартості двох варіантів не перевищує 10 % (межу точності економічних розрахунків), то їх можна вважати рівноцінними й рішення приймається на основі технічних міркувань залежно від типу й призначення тунелю [17, 26, 32]. Для прийнятого варіанта оправы виконують статичний розрахунок і детально розробляють конструкцію.

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Варіант 1 – Оправа із залізобетонних блоків бетону В30

Визначення товщини елемента оправи

Для визначення товщини блоків і висоти бортів тюбінгів скористуємося емпіричною формулою,

$$h = n \sqrt[3]{\frac{R_{\text{вн}}^2}{f}} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,55^2}{6}} = 10,3 \text{ см} = 15 \text{ см}$$

де $R_{\text{вн}} = 2,55 \text{ м}$ – внутрішній радіус оправи, м; $f = 6$ – коефіцієнт міцності породи за класифікацією проф. М.М. Протод'яконова; n – емпіричний коефіцієнт, $n = 10$ – для залізобетонних блоків з бетону класу В30.

Незалежно від результатів розрахунку товщина оправи із залізобетонних блоків повинна бути не менше 15 см.

Визначення ширини кільця та перевірка маси елемента

З урахуванням викладених вимог ширину кільця приймаємо 1,0 м для тунелів $D_{\text{вн}} > 5,0 \text{ м}$ у стійких породах у межах 0,75...1,0 м. В обмежених умовах тунелю вантажопідйомність також обмежена. За даними практики маса елемента не повинна перевищувати 1,5...2,0 т для тунелів діаметром $4,5 < D_{\text{вн}} < 6,5 \text{ м}$.

Визначення кількості елементів у кільці

Загальну кількість елементів у кільці можна приймаємо рівною:

7 елементів – при $D_{\text{вн}} = 5,1 \text{ м}$;

Розбивка кільця на елементи та перев'язка стиків

Розбивку кільця на елементи виконуємо, виходячи із таких міркувань:

1. Центральний кут замкового елемента («з») α_3 приймаємо рівним $\alpha_3 = 6^\circ$.

2. Для спрощення побудов центральний кут лоткового елемента («л») приймаємо $\alpha_{\text{л}} = \alpha_{\text{н}} = 50^\circ$.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.150018.МР.2020.ПЗ				

4. Перед розбивкою кільця на елементи, залежно від діаметра оправи, обираємо кількість елементів у кільці 7 та перевіряємо довжину та масу нормального елемента l_n . Довжина та маса відповідає вимогам, задаємося кутом замкового елемента

5. Перев'язку поздовжніх стиків проводять таким чином, що суміжні кільця повертаються одне відносно одного на половину кута нормального елемента $\frac{\alpha_n}{2}$.

Розбивку кільця на кресленні починаємо після того, як вже намічено лотковий елемент, і відкладаємо кількість половин від нормального елемента ($\langle n \rangle / 2$) на основі кута, який визначено за формулою (2.3).

Потім симетрично в обидва боки відкладаємо значення кутів нормального елемента α_n шляхом подвоєння кута $\frac{\alpha_n}{2}$. Верхню частину оправи розбиваємо на два суміжні ($\langle c \rangle$) та один замковий ($\langle z \rangle$) елементи.

6. Кути елементів визначали з точністю до 1'.

Розрахунок об'ємів робіт зі спорудження одного метра оправи

1. Розробка породи (m^3). Об'єм визначаємо за формулою,

$$V_p = \frac{\pi D_{zn}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 5,5^2}{4} = 23,8 \text{ м}^3$$

де $D_{zn} = 5,5 \text{ м}$ – зовнішній діаметр оправи.

2. Навантаження породи (m^3):

$$V_n = k_p V_p = 2,0 \cdot 23,8 = 47,6 \text{ м}^3$$

де $k_p = 2,0$ – коефіцієнт розрихлення.

3. Монтаж залізобетонної оправи (m^3):

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_k = \lambda \frac{\pi}{4} (D_{\text{зн}}^2 - D_{\text{вн}}^2) = 1 \cdot \frac{\pi}{4} (5,5^2 - 5,1^2) = 3,33 \text{ м}^3$$

де λ – коефіцієнт, який враховує наявність порожнин у залізобетонному елементі (для блоків $\lambda=1$); $D_{\text{вн}} = 5,1\text{м}$ – внутрішній діаметр оправи.

Маса одного кільця залізобетонної оправи:

$$G_k = \gamma V_k l = 2,5 \cdot 3,33 \cdot 1,0 = 8,3\text{т}$$

де γ – питома вага залізобетону ($\gamma=2,5 \text{ т/м}^3$); $l=1,0\text{м}$ – ширина кільця.

4. Нагнітання за оправу (м^2):

$$S_k = L_k \cdot 1 = \pi D_{\text{зн}} = \pi \cdot 5,5 = 17,3\text{м}^2$$

де L_k – довжина дуги кільця по зовнішньому діаметру.

5. Чеканення швів (на один метр тунелю):

$$L_{\text{ч.ш.}} = L_{\text{вн}} + n \cdot 1 = \pi D_{\text{вн}} + n = \pi \cdot 5,1 + 8 = 24,0(\text{м})$$

де $L_{\text{вн}}$ – довжина кола оправи по внутрішньому діаметру; $n=8$ – кількість поздовжніх швів у оправі.

Розрахунок трудовитрат на будівництво одного метру залізобетонної оправи заносимо до таблиці 2.1.

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок трудовитрат

№ пор.	Найменування робіт	Шифр	Од. виміру	Об'єм робіт	Трудовитрати, люд.-год.	
					На одиницю	На об'єм
1	Розробка породи	29-68	м ³	23,8	4,07	96,87
2	Навантаження породи	29-91	м ³	47,6	0,4	19,04
3	Монтаж оправи	29-120	м ³	3,33	3,84	12,79
4	Нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу	29-127	м ²	17,3	1,05	18,17
5	Чеканення швів	29-135	м	24	1,02	24,48
Загальні трудовитрати, люд.-год:						171,35

Варіант 2 – Оправа із чавунних тюбінгів**Визначення товщини елемента оправи**

Для визначення товщини блоків і висоти бортів тюбінгів користуємося емпіричною формулою:

$$h = n \sqrt[3]{\frac{R_{\text{вн}}^2}{f}} = 7,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,55^2}{6}} = 7,7 \text{ см} = 15 \text{ см}$$

де $R_{\text{вн}} = 2,55 \text{ м}$ – внутрішній радіус оправи, м; $f = 6$ – коефіцієнт міцності породи за класифікацією проф. М.М.Протод'яконова; n – емпіричний коефіцієнт, який дорівнює $n = 7,5$ – для чавунних тюбінгів і залізобетонних блоків і тюбінгів з бетону класу вище В50.

Визначення ширини кільця та перевірка маси елемента

З урахуванням викладених вимог ширину кільця приймаємо 0,75 м для

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тунелів середніх і великих діаметрів ($D_{\text{вн}} > 5,0$ м) у стійких породах. В обмежених умовах тунелю вантажопідйомність також обмежена. За даними практики маса елемента не повинна перевищувати 1,5...2,0 т для тунелів діаметром $4,5 < D_{\text{вн}} < 6,5$ м.

Визначення кількості елементів у кільці

Загальну кількість елементів у кільці приймаємо рівною:

7 елементів – при $D_{\text{вн}} = 5,1$ м;

Розбивка кільця на елементи та перев'язка стиків

Розбивку кільця на елементи виконуємо, виходячи із таких міркувань:

1. Усі нормальні елементи («н») мають однаковий центральний кут $\alpha_{\text{н}}$.
2. Центральний кут замкового елемента («з») $\alpha_{\text{з}}$ приймаємо 7° .
3. Для спрощення побудов центральний кут лоткового елемента («л») $\alpha_{\text{л}}$ приймаємо рівним центральному куту нормального елемента («н») $\alpha_{\text{н}}$.
4. Перед розбивкою кільця на елементи, залежно від діаметра оправи, обираємо кількість елементів у кільці 7 та перевіряємо довжину та масу нормального елемента $l_{\text{н}}$. Довжина та маса відповідає вимогам, задаємося кутом замкового елемента $\alpha_{\text{з}}$.
5. Перев'язку поздовжніх стиків проводять таким чином, що суміжні кільця повертаються одне відносно одного на половину кута нормального елемента $\frac{\alpha_{\text{н}}}{2}$.

Розбивку кільця на кресленні починаємо після того, як вже намічено лотковий елемент, і відкладаємо кількість половин від нормального елемента («н»/2) на основі кута, який визначено за формулою (2.3) (рис. 2.4).

Потім симетрично в обидва боки відкладаємо значення кутів нормального елемента $\alpha_{\text{н}}$ шляхом подвоєння кута $\frac{\alpha_{\text{н}}}{2}$. Верхню частину оправи розбивають на два суміжні («с») та один замковий («з») елементи, причому повинно виконуватися рівняння (2.2). Якщо перев'язку в конструкції кільця з лотковим

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елементом не роблять, то необхідність в половинному елементі відпадає.

6. Кути елементів визначають з точністю до 1'.

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

$$V_p = \frac{\pi D_{\text{зн}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 5,5^2}{4} = 23,8 \text{ м}^3$$

де $D_{\text{зн}} = 5,5 \text{ м}$ – зовнішній діаметр оправи.

2. Навантаження породи (m^3):

$$V_n = k_p V_p = 2,0 \cdot 23,8 = 47,6 \text{ м}^3$$

де $k_p = 2,0$ – коефіцієнт роз рихлення.

3. Монтаж чавунної оправи (т). Масу одного метра чавунної оправи визначаємо за формулою:

$$G_k = (0,24 \dots 0,30) \gamma \frac{\pi}{4} (D_{\text{зн}}^2 - D_{\text{вн}}^2) = 0,24 \cdot 7,2 \cdot \frac{\pi}{4} (5,5^2 - 5,1^2) = 5,75 (m^3)$$

де γ – питома вага чавуну.

Масу кільця чавунної оправи визначаємо за формулою:

$$V_k = \lambda \frac{\pi}{4} (D_{\text{зн}}^2 - D_{\text{вн}}^2) = 7,2 \cdot \frac{\pi}{4} (5,5^2 - 5,1^2) = 154,1 (m)$$

4. Нагнітання за оправу (m^2):

$$S_k = L_k \cdot 1 = \pi D_{\text{зн}} = \pi \cdot 5,5 = 17,3 \text{ м}^3$$

де L_k – довжина дуги кільця по зовнішньому діаметру.

5. Чеканення швів (на один метр тунелю):

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_{\text{ч.ш.}} = L_{\text{вн}} + n \cdot 1 = \pi D_{\text{вн}} + n = \pi \cdot 5,1 + 11 = 27,0(\text{м})$$

де $L_{\text{вн}}$ – довжина кола оправи по внутрішньому діаметру; $n=8$ – кількість поздовжніх швів у оправі.

Розрахунок трудовитрат на будівництво одного метру чавунної оправи заносимо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Розрахунок трудовитрат

№ пор.	Найменування робіт	Шифр	Од. виміру	Об'єм робіт	Трудовитрати, люд.-год.	
					На одиницю	На об'єм
1	Розробка породи	29-68	м ³	23,8	4,07	96,87
2	Навантаження породи	29-91	м ³	47,6	0,4	19,04
3	Монтаж оправи	29-121	т	5,75	6,64	38,18
4	Нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу	29-127	м ²	17,3	1,05	18,17
5	Чеканення швів	62.1 (29-135)	м	27	0,973	26,27
Загальні трудовитрати, люд.-год:						198,53

Варіант 3 – Оправа новоавстрійського методу спорудження тунелю (NATM)

Новоавстрійський спосіб найбільш доцільний в специфічних гірничо-геологічних умовах. Породи повинні мати властивості загасаючої повзучості.

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідно виключити односторонні навантаження на виробку, здатні викликати злам тонкого набризг-бетонного покриття. Новоавстрійський спосіб успішно застосовують і в скальних, порушених і тріщинуватих породах при використанні БВР [4, 6, 7].

Для ведення прохідницьких робіт забій розбивають на декілька ділянок (ступенів), число яких залежить, головним чином, від стійкості породи в забої. Прохідницькі роботи ведуть буро вибуховим способом. В розроблювальних ділянках забою зводять тимчасове кріплення із набризг-бетону, анкерів, металевих арок. Розробка усіх ділянок перетину тунелю розтягнута ступенями по довжинці тунелю і забій у верхній частині колоти випереджає нижній на величину від 1,5...2 прольотів тунелю до декількох десятків метрів. З уступу на уступ породу транспортують по похилим пандусам [6].

Постійну бетонну оправу зводять із значним відставанням від забою після стабілізації переміщень породного контуру. Зазвичай це настає через 1...3 місяця після замикання зворотного склепіння. Товщина такої оправы менше товщини оправы, розрахованої на повне навантаження (рис. 2.3).

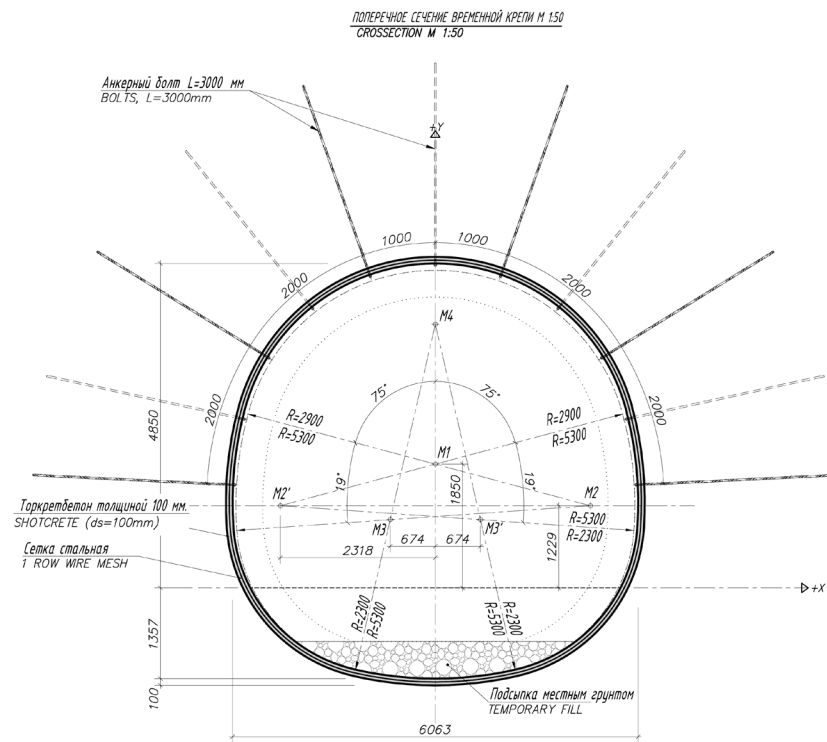


Рисунок 2.3 – Поперечний перетин тимчасової оправы NATM

						011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Визначення товщини оправи

Для визначення товщини оправи NATM скористаємося емпіричною формулою [6, 26]:

$$h = n \sqrt[3]{\frac{R_{\text{вн}}^2}{f}} = 13 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,90^2}{6}} = 14,5 \text{ см} = 15 \text{ см}$$

де $R_{\text{вн}} = 2,9 \text{ м}$ – внутрішній радіус оправи, м; $f = 6$ – коефіцієнт міцності породи за класифікацією проф. М.М. Протод'яконова; n – емпіричний коефіцієнт, $n = 13$ – для монолітного бетону класу В40.

1. Розробка породи (м^3). Об'єм визначаємо за формулою:

$$V_{\text{р}} = \frac{\pi D_{\text{зн}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 6,20^2}{4} = 30,19 \text{ м}^3$$

де $D_{\text{зн}} = 6,20 \text{ м}$ – зовнішній діаметр оправи.

2. Навантаження породи (м^3):

$$V_{\text{н}} = k_{\text{р}} V_{\text{р}} = 2,0 \cdot 30,19 = 60,38 \text{ м}^3$$

де $k_{\text{р}} = 2,0$ – коефіцієнт розрихлення.

3. Монтаж залізобетонної оправи (м^3):

$$V_{\text{к}} = \lambda \frac{\pi}{4} (D_{\text{зн}}^2 - D_{\text{вн}}^2) = 1 \cdot \frac{\pi}{4} (6,2^2 - 5,8^2) = 3,77 \text{ м}^3$$

де $\lambda = 1$ – коефіцієнт, який враховує наявність порожнин у залізобетонному елементі; $D_{\text{вн}} = 5,8 \text{ м}$ – внутрішній діаметр оправи.

Масу одного погонного метру залізобетонної оправи визначаємо за формулою:

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_k = \gamma V_k l = 2,5 \cdot 3,77 \cdot 1,0 = 9,43 \text{ т}$$

де γ – питома вага залізобетону ($\gamma=2,5 \text{ т/м}^3$); $l=1,0$ м.п. кільця.

4. Нагнітання за оправу (м^2):

$$S_k = \pi D_{\text{зн}} = \pi \cdot 6,2 = 19,48 \text{ м}^3$$

де L_k – довжина дуги кільця по зовнішньому діаметру.

Розрахунок трудовитрат на будівництво одного метру оправу заносимо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Розрахунок трудовитрат

№ пор.	Найменування робіт	Шифр	Од. виміру	Об'єм робіт	Трудовитрати, люд.-год.	
					На одиницю	На об'єм
1	Розробка породи	29-67	м^3	30,19	4,28	129,21
2	Навантаження породи	29-91	м^3	60,38	0,4	24,15
3	Монтаж оправу	29-114	м^3	3,77	4,03	15,19
4	Нагнітання цементно-піщаного розчину за оправу	29-125	м^2	9,43	0,4	3,77
Загальні трудовитрати, люд.-год:						172,32

Для техніко-економічного обґрунтування виконано розрахунок об'ємів робіт із спорудження одного метра тунелю трьох видів оправ: залізобетонних блоків, чавунних тубінгів та оправу ново австрійського спорудження тунелю.

В таблиці 2.4 наведено порівняльний аналіз загальних трудовитрат трьох варіантів оправу.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.150018.МР.2020.ПЗ					

Порівняльна таблиця трудовитрат варіантів оправи

Номер варіанту	Матеріал оправи	Трудовитрати, люд.-год.
Варіант 1	Залізобетонні блоки	171,35
Варіант 2	Чавунні тюбінги	198,53
Варіант 3	Новоавстрійський метод спорудження тунелю (NATM)	172,32

Порівнявши три варіанти оправи, можна зробити висновок, що найбільш економічним за трудовитратами виявився варіант оправи із залізобетонних блоків бетону В30, але в рамках магістерської роботи обирається близький за значеннями Варіант 3 – новоавстрійський метод спорудження тунелю (NATM). Обидва варіанти в подальшому математичному моделюванні методом скінченних елементів порівнюються з позиції силових факторів – моментів та нормальних сил.

					011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 3

Математичне моделювання оправи перегінного тунелю із варіацією їх геометричних характеристик

Обчислювальний комплекс SCAD реалізований як інтегрована система міцнісного аналізу і проєктування конструкцій на основі методу скінченних елементів [21-23, 25, 33-35, 38, 42, 44].

