

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра «Мости та тунелі»

До захисту:

Завідувач кафедри МТ

_____ О. Л. Тютюкін

« ____ » _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття ОС «магістр»

Галузь знань 19 «Архітектура та будівництво»

Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

ОПП «Мости і транспортні тунелі»

Тема: Комплексна дипломна магістерська робота

«Обґрунтування альтернативної лінії Дніпровського метрополітену

з проектом будівництва підводної частини.

Аналіз транспортної проблеми та спорудження станцій метрополітену»

Theme: Complex master's thesis "Substantiation of the alternative Dnipro Metro line
with the construction project of the underwater part.

Analysis of the transport problem and construction of metro stations"

Керівник магістерської роботи	<u>Д.т.н., доц.</u>	_____	<u>О. Л. Тютюкін</u>
	(посада)	(підпис)	(ПІБ)

Консультант розділу з БЖД	<u>К.т.н., доц.</u>	_____	<u>Ю. Л. Зяць</u>
	(посада)	(підпис)	(ПІБ)

Нормоконтролер	<u>Д.т.н., доц.</u>	_____	<u>О. Л. Тютюкін</u>
	(посада)	(підпис)	(ПІБ)

Виконавець, студент групи МТ1922			<u>М. В. Гузиєнко</u>
			(ПІБ)

Student		(підпис)	<u>Mykhailo Huzyienko</u>
---------	--	----------	---------------------------

2020 р.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реферат

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

Об'єкт дослідження: станції метрополітену пілонного та колонного типу глибокого закладення.

Предмет дослідження: напружено-деформований стан станцій метрополітену пілонного та колонного типу глибокого закладення.

Мета роботи полягає в отриманні параметрів напружено-деформованого стану станцій метрополітену пілонного та колонного типу глибокого закладення та обґрунтуванні спорудження станції метрополітену пілонного типу для альтернативної лінії Дніпровського метрополітену.

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

1. Виконано аналіз транспортної проблеми м. Дніпра та станцій метрополітену глибокого закладення.
2. Виконаний чисельний аналіз напружено-деформованого стану станцій метрополітену глибокого закладення пілонного та колонного типу.
3. Розроблена технологія БВР проходки станційних тунелів.
4. Розроблені основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях при спорудженні станції метрополітену БВР.

Галузь застосування: метробудування.

Ключові слова: метрополітен, пілонна станція метрополітену, колонна станція метрополітену, глибоке закладення, чисельний аналіз, метод скінченних елементів, буровибухові роботи, охорона праці

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ	
Розділ 1. Аналіз транспортної проблеми м. Дніпра та станцій метрополітену глибокого закладення.....	
1.1 Аналіз транспортної проблеми м. Дніпра	
1.2 Аналіз сучасних станцій метрополітенів України	
1.3 Аналіз інженерно-геологічних умов закладення станції	
Розділ 2. Чисельний аналіз станції «Майдан» (альтернативна лінія) в пілонному та колонному варіантах	
2.1 Чисельний аналіз станції в пілонному варіанті	
2.2 Чисельний аналіз станції в колонному варіанті із стандартним кроком колон	
2.3 Чисельний аналіз станції в колонному варіанті із збільшеним кроком колон	
Розділ 3. Спорудження пілонної станції в скельних ґрунтах БВР	
3.1 Організація будівельного майданчика	
3.2 Проходка бокових станційних тунелів	
3.3 Проходка середнього станційного тунелю	
3.4 Спорудження проїомів	
3.5 Буровибухові роботи	
3.6 Визначення параметрів БВР	
3.7 Розрахунок вентиляції при буровибухових роботах	
3.8 Розрахунок електровозної відкатки породи	
Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	
Висновки	
Бібліографічний список	

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Подальший розвиток м. Дніпра як крупного економічного центру тісно пов'язаний із транспортною ситуацією, оскільки питання логістики та пасажиропотоків є завжди нагальним. Обґрунтування альтернативної лінії Дніпровського метрополітену потребує аналізу транспортної проблеми та спорудження станцій метрополітену з метою відшукування найбільш ефективних та адекватних поточній ситуації конструкцій.

На сьогоднішній день турецька компанія «ЛІМАК», базуючись на рішеннях європейського досвіду будівництва підземних споруд, споруджує перегінні тунелі Дніпровського метрополітену на основі новоавстрійського методу. Вже запроектовані нові конструкції станцій «Театральна» та «Центральна», а також відбувається підготовка до проектування станції «Музейна». Ці три блок-дільниці з'єднують другу чергу першої лінії Дніпровського метрополітену із станцією «Вокзальна» і таким чином із частиною метрополітену, який експлуатується з грудня 1995 року.