Єдине графічне середовище синтезу розрахункової схеми і аналізу результатів забезпечує необмежені можливості моделювання розрахункових схем від найпростіших конструкцій, задовольняючи потребам досвідчених професіоналів і залишаючись при цьому доступною для початківців [22, 38]. Високопродуктивний процесор дозволяє вирішувати завдання великої розмірності, які надають результатів високої точності в методі скінченних елементів [1, 9].

Розглянемо стан трьох оправ із різних матеріалів під час спорудження перегінного тунелю. Оправа із залізобетонних блоків товщиною 0,2 м та 0,25 м, оправа з чавунних тубінгів товщиною 0,15 м та 0,2 м, оправа новоавстрійського способу спорудження тунелю (NATM) товщиною 0,2 м та 0,25 м [7, 18, 25].

Спершу розглянемо оправу із залізобетонних блоків товщиною 0,2 м, яка завантажена одиничним навантаженням, яка в процесі розрахунку комбінується з гірським тиском [8, 10, 11]. Величину вертикального гірського тиску визначаємо за формулою проф. М. М. Протод'яконова [2, 3, 5, 19, 26]:

$$q_b^H = \gamma h_1, \quad (3.1)$$

$$h_1 = \frac{L}{2f}, \quad (3.2)$$

$$L = D_{\text{зн}} + 2D_{\text{зн}} \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right), \quad (3.3)$$

						011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

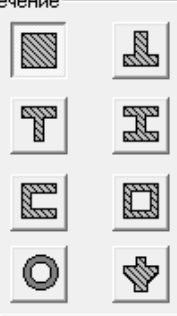
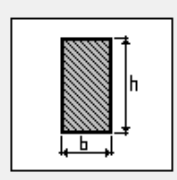
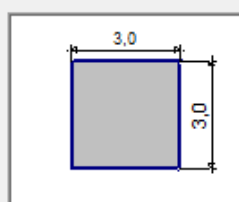
Материал Бетон тяжелый В35 Объемный вес: 24.525 кН/м ³ Модуль упругости: 3.45312e+001 кН/м ² Коэффициент Пуассона: 0.2		Сечение  Характеристики сечения 		Параметры сечения b: 3 см h: 3 см Контроль 	
<input type="checkbox"/> Сдвиг Преднапряжение: _____ кН					
Номер типа жесткости: 2					

Рисунок 3.4 – Геометрична характеристика елемента під номер 2

Задаємо в'язі. На кінцях стержнів жорстке защемлення.

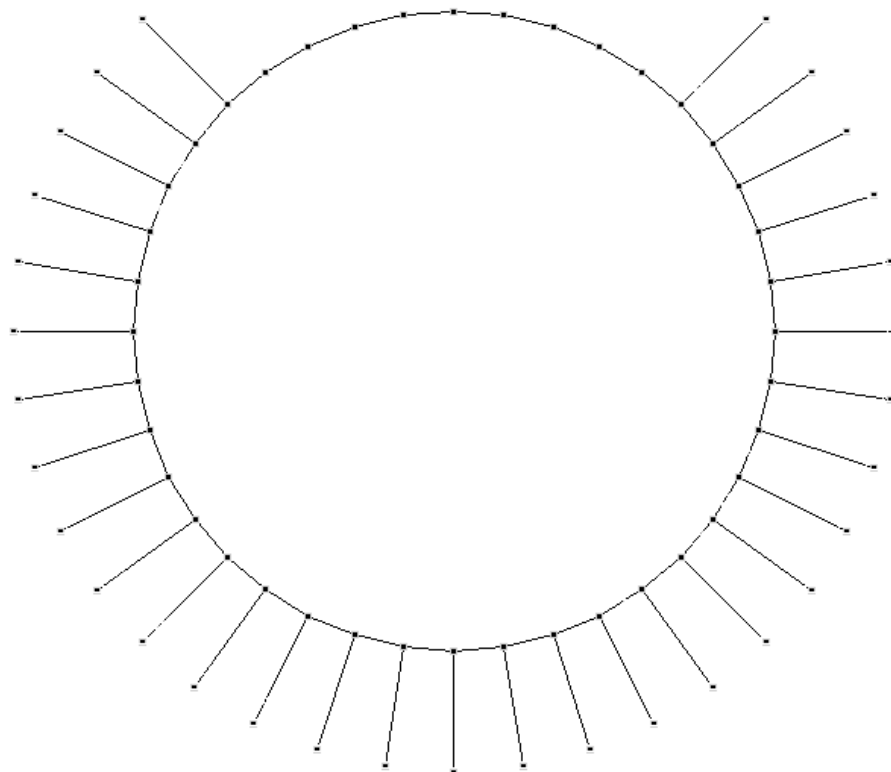


Рисунок 3.5 – Схема оправи із заданими жорсткостями та в'язями у програмному комплексі SCAD

Задаємо завантаження від одиничного навантаження:

										011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

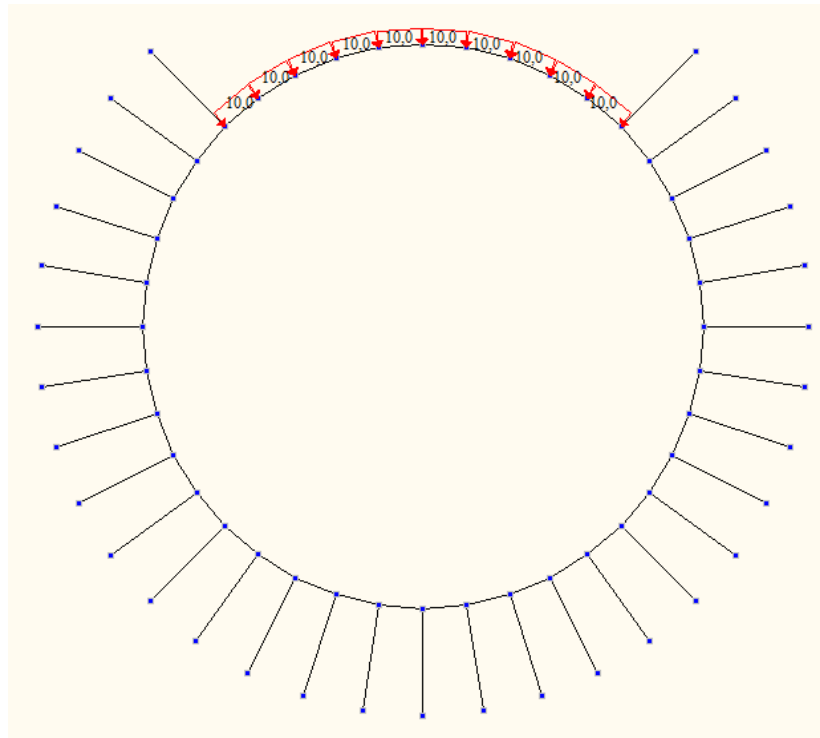


Рисунок 3.6 – Модель оправи із заданим навантаження у програмному комплексі SCAD

Виконуємо статичний розрахунок у програмному комплексі SCAD та розглянемо, як деформувалась оправа [26, 29, 38].

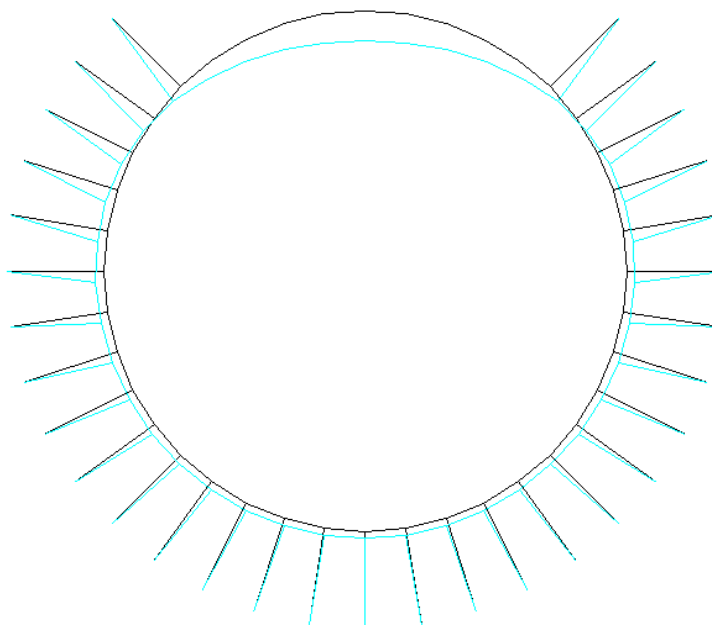


Рисунок 3.7 – Модель деформованої оправи із залізобетонних блоків у програмному комплексі SCAD

					011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

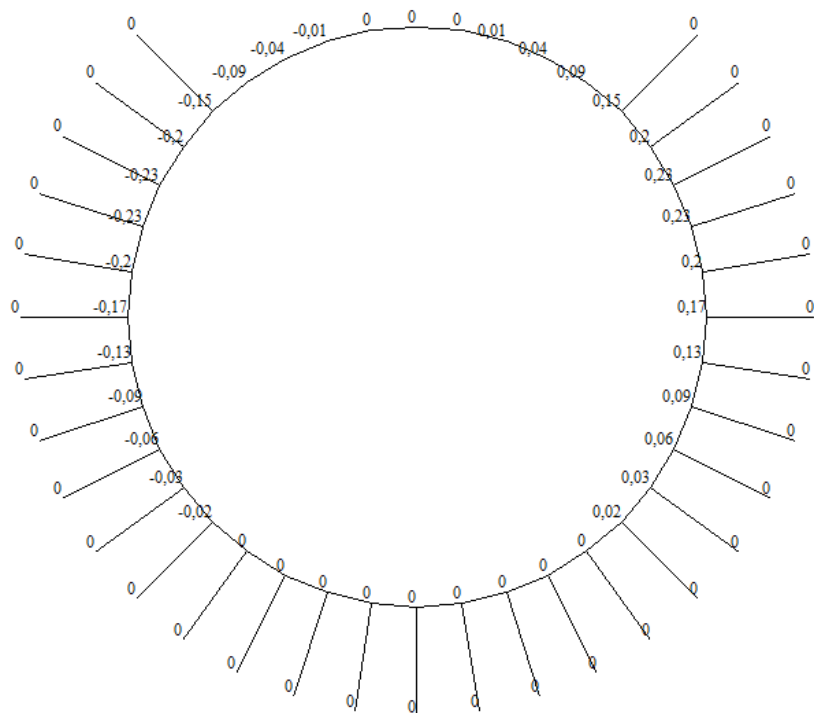


Рисунок 3.8 – Епюра горизонтальних переміщень моделі перегінного тунелю (оправа із залізобетонних блоків товщиною 0,2 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

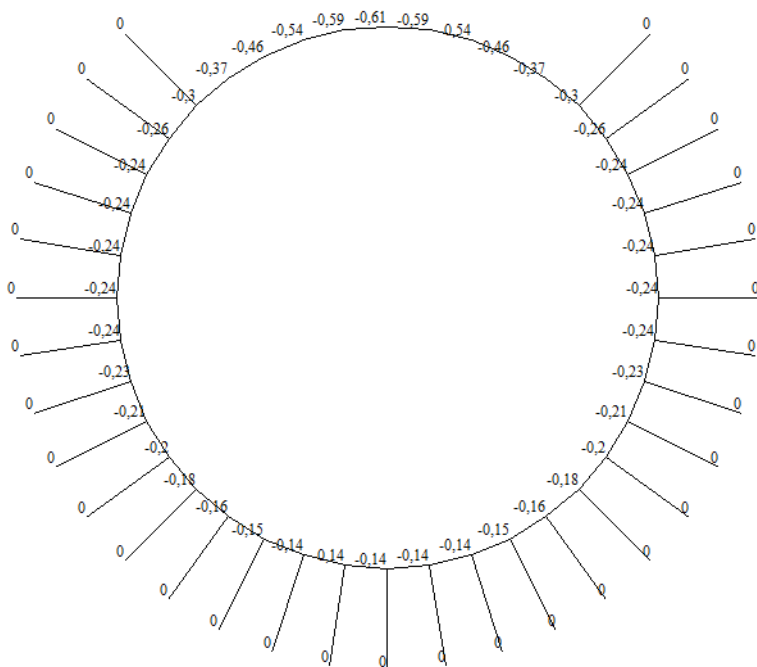


Рисунок 3.9 – Епюра вертикальних переміщень моделі перегінного тунелю (оправа із залізобетонних блоків товщиною 0,2 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

						011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

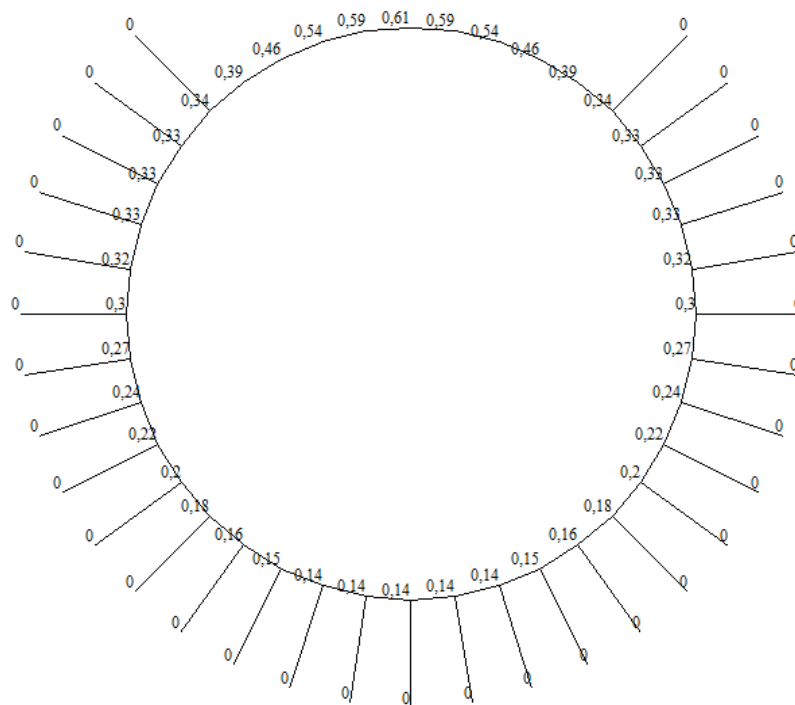


Рисунок 3.10 – Епюра сумарних переміщень моделі перегінного тунелю (оправа із залізобетонних блоків товщиною 0,2 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

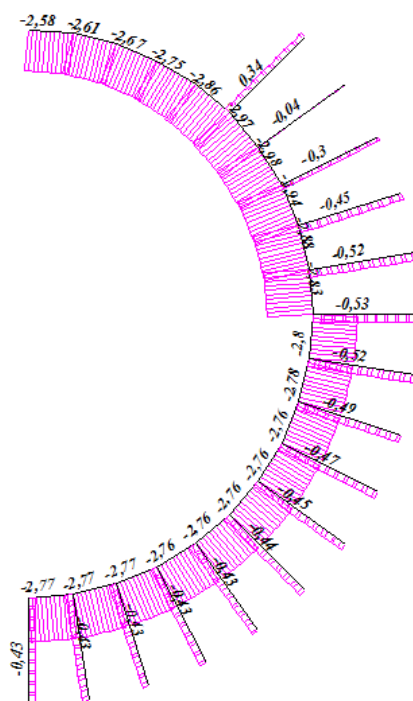


Рисунок 3.11 – Епюра нормальних сил N моделі перегінного тунелю (оправа із залізобетонних блоків товщиною 0,2 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

						011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

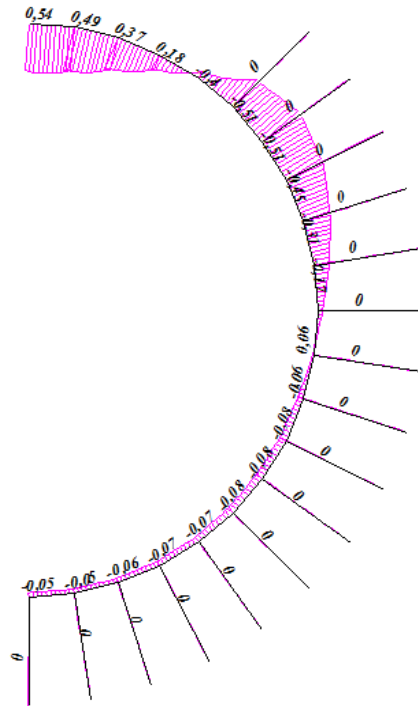


Рисунок 3.12 – Епюра згинальних моментів M моделі перегінного тунелю (оправа із залізобетонних блоків товщиною 0,2 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

Розглянемо оправу із залізобетонних блоків товщиною 0,25 м, яка завантажена одиничним навантаженням, що в процесі розрахунку комбінується з гірським тиском [35-36].

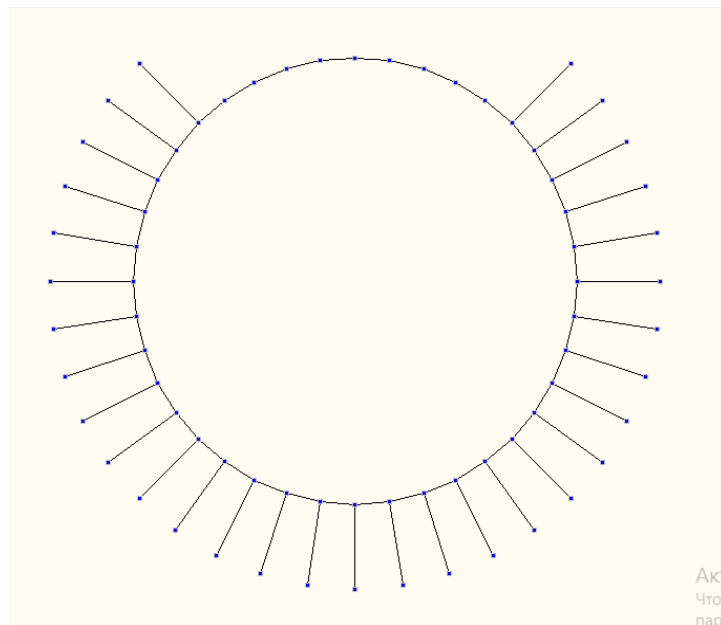


Рисунок 3.13 – Схема оправи із залізобетонних блоків товщиною 0,25 м у програмному комплексі SCAD

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Задаємо завантаження від одиничного навантаження:

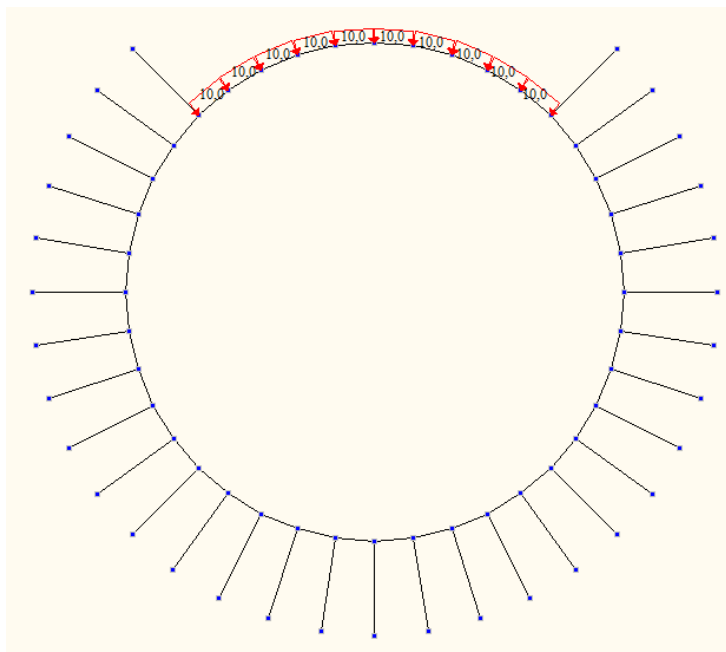


Рисунок 3.17 – Модель оправи із заданим навантаження у програмному комплексі SCAD

Виконуємо статичний розрахунок у програмному комплексі SCAD та розглянемо як деформувалась оправа.

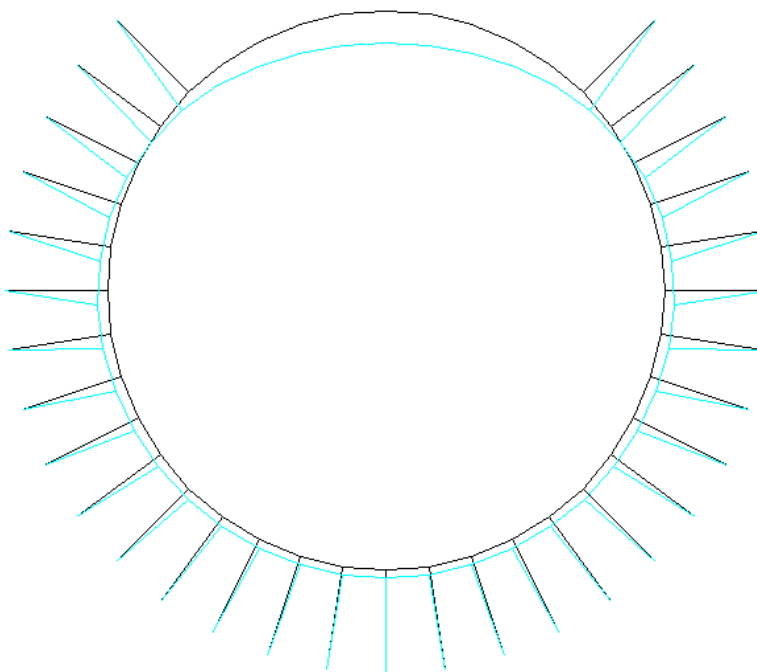


Рисунок 3.18 – Модель деформованої оправи із залізобетонних блоків у програмному комплексі SCAD

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

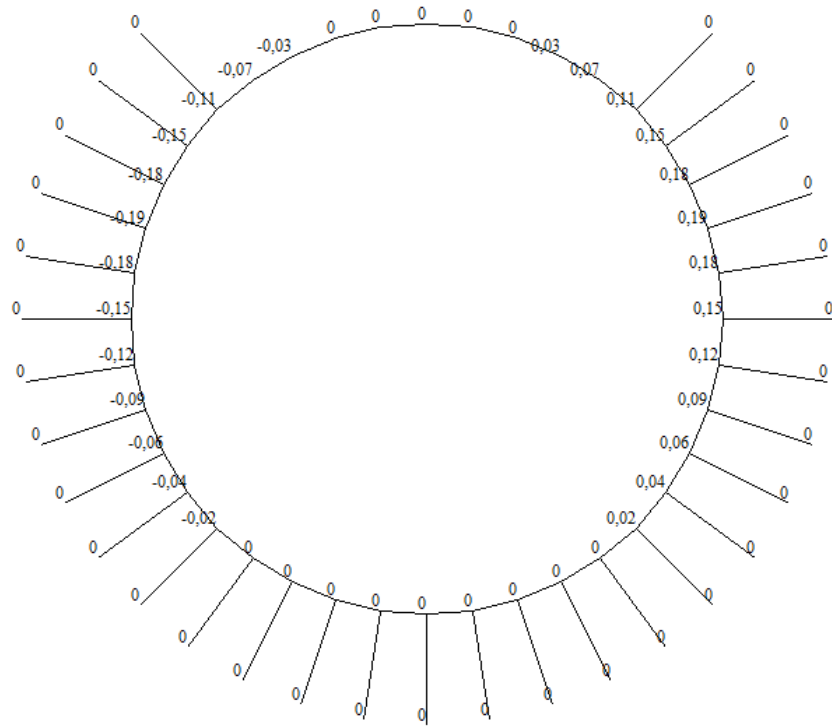


Рисунок 3.19 – Епюра горизонтальних переміщень моделі перегінного тунелю (оправа із залізобетонних блоків товщиною 0,25 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

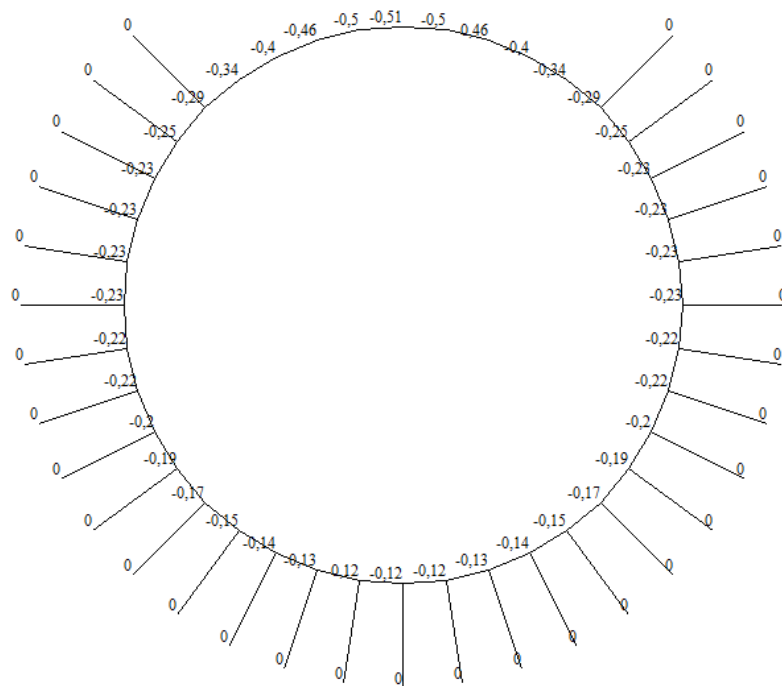


Рисунок 3.20 – Епюра вертикальних переміщень моделі перегінного тунелю (оправа із залізобетонних блоків товщиною 0,25 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

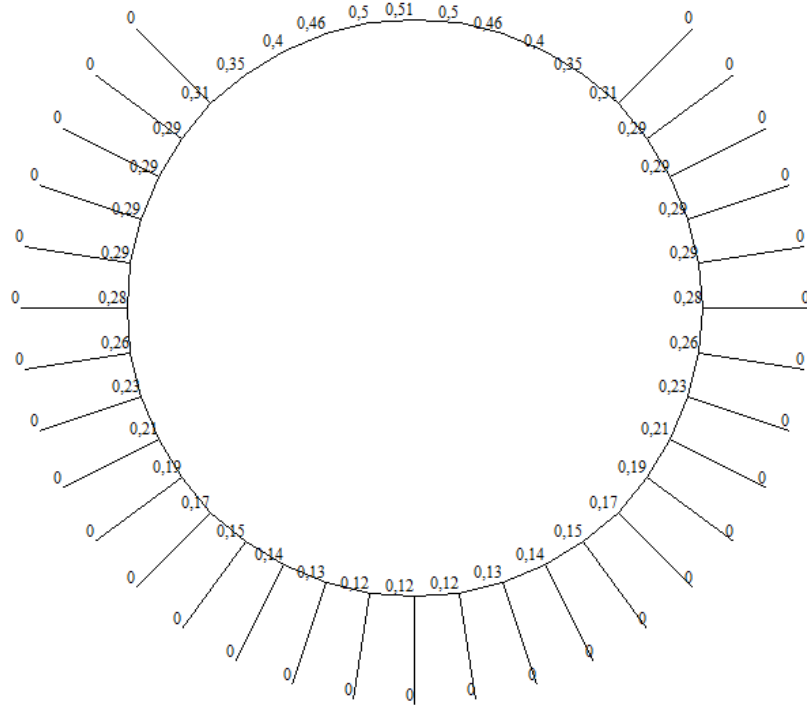


Рисунок 3.21 – Епюра сумарних переміщень моделі перегінного тунелю (оправа із залізобетонних блоків товщиною 0,25 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

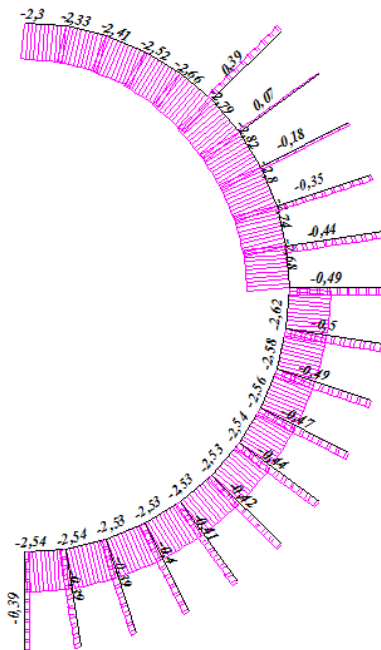


Рисунок 3.22 – Епюра нормальних сил N моделі перегінного тунелю (оправа із залізобетонних блоків товщиною 0,25 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

						011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

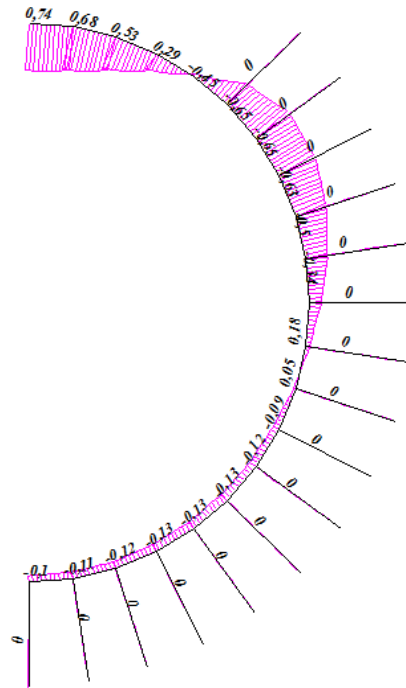


Рисунок 3.23 – Епюра згинальних моментів M моделі перегінного тунелю (оправа із залізобетонних блоків товщиною 0,25 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

Розглянемо оправу із чавунних тюбінгів товщиною 0,2 м, яка завантажена одиничним навантаженням, яке в процесі розрахунку комбінується з гірським тиском.

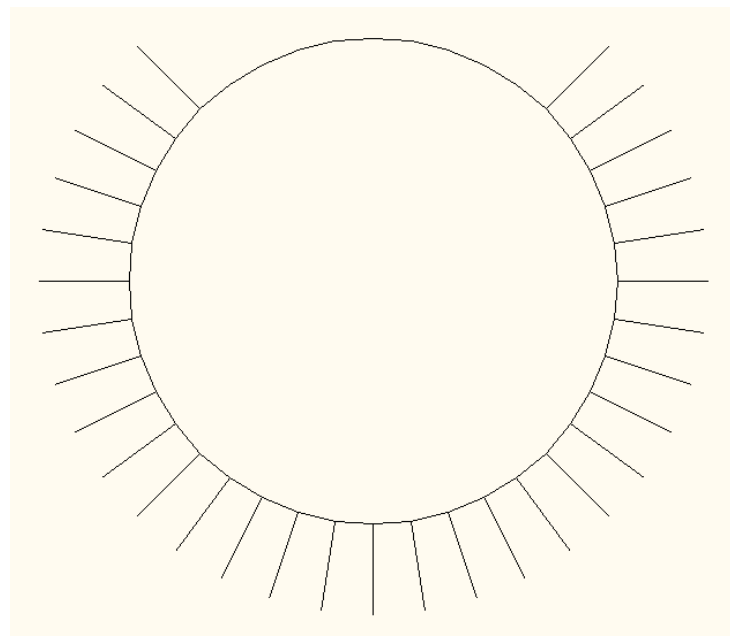


Рисунок 3.24 – Схема оправи із чавунних тюбінгів товщиною 0,2 м у програмному комплексі SCAD

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

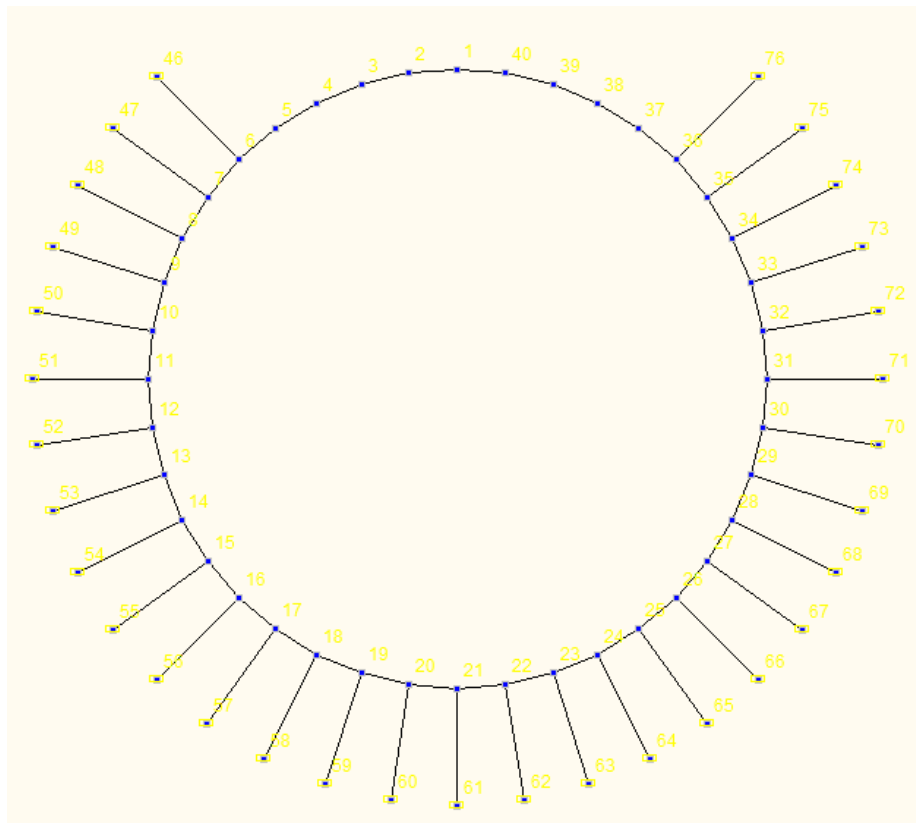


Рисунок 3.27 – Модель оправи із заданими жорсткостями та в'язями у програмному комплексі SCAD

Задаємо завантаження від одиничного навантаження:

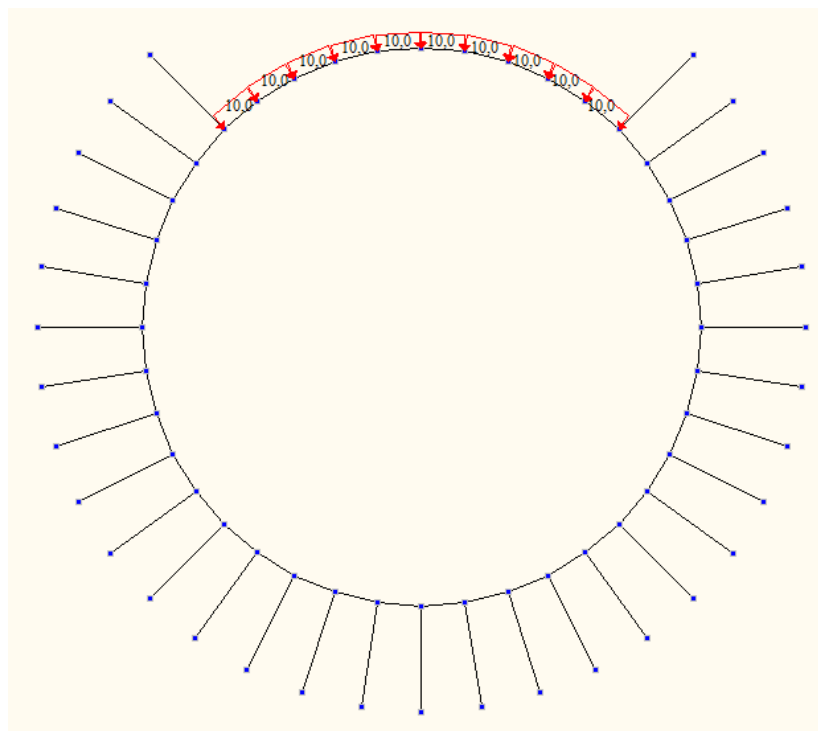


Рисунок 3.28 – Модель оправи із заданим навантаження у програмному комплексі SCAD

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконуємо статичний розрахунок у програмному комплексі SCAD та розглянемо як деформувалась оправа.

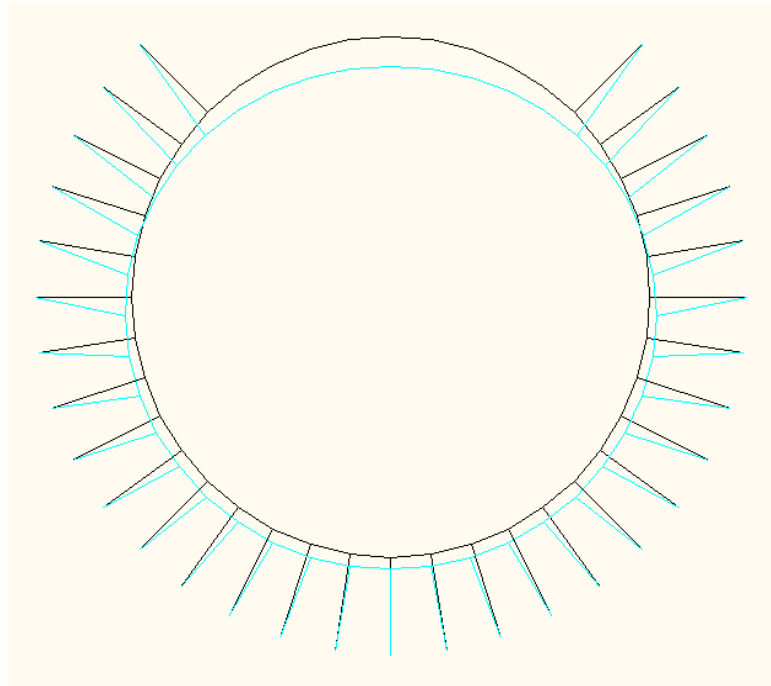


Рисунок 3.29 – Схема деформованої оправи із чавунних тюбінгів у програмному комплексі SCAD

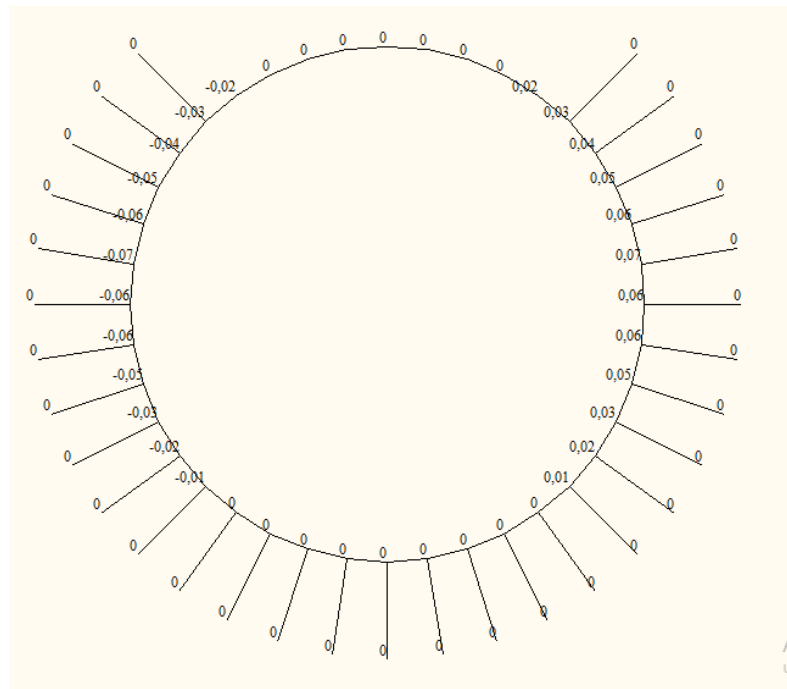


Рисунок 3.30 – Епюра горизонтальних переміщень моделі перегінного тунелю (оправа із чавунних тюбінгів товщиною 0,2 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

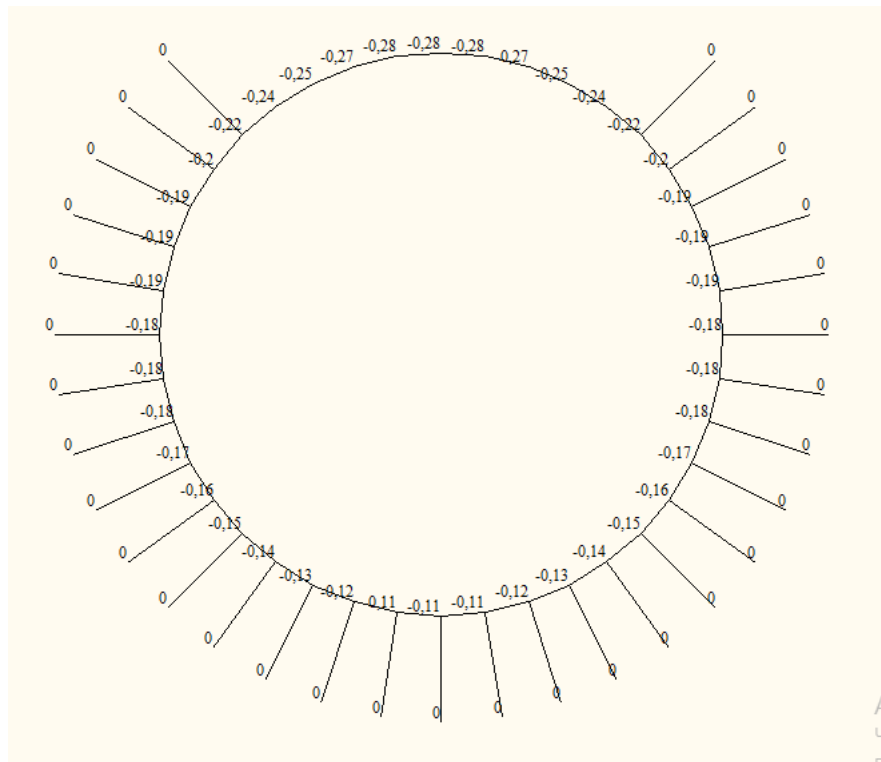


Рисунок 3.31 – Епюра вертикальних переміщень моделі перегінного тунелю (оправа із чавунних тюрбінгів товщиною 0,2 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

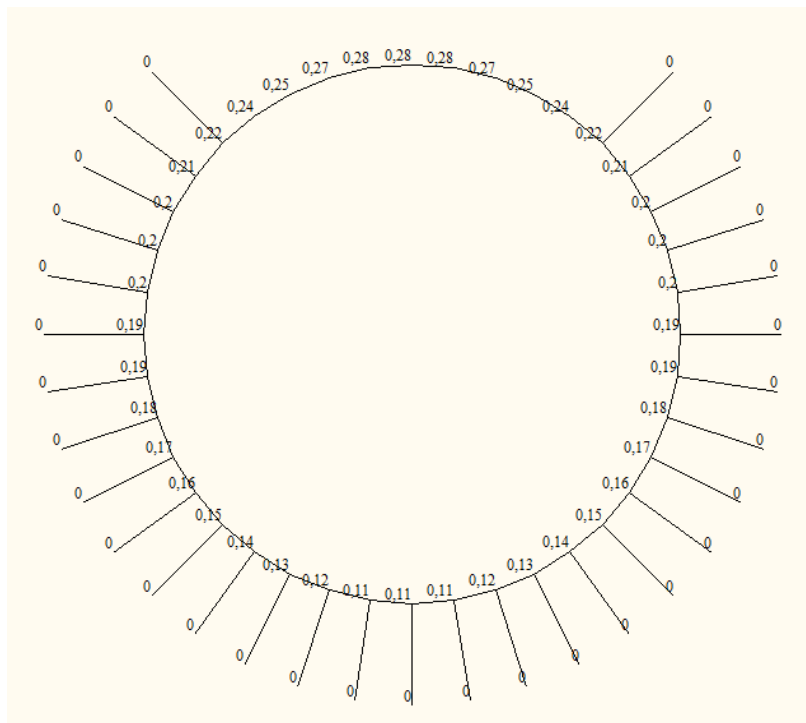


Рисунок 3.32 – Епюра сумарних переміщень моделі перегінного тунелю (оправа із чавунних тюрбінгів товщиною 0,2 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

					011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо оправу із чавунних тюбінгів товщиною 0,15 м, яка завантажена одиничним навантаженням, яке в процесі розрахунку комбінується з гірським тиском.

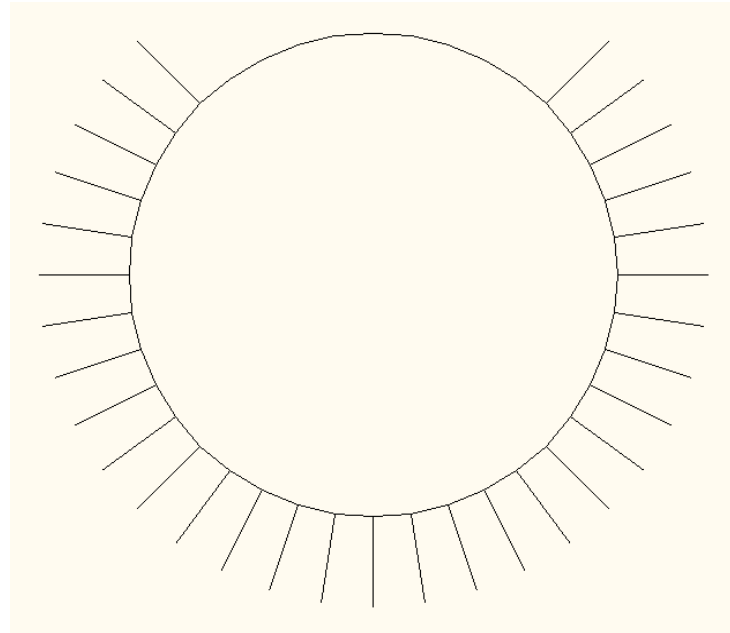


Рисунок 3.35 – Схема оправи із чавунних тюбінгів товщиною 0,15 м у програмному комплексі SCAD

Задамо геометричні характеристики та матеріали усім елементам конструкції.

1. Задаємо елементи оправи:

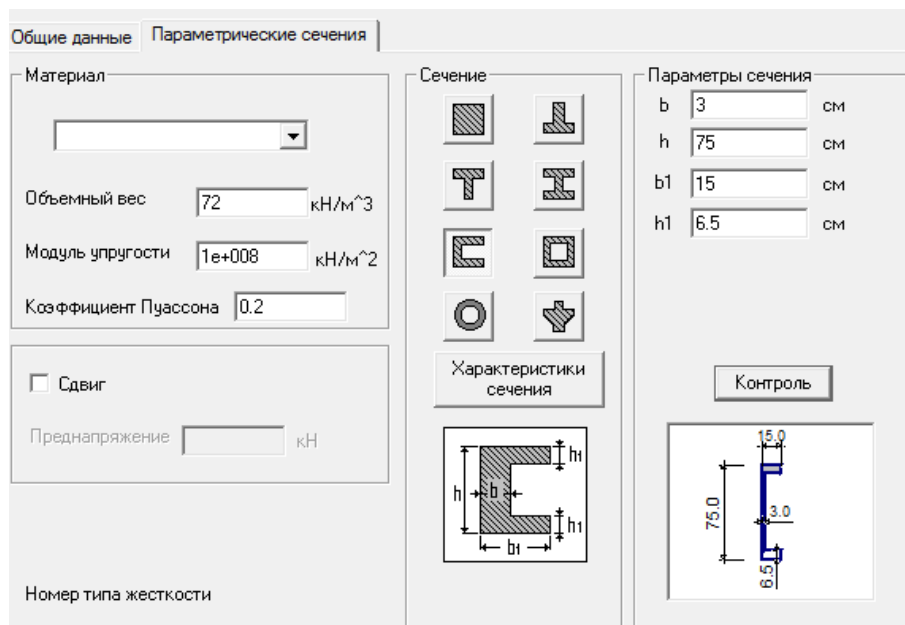


Рисунок 3.36 – Геометрична характеристика елемента під номером 1

						011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

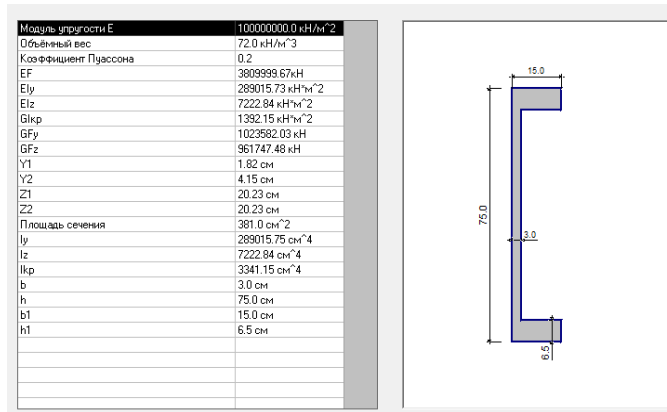


Рисунок 3.37 – Інерційні та геометричні характеристики перерізу

2. Задаємо стержні еквівалентної жорсткості:

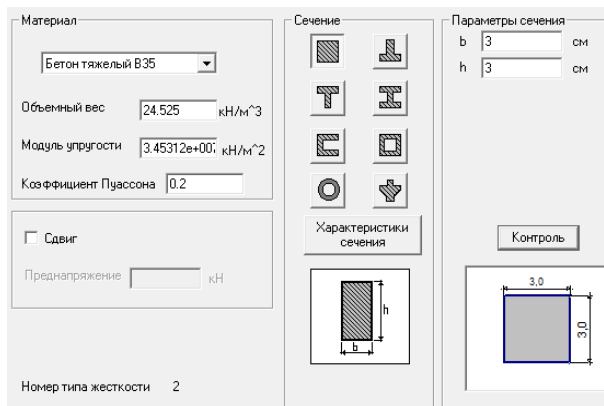


Рисунок 3.38 – Геометрична характеристика елемента під номер 2

Задаємо в'язі. На кінцях стержнів жорстке заземлення.

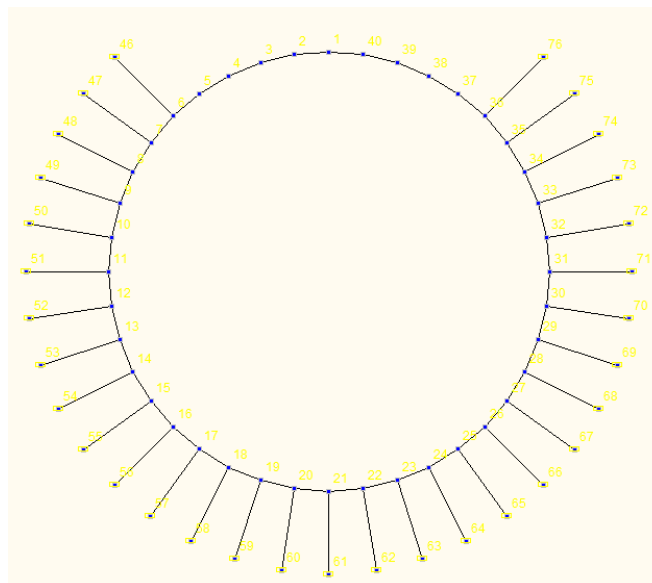


Рисунок 3.39 – Модель оправи із заданими жорсткостями та в'язями у програмному комплексі SCAD

Задаємо завантаження від одиничного навантаження:

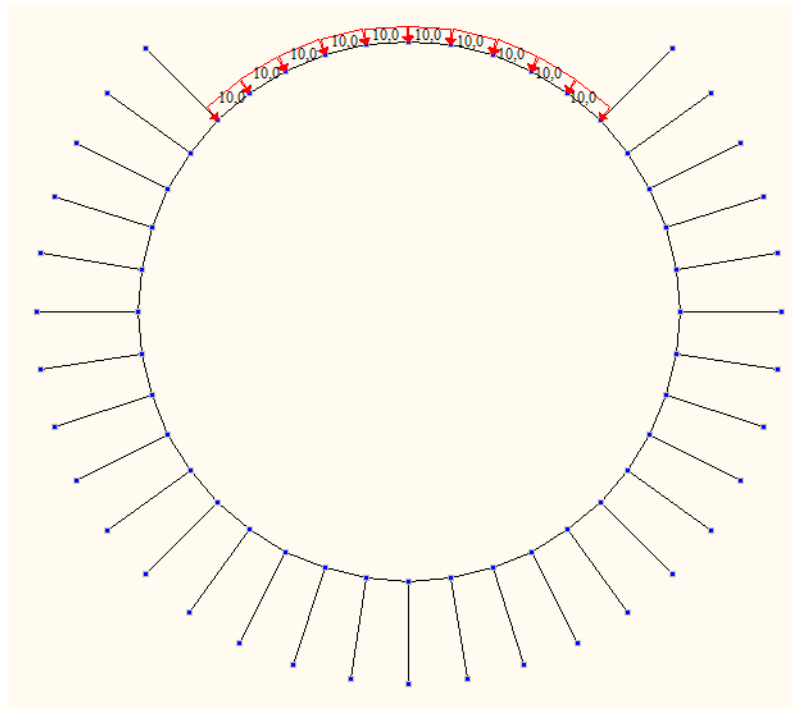


Рисунок 3.40 – Модель оправи із заданим навантаження у програмному комплексі SCAD

Виконуємо статичний розрахунок у програмному комплексі SCAD та розглянемо як деформувалась оправа.

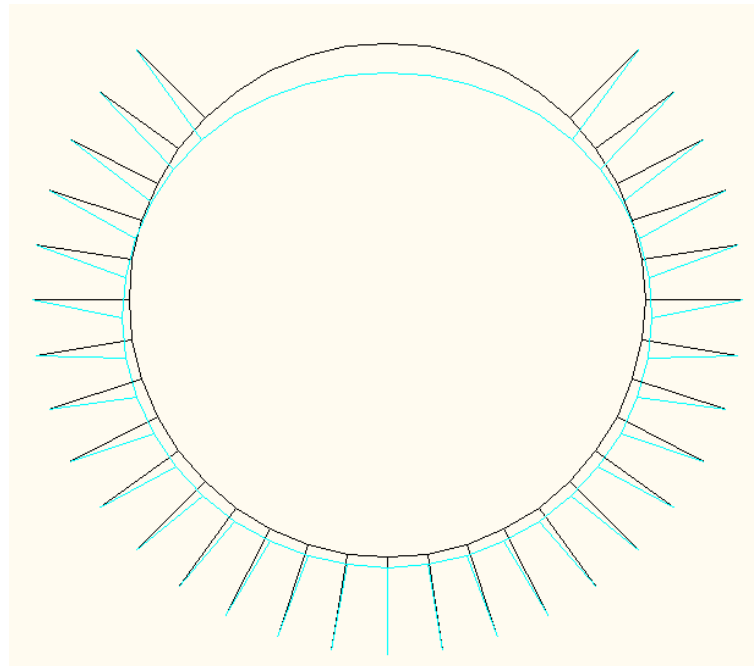


Рисунок 3.41 – Схема деформованої оправи із чавунних тьюбінгів у програмному комплексі SCAD

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

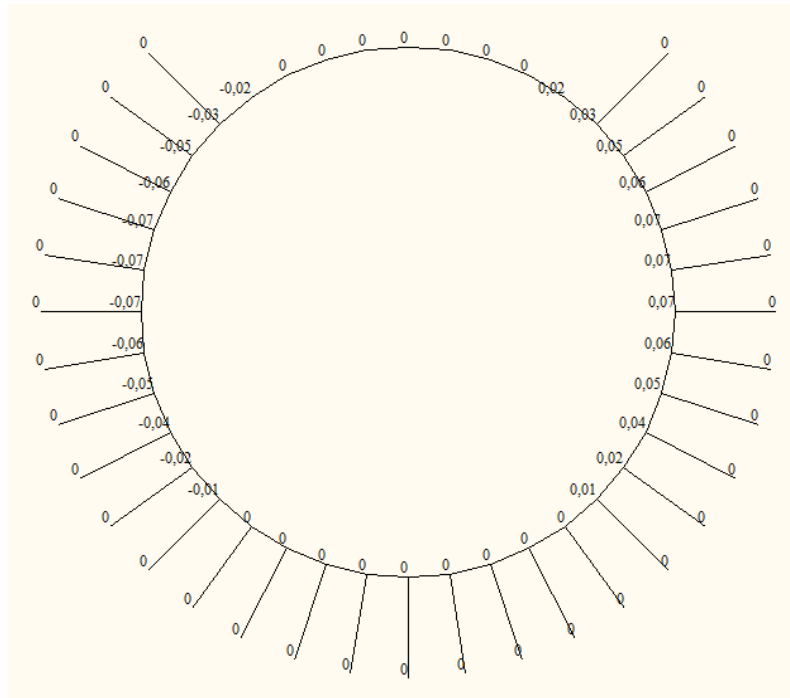


Рисунок 3.42 – Епюра горизонтальних переміщень моделі перегінного тунелю (оправа із чавунних тюбінгів товщиною 0,15 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

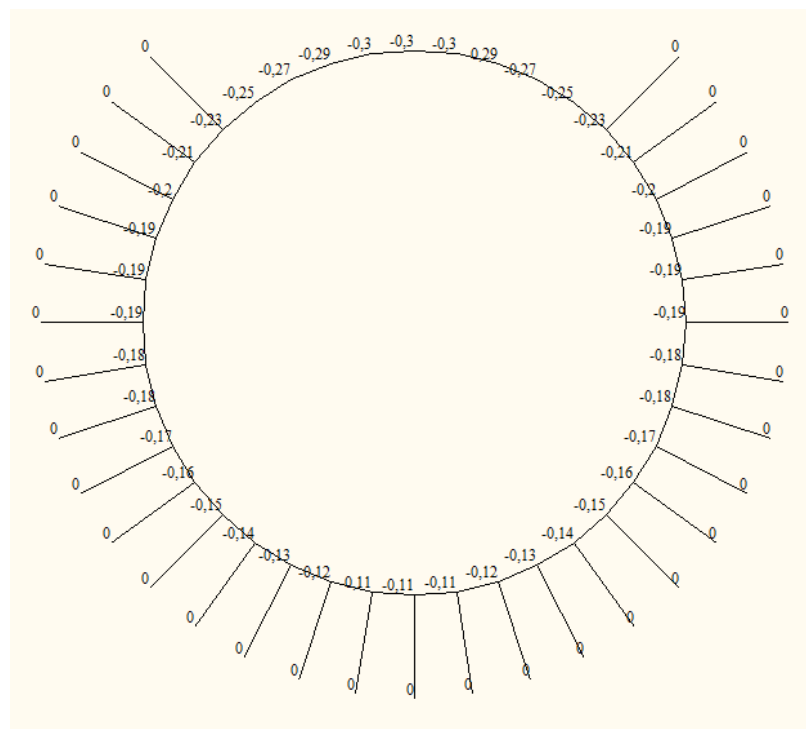


Рисунок 3.43 – Епюра вертикальних переміщень моделі перегінного тунелю (оправа із чавунних тюбінгів товщиною 0,15 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

					011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

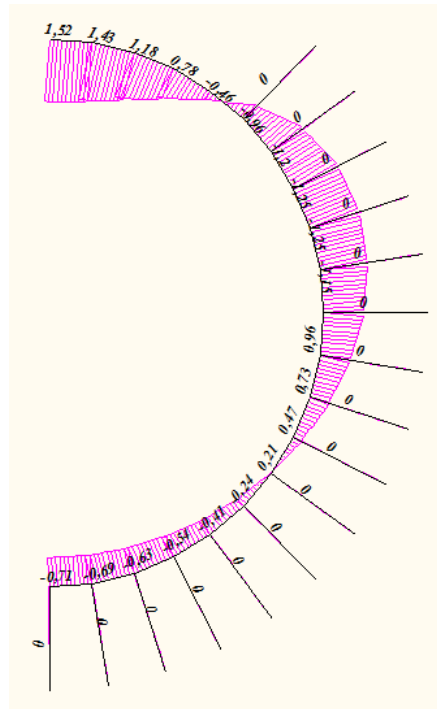


Рисунок 3.46 – Епюра згинальних моментів M моделі перегінного тунелю (оправа із чавунних тюбінгів товщиною 0,15 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

Розглянемо оправу новоавстрійського методу спорудження тунелю (NATM) товщиною 0,2 м, яка завантажена одиничним навантаженням, яке в процесі розрахунку комбінується з гірським тиском.

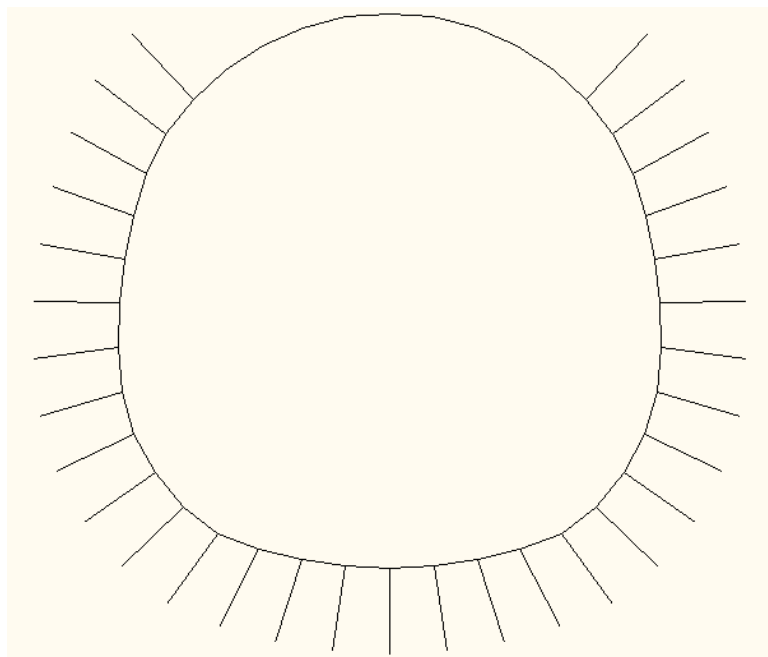


Рисунок 3.47 – Схема оправу новоавстрійського методу спорудження тунелю (NATM) товщиною 0,2 м у програмному комплексі SCAD

						011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Задамо геометричні характеристики та матеріали усім елементам конструкції.

Задаємо елементи оправи:

Material: Beton тяжельый В30
Объемный вес: 2.5 Т/м³
Модуль упругости: 3.31e+006 Т/м²
Кэффициент Пуассона: 0.2

Сдвиг
Преднапряжение: Т

Номер типа жесткости: 2

Сечение: [Rectangle icon selected]

Характеристики сечения: [Diagram showing width b and height h]

Параметры сечения: b = 75 см, h = 20 см

Контроль: [Control button]

Рисунок 3.48 – Геометрична характеристика елемента під номер 1

Задаємо стержні еквівалентної жорсткості:

Material: Beton тяжельый В35
Объемный вес: 24.525 кН/м³
Модуль упругости: 3.45312e+007 кН/м²
Кэффициент Пуассона: 0.2

Сдвиг
Преднапряжение: кН

Номер типа жесткости: 2

Сечение: [Square icon selected]

Характеристики сечения: [Diagram showing width b and height h]

Параметры сечения: b = 3 см, h = 3 см

Контроль: [Control button]

Рисунок 3.49 – Геометрична характеристика елемента під номер 2

Задаємо в'язі. На кінцях стержнів жорстке заземлення.

									011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

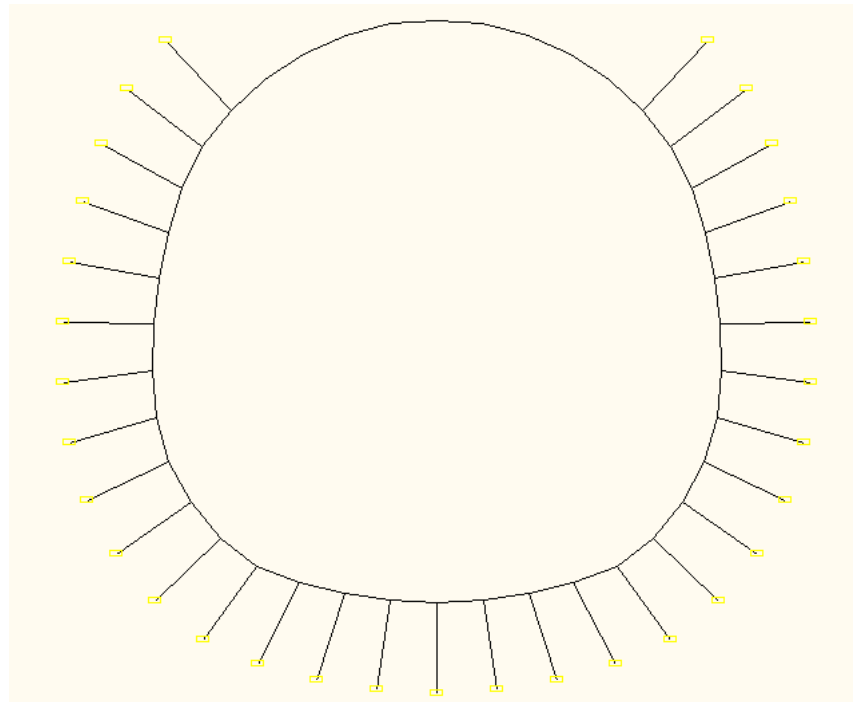


Рисунок 3.50 – Модель оправи із заданими жорсткостями та в'язями у програмному комплексі SCAD

Задаємо завантаження від одиничного навантаження:

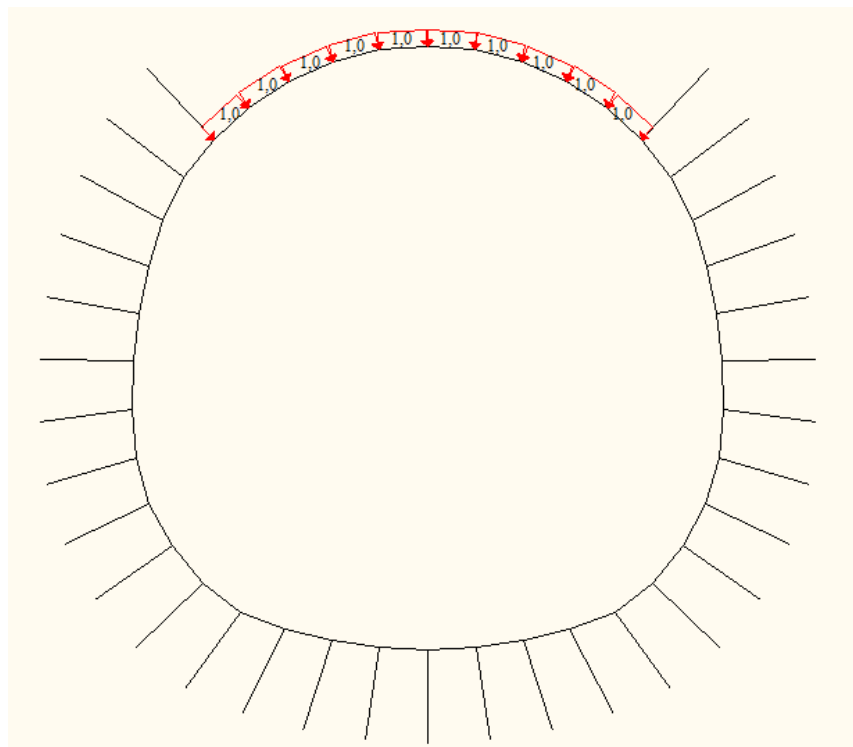


Рисунок 3.51 – Модель оправи із заданим навантаження у програмному комплексі SCAD

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

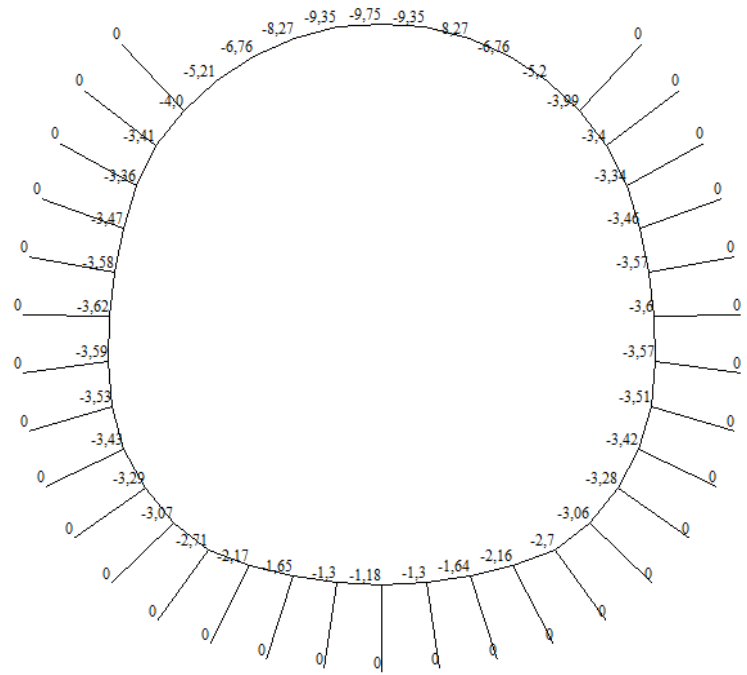


Рисунок 3.54 – Епюра вертикальних переміщень моделі перегінного тунелю (оправа новоавстрійського методу спорудження тунелю (NATM) товщиною 0,2м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

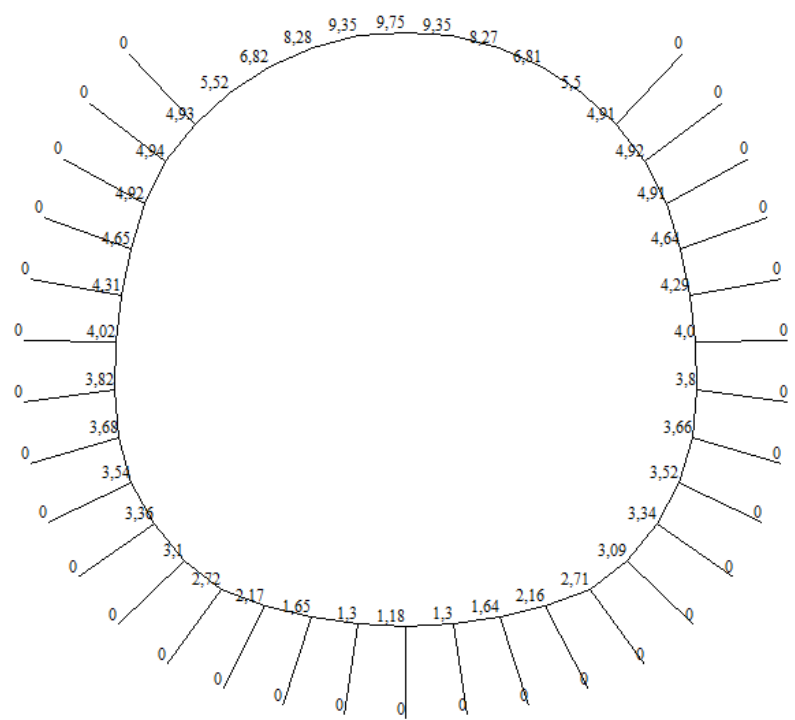


Рисунок 3.55 – Епюра сумарних переміщень моделі перегінного тунелю (оправа новоавстрійського методу спорудження тунелю (NATM) товщиною 0,2 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

					011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

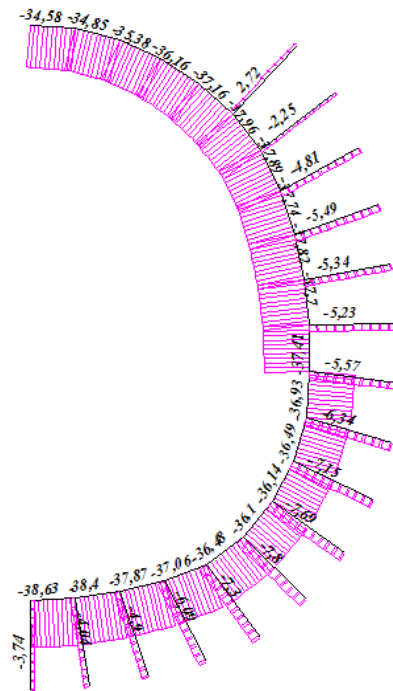


Рисунок 3.56 – Епюра нормальних сил N моделі перегінного тунелю (оправа новоавстрійського методу спорудження тунелю (NATM) товщиною 0,2 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

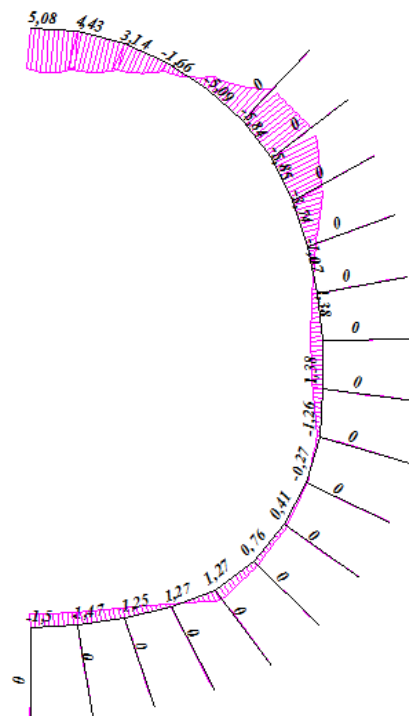


Рисунок 3.57 – Епюра згинальних моментів M моделі перегінного тунелю (оправа новоавстрійського методу спорудження тунелю (NATM) товщиною 0,2м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

					011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо оправу новоавстрійського методу спорудження тунелю (NATM) товщиною 0,25м, яка завантажена одиничним навантаженням, яке в процесі розрахунку комбінується з гірським тиском.

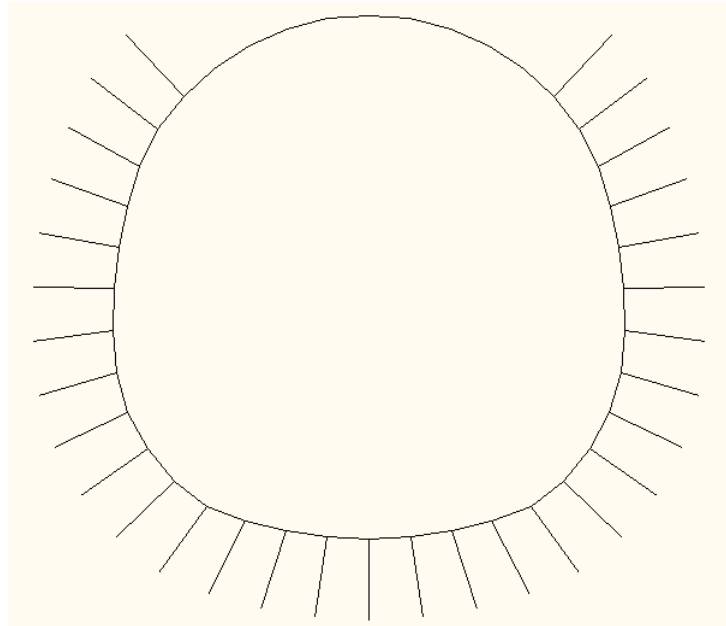


Рисунок 3.58 – Схема оправи новоавстрійського методу спорудження тунелю (NATM) товщиною 0,25 м у програмному комплексі SCAD

Задамо геометричні характеристики та матеріали усім елементам конструкції.

Задаємо елементи оправи:

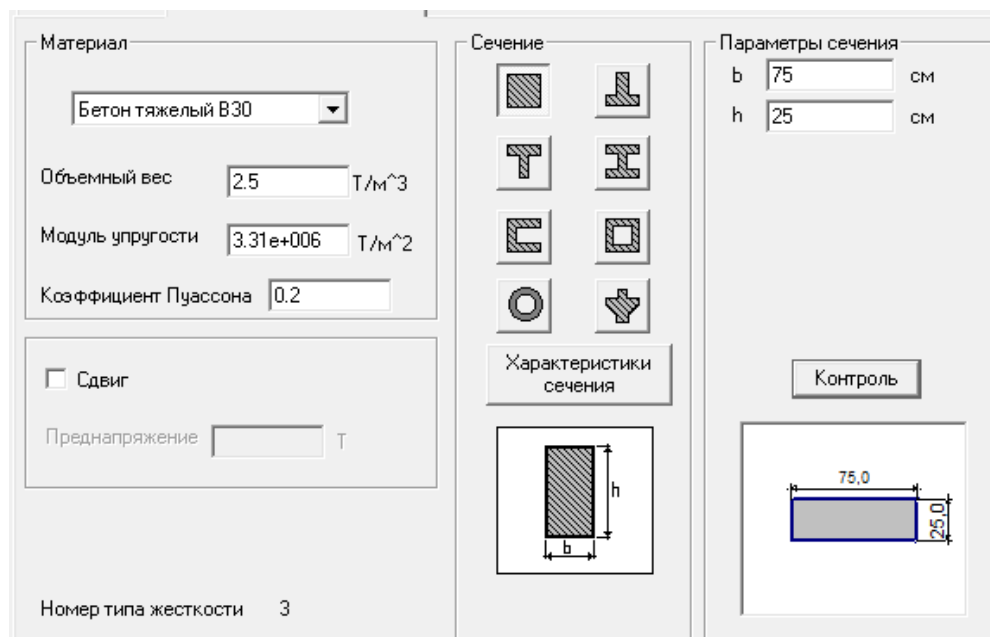


Рисунок 3.59 – Геометрична характеристика елемента під номер 1

						011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Задаємо стержні еквівалентної жорсткості:

Material: Бетон тяжелый В35
Объемный вес: 24.525 кН/м³
Модуль упругости: 3.45312e+007 кН/м²
Коэффициент Пуассона: 0.2

Сечение: [Rectangular section icons]

Параметры сечения: b: 3 см, h: 3 см

Контроль

Характеристики сечения

Сдвиг:
Преднапряжение: _____ кН

Номер типа жесткости: 2

Рисунок 3.60 – Геометрична характеристика елемента під номер 2

Задаємо в'язі. На кінцях стержнів жорстке заземлення.

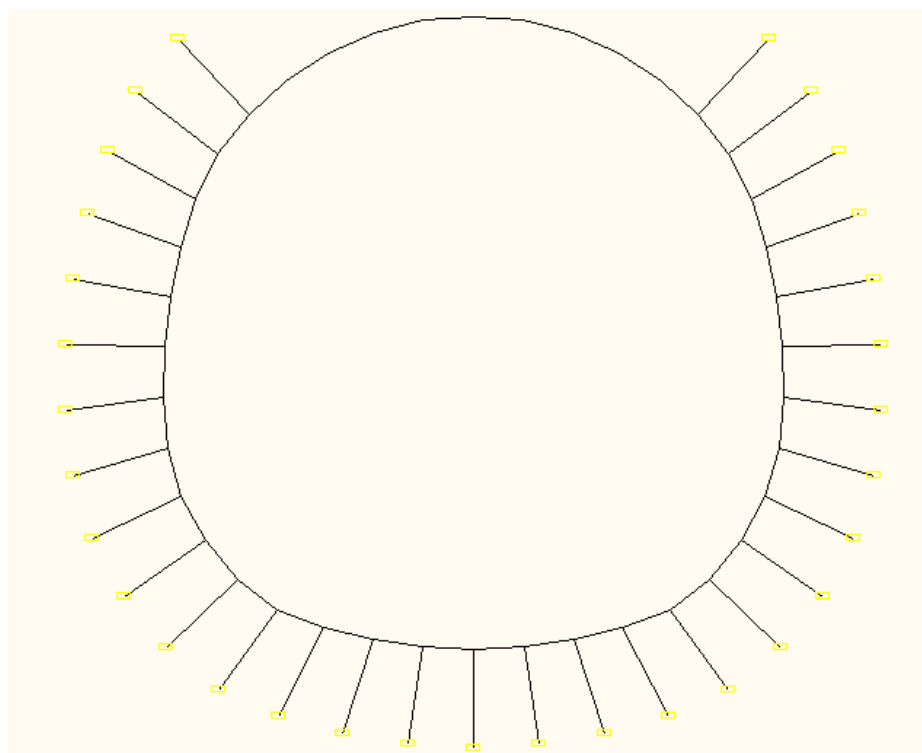


Рисунок 3.61 – Модель оправи із заданими жорсткостями та в'язями у програмному комплексі SCAD

Задаємо завантаження від одиничного навантаження:

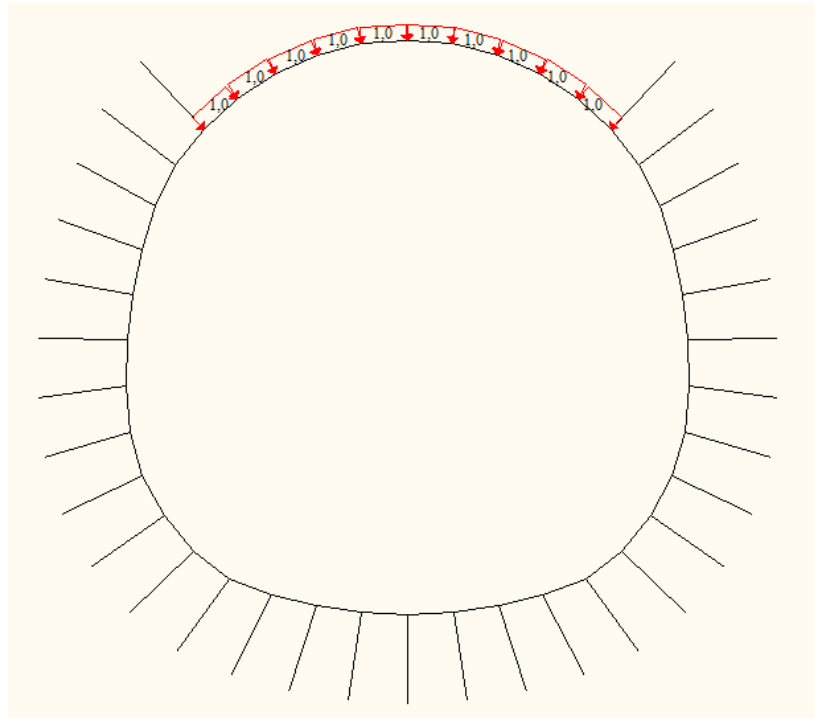


Рисунок 3.62 – Модель оправи із заданим навантаження у програмному комплексі SCAD

Виконуємо статичний розрахунок у програмному комплексі SCAD та розглянемо як деформувалась оправа.

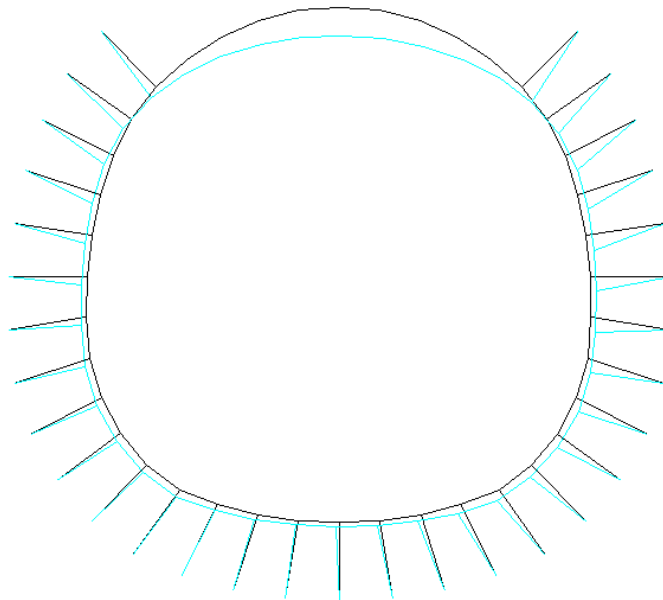


Рисунок 3.63 – Схема деформованої оправи новоавстрійського методу спорудження тунелю (NATM) товщиною 0,25 м у програмному комплексі SCAD

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

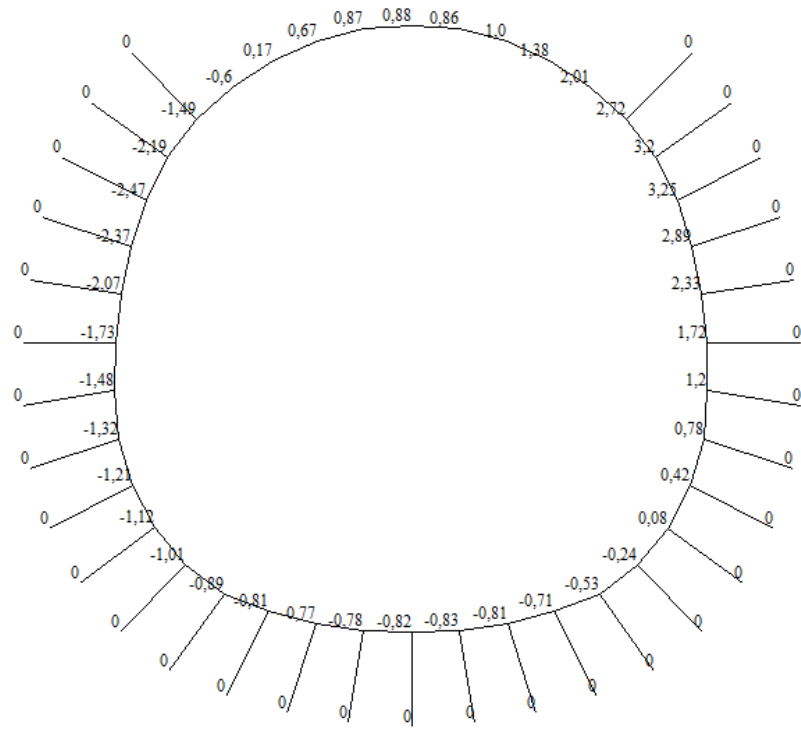


Рисунок 3.64 – Епюра горизонтальних переміщень моделі перегінного тунелю (оправа новоавстрійського методу спорудження тунелю (NATM) товщиною 0,25 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

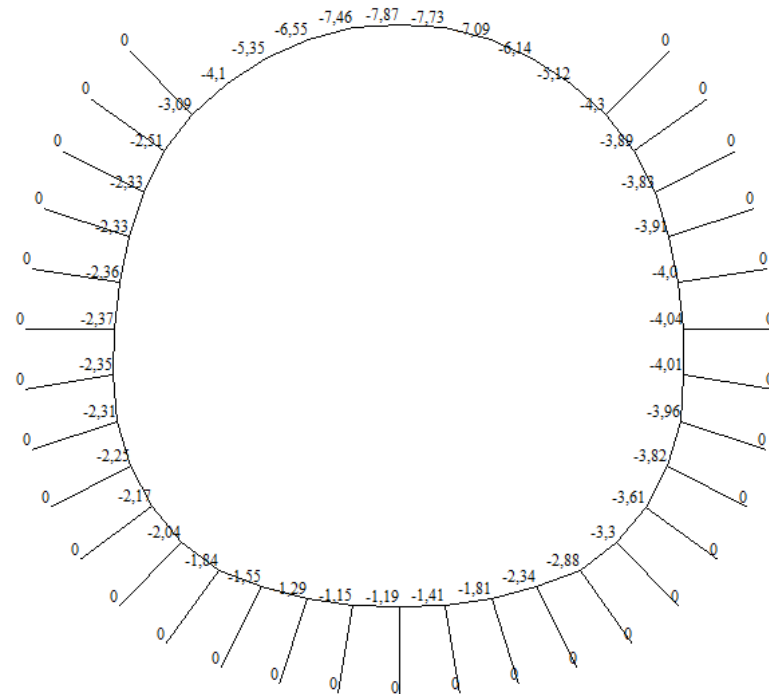


Рисунок 3.65 – Епюра вертикальних переміщень моделі перегінного тунелю (оправа новоавстрійського методу спорудження тунелю (NATM) товщиною 0,25 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

					011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

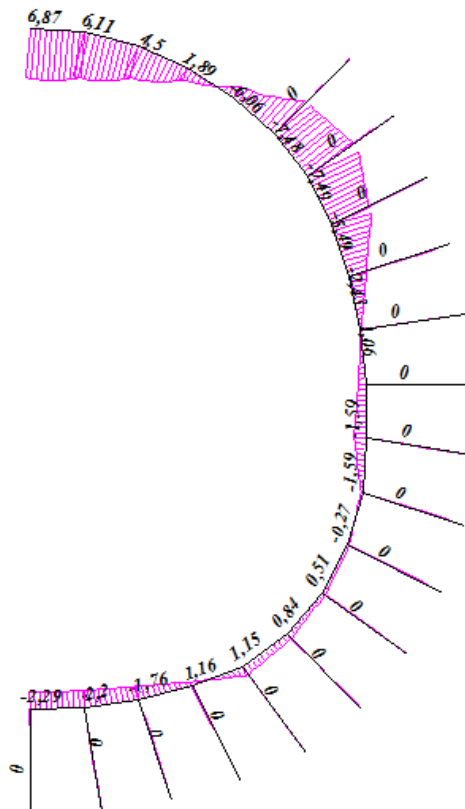


Рисунок 3.68 – Епюра згинальних моментів M моделі перегінного тунелю (оправа новоавстрійського методу спорудження тунелю (NATM) товщиною 0,25 м) від комбінованого навантаження у програмному комплексі SCAD

Таблиця 3.1

Порівняння силових факторів в оправах різних типів

Матеріал оправи	Товщина оправи, м	Сила N , кН	Момент M , кН·м
З/б	0,2	-2,58	0,54
Чавун		-1,23	1,61
NATM		-34,58	5,08
З/б	0,25	-2,3	0,74
Чавун		–	–
NATM		-32,22	6,87
З/б	0,15	–	–
Чавун		-1,29	1,52
NATM		–	–

Обґрунтовуючи геометричні параметри оправи та порівнявши варіанти оправи: залізобетонних блоків із товщинами 0,2 та 0,25 м, чавунних тюбінгів товщиною 15 та 0,2 м, NATM товщиною 0,2 та 0,25 м, отримавши силові фактори (сила N та момент M) можна свідчити, що варіант оправи із залізобетону товщиною 0,2 м за мінімальним моментом 0,54 кН·м є найбільш обґрунтованим варіантом. Однак розподіл моментів не за абсолютним значенням, а у динаміці більше перспективний у оправі NATM, оскільки він майже не збільшується при варіації товщини, причому нормальні сили також знаходяться приблизно на одному значенні.

Аналіз силових факторів в оправі доводить вплив її жорсткості, оскільки чим більше модуль пружності оправи, тим менше в ній деформації і силові фактори. Проте усі три оправи усіх товщин демонструють незначні відношення між моментами та нормальними силами (ексцентриситети), що свідчить про рівнозначність матеріалів. Остаточним параметром вибору оправи, крім техніко-економічного порівняння та результатів чисельного аналізу, є лише переваги та недоліки технології спорудження. Для того, щоб вибір був адекватним реальним умовам, обираємо NATM, оскільки цей метод спорудження наразі є передовим та застосовується при будівництві Дніпровського метрополітену.

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 4

Розробка проєкту спорудження перегінного тунелю NATM

4.1 Основні відомості про NATM

Нині NATM (новоавстрійський спосіб проходки тунелів) є найбільш поширеним з гірських способів. Настільки незвичним інтенсивне поширення цього способу обумовлюється його економічністю та низькою матеріаломісткістю підземних конструкцій [7].

NATM може бути застосований як в сприятливих, так і в складних інженерно-геологічних умовах. Спосіб може застосовуватися в поєднанні зі спеціальними методами проходки тунелів (укріплення гірничих порід ін'єкцією, водо пониженням, заморожуванням та ін.).

Головною особливістю NATM у порівнянні з іншими є використання у максимальному ступені несучої здатності навколишньої породи та залучені її в роботу в якості захисної конструкції, оберігаючої виробку від обвалення [4, 6]. Порода, закріплена належним чином тимчасовим кріпленням із анкерів, набризг-бетону та податливого арочного кріплення, перетворює в вантажонесуче середовище, сприймає значну частину зовнішніх навантажень. Решта навантажень передається на кріплення, матеріаломісткість якої знижена у порівнянні з кріпленням, використаною при інших методах проходки.

Новоавстрійський спосіб допускає суттєві переміщення контуру виробки, забезпечуючи тим самим розвантаження гірничого масиву від напружень. Постійна бетонна або залізобетонна оправа зводиться тоді, коли вичерпана несуча здатність тимчасового кріплення. В наслідок цього оправа працює на загрузку, значно меншу, ніж якби оправа зводилася до того, як сталося основне розвантаження масиву [39].

Обов'язкова умова способу – виконання протягом усього часу будівництва тунелю вимірювання деформацій, переміщень, напружень як в кріпленні, так і в породі. Це дозволяє безперервно контролювати стан гірничого масиву та конструкцій і при необхідності посилювати кріплення.

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні положення NATM наступні [14, 39-41]:

– несучим елементом є головним чином гірничя порода, переміщення якої навкруги виробки допускається, але обмежуються заданими значеннями шляхом застосування спеціального кріплення (набризк-бетону із сіткою, анкери, податливе арочне кріплення), параметри якого визначаються розрахунком;

– зовнішня несуча здатність породно-анкерна оболонка навкруги виробки може бути представлена у вигляді товстостінної труби, замикання якої необхідно забезпечити протягом певного проміжку часу, що визначається досвідченим шляхом. Найбільш сприятлива форма вироблення – кругла або підковоподібна, так як в кутах відбувається концентрація напружень; стабілізація переміщень закріпленої породи навколо вироблення відбувається за рахунок поетапного посилення зовнішньої і внутрішньої несучих оболонок, яка здійснюється шляхом збільшення довжини анкерів і перетину арок, а також підвищенням відсотка армування набризк-бетонного покриття і внутрішньої монолітної бетонної або залізобетонної оправы. Всі роботи по кріпленню відбуваються під безперервним контролем переміщень породи і напружень в кріпленні [34, 40].

Основним елементом кріплення є анкери. Довжина анкерів визначається станом породи, площею поперечного перерізу тунелю і опором анкерних стрижнів висмикування [15, 16].

Поряд з анкерним кріпленням набризк-бетон також є необхідним елементом кріплення тунелів, що споруджуються новоавстрійським способом. У міцних породах товщина набризк-бетонного покриття складає всього 3...5 см.

Податливе арочне кріплення виконується з арматурних ферм або спецпрофілю масою від 18 до 36 кг на 1 м. Крок арок ув'язується з довжиною заходки, зазвичай на 1 заходку встановлюють 1...2 арки по довжині тунелю. Арочне кріплення застосовується тільки в слабких породах [41].

Застосовувана при новоавстрійському способі уступна проходка тунелів великого перерізу за вартістю обладнання і темпів робіт виявляється навіть в

						011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

стійких породах переважно проходки суцільним забоєм, широко практикуються в цих умовах. Новоавстрійській спосіб дозволяє для тунелів великого перерізу застосовувати легке мобільне і відносно дешеве в порівнянні з застосовуваним при проходці суцільним забоєм обладнання.

4.2 Основні відомості про буровибухові роботи

Якість вибухових робіт характеризується коефіцієнтом використання шпуру (КВШ), коефіцієнтом перебору перерізу, мірою дроблення породи, компактністю штабеля відбитої гірничої маси [24].

Коефіцієнт використання шпурів визначається співвідношенням:

$$\eta = \frac{l_{\text{зах}}}{l_{\text{к}}} < 1, \quad (4.1)$$

де $l_{\text{зах}}$ – довжина західки, м; $l_{\text{к}}$ – довжина комплекту шпурів, м.

Під час проходки тунелів буровибуховим способом потрібно забезпечити: задану форму й розміри поперечного перерізу виробок; рівномірне дроблення породи і її кучне розташування біля лоба забою, що сприяє підвищенню продуктивності навантаження; високий коефіцієнт використання шпурів η , що дає можливість передбаченого паспортом БВР просування забою. Практикою застосування БВР допускаються такі перевищення розмірів поперечного перерізу виробок: для тунелів – у межах 0,15...0,2 м на одну сторону і для штолень – 0,1 м. Такі параметри забезпечуються правильним вибором ВР, кількістю й конструкцією зарядів та їх масою.

Буровибуховий спосіб руйнування ґрунтового масиву використовується під час проходки тунелів способом суцільного й уступного забою та способом спертого склепіння для порід середньої й високої міцності (табл. 1 додатка).

Спосіб суцільного забою застосовують у скельних породах з коефіцієнтом міцності $f \geq 7$, якщо висота виробки менше 10 м, уступний спосіб – під час проходки тунелів у ґрунтах з $f = 2...6$ або в міцних ґрунтах з

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$f > 7$, якщо висота виробки перевищує 10 м (у цьому разі з метою забезпечення стійкості забою його поділяють на частини).

4.3 Розрахунок параметрів БВР

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

Нижче наведений порядок і методика визначення параметрів БВР для звичайного й контурного підривання зарядів [24].

1. Спочатку визначають глибину заходки $l_{\text{зах}}$ із урахуванням прогону виробки, міцнісних характеристик порід та технології робіт. Головну увагу слід приділяти забезпеченню стійкості виробки після вибуху. Найбільш правильним є встановлення глибини заходки (табл. 4.1) залежно від тривалості циклу буровибухових робіт з урахуванням усіх операцій, які входять до циклу (приклад складання циклограми наводиться в додатку).

Таблиця 4.1

Рекомендовані до застосування глибини заходок

Площа поперечного перерізу тунелю, м ²	Коефіцієнт міцності породи f		
	4	4...6	6 та більше
До 20	1,5...2,0	2,0...2,5	3,0
20...60	1,5...2,4	2,4...3,0	3,0...3,5

2. Приймають коефіцієнт використання шпурів, який коливається в межах 0,8...0,9 і для контурного підривання становить 0,85...0,9, а для звичайного – 0,8...0,85.

3. Далі визначають глибину комплекту шпурів l_k

						011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$l_k = \frac{l_{\text{зах}}}{\eta}, \quad (4.2)$$

де $l_{\text{зах}}$ – довжина заходки, м;

η – КВШ.

4. Визначають тип врубу і його параметри на основі рекомендованої таблиці.

5. Визначають тип вибухових речовин із урахуванням фізико-механічних характеристик і структури порід.

6. Визначають типи шпурових зарядів та їх конструкції, встановлюють діаметр патронів ВР.

Як правило, у відбійних шпурах патрон-бойовик розміщують в усті шпуру. У міцних породах ($f > 6$) його можна розташовувати в донній частині шпуру, при цьому збільшується ефективність вибуху (так зване зворотне ініціювання).

Діаметр патронів ВР приймають з урахуванням геометричних параметрів виробки, геологічних умов та технічних особливостей бурових машин. Найчастіше діаметр шпурів приймається в 1,3...1,6 разу більшим за діаметр патрона.

Для врубових і відбійних шпурів використовують суцільні заряди, для контурних – суцільні заряди зменшеної маси або заряди з повітрям або спеціальними проміжками.

7. Визначають масу ВР q_1 (кг), яка припадає на 1 м довжини шпурів.

Для ВР у патронах

$$q_1 = \frac{k_{\text{зан}} \psi_0 \gamma}{l_n}, \quad (4.3)$$

де $k_{\text{зан}}$ – коефіцієнт заповнення шпурів (приймається за табл. 4.2); ψ_0 – коефіцієнт ущільнення заряджання (для патронів ВР дорівнює 1,1, для

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

порошкових ВР – 1); γ – питома вага вибухової речовини, кг/м³; $l_{\text{п}}$ – довжина патрона.

Для порошкових ВР

$$q_1 = 0,01k_{\text{зап}}\psi_0\rho V, \quad (4.4)$$

де ρ – густина ВР, г/см³; V – об'єм 1 м циліндричного заряду, см³.

Таблиця 4.2

Значення коефіцієнта заповнення шпурового заряду

Коефіцієнт міцності породи f	2...3	4...6	7...9	10...14	15...20
Коефіцієнт заповнення шпурів $k_{\text{зап}}$	0,4...0,5	0,6...0,65	0,65...0,7	0,7...0,75	0,8

8. Визначають питомі витрати ВР q за формулою ЦНІДСу

$$q = \left(0,3\sqrt{f} + \frac{2}{\sqrt{S}} \right) c\psi\omega m, \quad (4.5)$$

де S – площа поперечного перерізу виробки, м²; c – коефіцієнт, який враховує вплив діаметра заряду ВР (для патронів діаметром 32, 36, 40, 42 та 45 мм він відповідно дорівнює 1,1; 1,0; 0,95; 0,92 та 0,90); e – коефіцієнт еквівалентних зарядів; ψ – коефіцієнт щільності заряджання, який приймається в разі заряджання патронами ВР рівним 1,1 та в разі заряджання порошковим ВР – 1,0; ω – коефіцієнт, який характеризує структуру і тріщинуватість порід (для щільних монолітних та нетріщинуватих порід – 1,15...1,0; слаботріщинуватих – 0,90; тріщинуватих – 0,85...0,90; сильнотріщинуватих –

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

0,75...0,85); μ – коефіцієнт, що враховує площу виробок, $\mu=1$ для виробок площею 50...60 м², 0,75 – 70...90 м², 0,67 – 100...120 м².

Застосовують такі коефіцієнти еквівалентних зарядів e : для амоналу скельного № 3, амоніту скельного № 1, грамоналу А-8 – 0,8; детоніту М – 0,82; амоналу водостійкого – 0,89; грануліту АС-8 – 0,89; грануліту АС-4 – 0,98; амоніту №6 ЖВ – 1,00; динафталіту – 1,08; грануліту М – 1,13; гранулотолу, акватола АВ – 1,20.

Для штолень застосовують формулу А.Я.Тараканова

$$q_0 = 0,4 \left(\sqrt{0,2f} + \frac{1}{S} \right) \frac{k'}{e'}, \quad (4.6)$$

де $k'=1,2...1,3$ – коефіцієнт, який враховує додаткові витрати ВР для мілкового дроблення ґрунтів; e' – коефіцієнт відносної працездатності, $e' = \frac{P}{525}$;

P – працездатність ВР, см³.

9. Визначають загальну кількість шпурів N під час звичайного підривання

$$N = N_{\text{вр}} + N_{\text{від}} + N_{\text{к}} + N_{\text{п}}, \quad (4.6)$$

де $N_{\text{вр}}$, $N_{\text{від}}$, $N_{\text{к}}$, $N_{\text{п}}$ – кількість врубових ($N_{\text{вр}}=4...8$ шт.), відбійних, контурних і підошовних шпурів відповідно.

За формулою професора Г.І. Покровського

$$N_{\text{вр}} + N_{\text{від}} = \frac{12,7qS'}{d^2 K_3 \Delta K_{\Delta}} + \sqrt{S'}, \quad (4.7)$$

де $S' = S - S_{\text{к}}$ – частина виробки без площі $S_{\text{к}}$, яка підривається контурними шпурами ($S_{\text{к}} = (N_{\text{к}} - 1) a_{\text{к}} (W_{\text{к}} + 0,1)$), де $N_{\text{к}}$ – кількість контурних

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шпурів; a_k – відстань між контурними шпурами, м; $W_k = a_k/m$ – ЛНО контурних шпурів; m – коефіцієнт зближення зарядів: 0,8...0,9 – для тріщинуватих, 1,1...1,3 – для міцних порід); d – діаметр патрона ВР, см; K_3 – коефіцієнт заповнення шпуру (табл. 6.2); Δ – зарядження вибухової речовини (питома вага); K_Δ – коефіцієнт ущільнення зарядів ($K_\Delta = 1,05 \dots 1,15$).

Кількість контурних N_k і підшовних N_n шпурів визначається за виразами

$$N_k = \frac{P_k}{a_k}, \quad (4.8)$$

$$N_n = \frac{P_n}{a_n}, \quad (4.9)$$

де P_k – периметр виробки по лінії розміщення контурних шпурів, м (за 10 см від контуру виробки); P_n – ширина виробки по підшві, м; a_n – відстань між підшовними шпурами.

Масу контурного заряду визначають за формулою

$$q_k = l_k K_k, \quad (4.10)$$

де l_k – довжина контурного шпуру, м; K_k – маса заряду на 1 пог. м контурного шпуру, приймається в межах 0,2...0,45 кг/м.

Маса всіх контурних зарядів

$$Q_k = q_k N_k. \quad (4.11)$$

Середня маса заряду решти шпурів

$$q_{\text{сер}} = \frac{Q - Q_k}{N - N_k}, \quad (4.12)$$

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Q – кількість ВР на цикл $Q = qSl_{\text{зах}}$.

Маса врубових зарядів повинна бути на 15...20 % більше середньої маси зарядів:

$$q_{\text{вр}} = 1,2q_{\text{сер}} \quad (4.13)$$

Маса всіх врубових зарядів $Q_{\text{вр}} = q_{\text{вр}}N_{\text{вр}}$, кг.

Маса відбійних і підшовних шпурів, кг

$$Q_{\text{від}} + Q_{\text{під}} = q_{\text{сер}}(N_{\text{від}} + N_{\text{під}}) \quad (4.14)$$

Загальна уточнена маса на цикл

$$Q_y = Q_{\text{вр}} + Q_{\text{від}} + Q_k + Q_{\text{під}} \quad (4.15)$$

Уточнена питома витрата ВР

$$q_0 = \frac{Q_y}{Sl_{\text{зах}}} \quad (4.16)$$

10. У розрахунках параметрів контурного підривання шпурів визначають ЛНО відбійних шпурів

$$W = 52K_{\text{зт}}d_3\sqrt{\frac{S}{e\gamma l_{\text{зах}}}} \quad (4.17)$$

де $K_{\text{зт}}$ – коефіцієнт затиску шпурів ($K_{\text{зт}}=0,7\dots0,9$); d_3 – діаметр заряду, м;
 γ – густина ВР, кг/м³.

Під час спорудження транспортних тунелів уступним способом визначають основні параметри БВР для верхнього уступу як для окремої виробки. Підривання нижнього уступу може здійснюватися шляхом підривання

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

горизонтальних шпурів, а також похилих свердловин, які бурять з підосви уступу. Такий спосіб більш ефективний, але потребує використання різних видів бурового обладнання. Свердловини розміщують рядами через 1,0...1,2 м, довжина забою, який підривається таким способом, не перевищує 3,5...4,0 м. ЛНО по підосві уступу визначається за формулою

$$W = 52d_c \sqrt{\frac{\rho}{e\gamma_{\text{зах}}}} / \sin \alpha, \quad (4.18)$$

де d_c – діаметр свердловини, м; α – кут нахилу свердловин, град.

4.4 Складання паспорта БВР

Паспорт БВР – це основний технічний документ, який визначає основні параметри буровибухових робіт під час проходки підземних виробок і включає гірничо-геологічні характеристики умов проходки [24]:

- назву та габарити виробки;
- міцність і категорію порід;
- ступінь тріщинуватості та вологості,
- а також розрахункові параметри:
 - величину заходки;
 - кількість, глибину й розташування шпурів;
 - конструкцію зарядів, тип ВР і засобів ініціювання;
 - вихід буріння (на погонний метр довжини виробки і на 1 м³ гірничої маси);
 - послідовність підривання зарядів і кількість ступенів сповільнення, їх діапазон;
 - матеріал і довжину забійки на 1 шпур;
 - загальний об’єм ґрунту в забої, що підлягає руйнуванню;
 - схему з’єднання зарядів у електричній мережі;

						011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

– заходи безпеки під час виконання бурових та вибухових робіт.

4.5 Розрахунок параметрів буровибухових робіт

В завданих умовах будівництва в місті Дніпрі, при наявності граніту із коефіцієнтом міцності $f=6...12$, слід розрахувати такі параметри вибухових робіт, які б забезпечували коефіцієнт використання шпурів (КВШ) та якісне руйнування без значних переборів. Таким чином завданням є розрахунок оптимальних параметрів БВР із складанням паспорту БВР, в якому визначаються основні параметри вибухових робіт і згідно з нормативними документами включає такі дані:

- гірничо-геологічна характеристика умов проходки;
- властивості ґрунтів: групу за складністю розробки, міцність за професором М. М. Протод'яконовим, тріщинуватість масиву;
- обводненість забою;
- площу розміри поперечного перетину виробок;
- величину заходки за цикл;
- параметри БВР: кількість та глибину шпурів з урахуванням проектного контуру виробки; вихід буріння на заходку, на 1 м виробки, на 1 м³ гірничої маси; конструкції зарядів (врубових, відбійних, контурних); тип вибухової речовини, що застосовується; витрати ВР і ЗВ на заходку, на 1 м виробки, на 1 м³ гірничої маси; кількість ступенів сповільнення, послідовність підривання зарядів; величину зарядів шпурів, сумарну масу заряду на кожен ступінь сповільнення; матеріал і величину забійки; кількість ґрунту, що підлягає підривним роботам; схему з'єднання зарядів в електричній мережі;
- відомості про міри безпеки.

Основні дані:

Площа перерізу виробки: $S = 29,98 \text{ м}^2$.

Обсяг відбиваної породи за вибух на величину заходки $V = 44,97 \text{ м}^3$.

Параметри горизонтальної виробки: ширина $b = 6,06 \text{ м}$, висота $h = 6,3 \text{ м}$, глибина заходки $L = 1,8 \text{ м}$.

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункові дані:

Діаметр шпурів – 42 мм;

Кількість шпурів на вибух – 10,8 шт.;

Глибина шпурів:

– врубові – 2,3 м,

– компенсаційні (відбійні) – 2,1 м,

– допоміжні відбійні – 2,0 м,

– контурні – 2,1 м,

– підшовні – 2,1 м.

Призначення глибини заходки. З урахуванням високого коефіцієнта міцності породи $f = 8 \dots 10$ приймаємо глибину заходки рівній 1,8 м.

Визначення глибини комплекту відбійних шпурів по формулі:

$$l_k = l_{\text{зах}} / \eta,$$

де η – коефіцієнт використання шпурів; в міцних породах при контурному підриванні $\eta = 0,85 \dots 0,87$; приймаємо $\eta = 0,85$.

Тоді

$$l_k = \frac{1,8}{0,85} = 2,1 \text{ м.}$$

Приймаємо тип врубу – вертикальний клиновий з глибиною врубових шпурів, пробурених під кутом $\beta = 65^\circ$ до площини забою, що дорівнює 2,3 м; врубові шпурів 8 шт. при відстані між парами, що дорівнює 0,4 м і між гірлами 0,6 м.

Глибина контурних шпурів, пробурюють під кутом $3 \dots 7^\circ$ до площини забою дорівнює

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$l_{\text{конт}} = \frac{l_{\text{отб}}}{\cos(3^\circ - 7^\circ)} = \frac{2,1}{0,9986 - 0,9925} \approx 2,1 \text{ м.}$$

Визначаємо питому витрату ВР за формулою ЦНПДСу, найбільш прийнятною при будівництві транспортних тунелів:

$$q_0 = \left(0,3\sqrt{f} + \frac{2}{\sqrt{S}} \right) \varepsilon \psi \omega \mu,$$

де S – площа поперечного перерізу виробки, $S = 29,98 \text{ м}^2$;

ε – коефіцієнт еквівалентності за енергоємністю, прийнятий для амоніту № 6ЖВ за одиницю, тобто $\varepsilon = 1,0$; при застосуванні емульсійної ВР типу Анемікс-П32 / 250 коефіцієнт ε приймається рівним $\varepsilon = 0,9$;

ψ – коефіцієнт впливу щільності заряджання, що приймається для патронував ВВ $\psi = 1,1$;

ω – коефіцієнт структури і тріщинуватості скельних порід (змінюється від 0,6 для сільнотріщинуватих порід і до 2,0 для монолітних щільних); приймаємо середнє значення $\omega = 1,2 \div 1,3$;

μ – коефіцієнт, за допомогою якого враховується вплив площі поперечного перерізу виробки: при $S \leq 40 \dots 60 \text{ м}^2$ $\mu = 1,0$; приймаємо $\mu = 1,0$.

Тоді для $f=10$

$$q_{0 \text{ при } \varepsilon=1,0} = \left(0,3\sqrt{10} + \frac{2}{\sqrt{29,98}} \right) 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 1,73 \text{ кг/м}^3.$$

Для $f=8$

$$q_{0 \text{ при } \varepsilon=0,9} = \left(0,3\sqrt{8} + \frac{2}{\sqrt{29,98}} \right) 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 1,0 = 1,69 \text{ кг/м}^3.$$

Для порід міцністю $f = 6 \dots 12$ по Протодьяконову і для площі перерізу

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.150018.МР.2020.ПЗ					

виробки понад 20 м² середня питома витрата ВР дорівнює

$$q = \frac{1,3 + 2,1}{2} = 1,7 \text{ кг/м}^3,$$

що близьке за значенням отриманим раніше розрахунковим шляхом результатами. Отже, приймаємо питому витрату рівною $q_0 = 1,7 \text{ кг/м}^3$.

Виконаємо розрахунок параметрів БПР при підриванні врубових, відбійних та контурних зарядів ВР. При застосуванні контурного підривання методом зближених зарядів задаються значеннями відстаней між контурними шпурами. Залежно від міцності і тріщинуватості породи, відстань знаходиться в межах від 0,4 до 0,9 м. Контурні шпури зазвичай бурять на відстані 0,1...0,15 м від контуру виробки вчорні.

Знайдемо відстань ω_k від осі відбійних шпурів до контуру виробки по формулі:

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

де a_k – відстань між контурними шпурами, приймаємо $a_k = 0,5 \text{ м}$; m – коефіцієнт зближення відбійних шпурових зарядів; попередньо можна прийняти для порід середньої міцності $m = 0,9$. Тоді

$$\omega_k = \frac{0,5}{0,9} = 0,55 \text{ м.}$$

Число контурних шпурів в забої визначаємо за формулою

$$N_{\text{к.шп.}} = \frac{\pi D_k}{a_k - 1},$$

де D_k – діаметр кола розташування контурних шпурів, рівний 6,05 м.

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже

$$N_{\text{к.шп.}} = \frac{3,14 \cdot 6,05}{0,5 - 1} = 37 \text{ шт.}$$

Визначаємо число внутрішніх шпурів:

$$N_{\text{вн.}} = \frac{qS}{y},$$

де q – питома витрата ВР, $q = 1,7 \text{ кг/м}^3$; y – вагова кількість ВВ, що припадає на 1 м шпуру:

$$y = \eta_{\text{ш}} \frac{\pi d^2}{4} \rho_{\text{ВВ}},$$

де $\eta_{\text{ш}}$ – коефіцієнт заповнення шпуру ВВ, $\eta_{\text{ш}} = 0,45$; $\rho_{\text{ВР}}$ – щільність ВР у шпурі, $\rho_{\text{ВР}} = 1150 \text{ кг/м}^3$; d – діаметр шпуру

$$y = 0,45 \frac{3,14 \cdot 0,0422^2}{4} 1150 = 0,716 \text{ кг/м}^3.$$

тоді

$$N_{\text{вн.}} = 1,7 \frac{29,98}{0,716} = 71,1 \approx 71 \text{ шт.}$$

Загальна кількість шпурів:

$$N_{\text{шп.}} = N_{\text{к.шп.}} + N_{\text{вн.}} = 37 + 71 = 108 \text{ шт.}$$

Електропідrivна мережа складається із магістральних і дільничних провідників і електродетонаторів з вивідними провідниками. Розрахунок електричної мережі рекомендується здійснювати в наступній послідовності:

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Визначимо схему з'єднання зарядів. Тип схеми залежить від кількості зарядів, що підлягають вибухові, і технології роботи. При вибуху ми застосовуємо послідовну схему з одиничними з'єднаннями.

2. Приймаємо типи електродетонаторів і ступінь їх сповільнення згідно з черговістю вибуху зарядів. Приймаємо запобіжний електродетонатор миттєвої дії Д-8-ПМ.

3. Згідно з кількістю зарядів і умовами їх підривання вибираємо підривну машинку – конденсаторний підривний прилад КВП-1/100М з напругою на конденсаторі 600...650 В, найбільшим опором – 320 Ω .

4. Визначаємо необхідну кількість провідників залежно від схеми з'єднання зарядів. При виборі площі перетину провідників керуються із допустимого опору мережі і необхідності забезпечення достатньої її механічної міцності.

Магістральні провідники згідно з ГОСТ 6285-74 випускають двох типів: ВП-0,8 і ВП-0,7-2 з опором провідника 37 Ω і 50 Ω відповідно на 1 км. Мінімальна довжина магістралі за умови безпеки 150 м. При використанні кабелю – його не доводять до забою на 75 м для того, щоб не пошкодити його при вибуху зарядів. Приймаємо магістральний провідник ВП-0,8. Для з'єднувальних провідників застосовуємо провідники ВП з мідною жилою площею $0,196 \text{ мм}^2$ з опором 93 Ω на 1 км.

Після повного розрахунку параметрів БВР складають його паспорт, який є основним технічним документом, по якому виконують всі БВР при проходці підземних виробок. Паспорт БВР визначає основні параметри вибухових робіт і згідно з нормативними документами (табл. 4.3 і 4.4).

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметри шпурових зарядів

№ груп шпурів	Найменування шпурів	Інтервал уповільнення, мс	Кількість шпурів в групі, шт.	Глибина шпуру, м	Глибина шпурів в групі, м
1	Врубіві	20	2	2,3	4,6
2	Врубіві	40	2	2,3	4,6
3	Врубіві	60	2	2,3	4,6
4	Допоміжні	100	4	2,0	8,0
5	Допоміжні	150	4	2,0	8,0
6	Допоміжні	200	4	2,0	8,0
7	Допоміжні	300	4	2,0	8,0
8	Відбійні	350	4	2,0	8,0
9	Відбійні	400	4	2,0	8,0
10	Відбійні	450	4	2,0	8,0
11	Відбійні	500	4	2,0	8,0
12	Відбійні	600	4	2,0	8,0
13	Відбійні	700	3	2,0	6,0
14	Відбійні	800	3	2,0	6,0
15	Відбійні	900	6	2,0	12,0
16	Відбійні	1000	8	2,0	16,0
17	Відбійні	2000	8	2,0	16,0
18	Контурні	3000	10	2,1	21,0
19	Контурні	4000	10	2,1	21,0
20	Контурні	5000	8	2,1	16,8
21	Контурні	7000	10	2,1	21,0
	Всього				221,6

Черговість підривання шпурових зарядів

№ груп шпурів	Найменування шпурів	N шпурів в групі	Величина заряду, кг	
			в шпурі	в групі
1	Врубові	7, 2	1,4	2,8
2	Врубові	1, 6	1,4	2,8
3	Врубові	3, 8	1,4	2,8
4	Допоміжні	11, 12, 17, 18	1,2	4,8
5	Допоміжні	4, 13, 19, 20	1,2	4,8
6	Допоміжні	5, 9, 10, 16	1,2	4,8
7	Допоміжні	23, 24, 29, 30	1,2	4,8
8	Відбійні	25, 26, 31, 32	1,2	4,8
9	Відбійні	14, 15, 22, 28	1,2	4,8
10	Відбійні	21, 22, 33, 34	1,2	4,8
11	Відбійні	39, 40, 43, 44	1,2	4,8
12	Відбійні	38, 41, 42, 45	1,2	4,8
13	Відбійні	46, 47, 48	1,2	3,6
14	Відбійні	35, 36, 37	1,2	3,6
15	Відбійні	53, 54, 55, 64, 65, 66	1,2	7,2
16	Відбійні	56, 57, 58, 59, 67, 68, 69, 70	1,2	9,6
17	Відбійні	49, 50, 51, 52, 60, 61, 62, 63	1,2	9,6
18	Контурні	94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103	1,0	10,0
19	Контурні	74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83	1,0	10,0
20	Контурні	71, 72, 73, 104, 105, 106, 107, 108	1,0	8,0
21	Контурні	84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93	1,2	12,0
	Всього	1 – 108		125,2

Нижче наведено циклограму виконання робіт на один цикл.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	011.150018.МР.2020.ПЗ					

Розділ 5

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Вимоги безпеки праці під час виконання буровибухових робіт

Заходи безпеки повинні включати комплекс дій, спрямованих на безпечне і ефективне виконання БВР, а саме:

- розробку оперативної документації (паспорт БВР);
- організацію зберігання та обліку ВМ;
- контроль дотримання вимог Єдиних правил безпеки (ЄПБ) та інших вказівок під час виконання робіт.

Згідно із вимогами ЄПБ БВР повинні організовуватися з дотриманням циклограми робіт. При цьому може передбачатися послідовне або паралельне виконання робіт. Вибухові роботи повинні виконуватися послідовно і їх суміщення з іншими роботами не дозволяється. Як правило, проходка виробок виконується в разі послідовного виконання прохідницького циклу із частковим суміщенням підготовчих, допоміжних та заключних робіт.

Загальні вимоги під час виконання бурових робіт

Під час виконання бурових робіт необхідно вживати заходів із запобігання впливу на працівників таких небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- обвалення гірських порід (грунтів);
- машини та їх робочі органи, що рухаються, конструкції, предмети, що ними пересуваються;
- розташування робочих місць поблизу перепаду по висоті 1,3 м і більше;
- підвищене значення напруги в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини.

За наявності небезпечних та шкідливих виробничих факторів, зазначених вище, безпека виконання бурових робіт повинна бути забезпечена відповідно до вимог НПАОП 5.2-7.02-12, НПАОП 0.00-1.66-13, НПАОП 0.00-5.38-14.

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Норм та проектно-технологічної документації (ПОБ, ПВР тощо) на виконання цих робіт зокрема:

- дотримання вимог допуску працюючих до виконання робіт;
- дотримання безпечних способів і методів виконання робіт з улаштування штучних основ і фундаментів;
- вибір засобів механізації для виконання робіт;
- розроблення та дотримання схем монтажу, демонтажу, переміщення по будівельному майданчику засобів механізації;
- забезпечення безпечної експлуатації бурового інструменту, палейних механізмів, віброзанурювачів, механізмів із вдавлювання паль;
- забезпечення безпечного виконання робіт у зонах обводнених ґрунтів, штучного закріплення ґрунтів, діючих підземних комунікацій;
- забезпечення безпеки праці під час виконання робіт на одному будівельному майданчику кількома машинами, механізмами;
- забезпечення безпеки праці під час використання спеціального обладнання для зведення протифільтраційних завіс, споруд типу «стіна у ґрунті», хімічного, термічного та інших видів закріплення ґрунтів;
- визначення номенклатури та забезпечення необхідної кількості засобів колективного та індивідуального захисту працівників.

До початку робіт наказом роботодавця повинна бути призначена особа, відповідальна за безпечне виконання робіт. Ця особа повинна вивчити геологічні та гідрогеологічні умови, розміщення підземних та наземних комунікацій.

Під час виконання робіт особливу увагу необхідно приділяти:

- підземним комунікаціям;
- старим виробкам і фундаментам;
- поверхневим водам (зі швидким підніманням їх рівня);
- напірним підземним водам;
- незатампованим розвідувальним свердловинам;
- наземним установкам, що призводять до вібрації ґрунту;

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– повітряним електричним мережам.

До виконання бурових допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичне обстеження, попереднє навчання, відповідні інструктажі.

Усі робітники повинні бути ознайомлені з ПВР, технологічними картами виконання земляних та інших робіт, схемою розміщення підземних комунікацій з позначенням місць перекриття напірних трубопроводів, відключення електромереж. У разі виявлення під час виконання робіт нових комунікацій необхідно викликати представників організацій, яким належать ці комунікації, та вирішити питання щодо продовження робіт.

Бурові машини повинні бути обладнані обмежувачами висоти піднімання бурового інструменту або вантажозахоплювального пристрою та звуковою сигналізацією.

Заходи безпеки праці під час виконання бурових робіт

З метою підтримання безпечності та ефективності бурових робіт необхідно:

- 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 відносять: збільшення або зниження швидкості буріння; зміну зусиль подачі бура на забій або його заклинювання; проскакування буру в порожнину;

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

появу або посилення притоку води із шпурів до виробки; зміну кольору води або викидів із шпуру мулу або піску. Якщо помітили 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 зонах 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 оборки ґрунтів. 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 забурника 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.

Заходи безпеки праці під час виконання вибухових робіт

Виконуючи вибухові роботи, необхідно дотримуватися правил безпеки

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 підриникам.

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 більш 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 електропідривну 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 підривних 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.

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заходи безпеки під час ліквідації аварій

Роботами з ліквідації аварій на буровій установці керує працівник, відповідальний за виконання робіт.

До початку робіт з ліквідації аварії керівник робіт перевіряє справність щогли, устаткування, талевої системи, спуско-підіймального інструменту і контрольно-вимірювальних приладів.

Перед початком робіт з ліквідації аварії бригаді бурової установки проводять цільовий інструктаж з безпечного ведення робіт під час ліквідації аварій на цій буровій.

Під час з'єднання ловильних бурильних труб із трубами, що залишилися в свердловині, а також у разі розгвинчування їх, вживають заходів проти падіння труб у свердловину.

Щоб самохідна бурова установка не була зсунута з місця зусиллями, що передаються на щоглу, установку надійно закріплюють.

У разі великих навантажень, що передаються на щоглу і інше бурове устаткування, усіх працівників, крім тих, що безпосередньо зайняті ліквідацією аварії, відводять на безпечну відстань від гирла свердловини.

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальні висновки

1. Проаналізовано переваги новоавстрійського методу при спорудженні перегінних тунелів альтернативної лінії Дніпровського метрополітену, а також інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови будівництва.

2. Для техніко-економічного обґрунтування виконано розрахунок об'ємів робіт із спорудження одного метра тунелю трьох видів оправ: залізобетонних блоків, чавунних тубінгів та оправи NATM. Порівнявши три варіанти оправи, можна зробити висновок, що найбільш економічним за трудовитратами виявився варіант оправи із залізобетонних блоків бетону В30, але в рамках магістерської роботи обрано близький за значеннями Варіант 3 (NATM).

3. Обґрунтовуючи геометричні параметри оправи, порівнявши її варіанти та отримавши силові фактори (сила N та момент M) можна свідчити, що варіант оправи із залізобетону товщиною 0,2 м за мінімальним моментом 0,54 кН·м є найбільш обґрунтованим варіантом. Однак розподіл моментів не за абсолютним значенням, а у динаміці більше перспективний у оправі NATM, оскільки він майже не збільшується при варіації товщини, причому нормальні сили також знаходяться приблизно на одному значенні.

4. Розглянуто основні відомості про новоавстрійський спосіб спорудження тунелю та про буровибухові роботи. Детально розроблена технологія БВР проходки для умов перегінного тунелю, а саме: визначено параметри шпурових зарядів вибухових речовин та способи їх буріння; вибрано вибухову речовину; розраховано параметри БВР; складено паспорт БВР; розраховано параметри буровибухових робіт.

5. Проаналізовано вимоги безпеки під час виконання буровибухових робіт та дії працівників у надзвичайних ситуаціях.

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

метро– и тоннелестроении [Текст] / Е. А. Демешко, С. Б. Косицын, В. К. Сергеев и др. // Сб. трудов науч.-техн. конф. «Подземное строительство России на рубеже XXI века», Москва, 15-16 марта 2000. – Москва : ТАР, 2000. – С. 200-207.

12. 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.

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

14. Карасев, М. А. Геомеханика: Методические указания к курсовому проектированию [Текст] / М. А. Карасев, Н. А. Беляков. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский горный университет, 2017. – 59 с.

15. Кауфман, Л. Л. Строительство тоннелей. Часть I. [Текст] / Л.Л. Кауфман, Н.И. Кулдыркаев, Б.А. Лысиков. – Донецк: Норд-Прес, 2006. – 360 с.

16. Кауфман, Л. Л. Строительство тоннелей. Часть II. [Текст] / Л. Л. Кауфман, Н. И. Кулдыркаев, Б. А. Лысиков. – Донецк: Норд-Прес, 2006. – 330 с.

17. Лернер, В. Г. Систематизация и совершенствование технологий строительства подземных объектов [Текст] / В. Г. Лернер, Е. В. Петренко. – Москва : ТИМР, 1999. – 188 с.

18. Лысиков, Б. А. Использование подземного пространства [Текст] / Б. А. Лысиков, А. А. Каплюхин. – Донецк : Вебер, 2008. – 416 с.

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

20. Маковский, Л. В. Городские подземные транспортные сооружения [Текст] / Л. В. Маковский. – Москва : Стройиздат, 1985. – 439 с.

21. Немчинов, Ю. И. Метод пространственных конечных элементов [Текст] / Ю. И. Немчинов. – Киев : НИИСК, 1995. – 368 с.

22. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность

									011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

их анализа [Текст] / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Киев : Сталь, 2002. – 600 с.

23. Петренко, В. Д. К вопросу о дискретизации конечно-элементных моделей [Текст] / В. Д. Петренко, А. Л. Тютюкин. // Сб. научн. тр. ПГАСиА «Строительство. Материаловедение. Машиностроение», Днепропетровск, 2002. – Вып. 18. – С. 123-128.

24. Петренко, В. Д. Методичні вказівки для курсового та дипломного проектування «Проектування буровибухових робіт під час будівництва тунелів» / 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.

25. 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.

26. 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.

27. 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.

28. Прочность и деформируемость горных пород [Текст] / Ю. М. Карташов, Б. В. Матвеев, Г. В. Михеев, А. Б. Фадеев. – Москва : Недра, 1979. – 269 с.

29. Тютюкин А. Л. Исследование напряженно-деформированного состояния обделки перегонного тоннеля с учетом передвижения щита / Материалы междунар. научн.-техн. конф. «Новые технологии подземного строительства и добычи полезных ископаемых», 11-13 апреля 2008 г., г. Алчевск. – Алчевск: Изд-во ДонГТУ, 2008. – С. 133-139.

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

30. Устинов, В. П. Метод конечных элементов в расчете железобетонных конструкций [Текст] / В. П. Устинов, В. М. Круглов, В. И. Кудашов // В сб. «Метод конечных элементов в строительной механике», Горький, 1975, Горьковский университет им. Н.И. Лобачевского – С. 141-148.

31. Фадеев, А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике [Текст] / А. Б. Фадеев. – Москва : Недра, 1989. – 260 с.

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

33. Фролов, Ю. С. Система «крепь–грунтовый массив». Численный анализ напряженно-деформированного состояния с учетом технологии проходки тоннелей [Текст] / Ю. С. Фролов, Ю. А. Мордвинков // Метро и тоннели. – 2006. – № 5. – С. 32-35.

34. Чеботаев, В. В. Прогнозирование деформаций грунтового массива при сооружении тоннелей щитами с активным пригрузом забоя (на примере Серебряноборских тоннелей) [Текст] / В. В. Чеботаев, Е. В. Щекудов, А. Г. Андриянов // Метро и тоннели. – 2007. – № 2. – С. 38-39.

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

36. Юркевич, П. Геомеханические модели в современном строительстве [Текст] / П. Юркевич // Подземное пространство мира. – № 1-2. – 1996. – С. 10-31.

37. Юркевич, П. Б. Подземное проектирование – комплексный подход [Текст] / П. Б. Юркевич // Метро и тоннели. – 2002. – № 5. – С. 24-29.

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

39. Barton, N. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support [Текст] / N. Barton, R. Lien, J. Lunde // Rock Mechanics and Rock Engineering, 1974. – 6(4). – pp. 189-236.

					011.150018.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

40. Beiniawski, Z. T. Engineering Rock Mass Classification. A Complete Manual for Engineers and Geologist in Mining, Civil and Petroleum Engineering [Текст] / Z. T. Beiniawski. Canada, John Wiley & Sons, Inc., 1989. – 251 p.

41. Deere, D. U. The RQD index in practice / D. U. Deere, D. W. Deere // Proc. Symp. Rock Class. Engineering Purposes, ASTM Special Technical Publications, Philadelphia. – 1988. – 984. – p. 91-101.

42. Cheon, D. S. Numerical analysis of geotechnical parameters on subsidence due to underground mining [Текст] / D. S. Cheon, S. O. Choi, Y. S. Jeon, C. Ryu. – Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future, Erdem & Solak, 2005. – London: Taylor & Francis Group, 2005. – pp. 245-251.

43. Givoli, D. Numerical methods for problem in infinite [Text] / D. Givoli. – Amsterdam, Domains, ELSEVIER, 1992. – 237 p.

44. Hamid Chakeri Analysis of interaction between tunnels in soft ground by 3D numerical modeling [Text] / Hamid Chakeri, Rohola Hasanpour, Mehmet Ali Hindistan, Bahtiyar Ünver – Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2011, Vol. 70, Issue 3, p. 439-448.

45. Pang, C. H. Some considerations in finite element analysis of tunneling [Текст] / C. H. Pang, K. Y. Yong, G. R. Dasari. – Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future, Erdem & Solak, 2005. – London: Taylor & Francis Group, 2005. – pp. 1149-1154.

						011.150018.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			