Однак, роботи по спорудженню Дніпровського метрополітену, що ведуться, не розглядаються в рамках стратегічного плану розвитку транспортної системи міста та метрополітену. Серйозній критиці була піддана вже існуюча підземна інфраструктура, що є слушним, оскільки та лінія, що існує та експлуатується, не пов'язана із планами розвитку. Особливо це відчувається в тому, що спорудження метрополітену наразі пов'язується лише із правим берегом м. Дніпра, однак більш складна транспортна ситуація склалася на лівому березі. Тому створення альтернативної лінії метрополітену, що поєднає обидва береги м. Дніпра, є актуальною задачею, яка потребує наукового обґрунтування в рамках магістерської роботи із визначенням параметрів станційних конструкцій.

Останнім часом дослідження напружено-деформованого стану (НДС) станцій метрополітену глибокого закладення усе менше спирається на методи, розроблені в рамках аналітичного підходу, що об'єктивно пов'язано з

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ускладненням конструктивних рішень пілонних та колонних станцій, застосуванням нових технологій їх спорудження, а також розвитком нових підходів до самого процесу дослідження. Найбільшого поширення дістали чисельні методи, наприклад, метод скінченних елементів.

Одним із завдань магістерської роботи є чисельний аналіз напружено-деформованого стану станцій метрополітену глибокого закладення пілонного та колонного типу (станція «Майдан» (альтернативна лінія)). Взагалі математичне моделювання станції «Майдан» (альтернативна лінія) в пілонному та колонному варіантах дозволяє отримати параметри напружено-деформованого стану варіантів конструкцій станції при варіації її характеристики.

Таким чином, мета роботи полягає в отриманні параметрів напружено-деформованого стану станцій метрополітену пілонного та колонного типу глибокого закладення та обґрунтуванні спорудження станції метрополітену пілонного типу для альтернативної лінії Дніпровського метрополітену.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1

Аналіз транспортної проблеми м. Дніпра та станцій метрополітену глибокого закладення

1.1 Аналіз транспортної проблеми м. Дніпра

В статті [13] автор магістерської роботи у співавторстві частково розглянув транспортну проблему м. Дніпра і запропонував в якості додаткового виду транспорту одним з альтернативних видів, а саме пасажирську підвісну канатну дорогу (ППКД), яка займає в сучасному світі провідне місце в забезпеченні транспортно-технологічних та розважальних функцій в міських інфраструктурах. Це досить важливий для міста вид громадського транспорту, що дозволяє швидко й відносно дешево з'єднати різні точки населеного пункту (особливо житлові масиви), не зважаючи на складності рельєфу та довжину траси.

Однак, при всіх перевагах ППКД її основним недоліком є провізна спроможність. Аналіз транспортної ситуації м. Дніпра свідчить, що навіть в 2019 році, який був позначений локдауном навесні та адаптивним карантинном восени, міський транспорт, що зв'язав лівий та правий береги міста, не може забезпечити пасажироперевезення. Місто Дніпро є одним із найбільш населених міст України – станом на січень 2018 р. населення 1002900 осіб, площа 405 кв. км., більше 2200 вулиць, протяжність міста з півночі на південь 22 км, протяжність із заходу на схід 33 км [13].

Завантаженість шляхів пересування населення м. Дніпра (лівий та правий берег) у години пік визначена за допомогою програмного комплексу Google Earth [13]. Отримано схему завантаженості маршрутних ліній районів і виявлено, що ліній маршрутного таксі (№ 124, № 126) та тролейбусів недостатньо для нормального та комфортного руху пасажиропотоку.

При цьому відмічається, що хоча транспорт і є одним з найменших джерел забруднення навколишнього середовища, викиди газів, вилив мастил, зовнішні шуми тощо негативно впливають як на стан здоров'я населення, так і

					011.150008.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на природні процеси. Мережа транспортних шляхів займає великі площі землі, які можна було б використовувати більш доцільно [13].

Тому найбільш адекватним транспортній ситуації м. Дніпра, що склалася в останні роки і позначена зниженням обсягом комунального електротранспорту та збільшенням ролі маршрутних таксі, є подальший розвиток метрополітену. Створення альтернативної лінії Дніпровського метрополітену слід ґрунтувати на історичному досвіді, який є тим потенціалом, що дозволить створення ефективного транспорту. Так, складна ситуація пасажироперевезень між лівим та правим берегом м. Дніпра вже була відображена в Першому плані будівництва Дніпровського метрополітену, запропонованим проф. Михайлом Наумовичем Гольдштейном та доц. Володимиром Адріановичем Мізюмським (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Перший план будівництва Дніпровського метрополітену

Аналіз цього плану, навіть якщо не брати третю і четверту лінії, спорудження яких є наразі неактуальним по причині зменшених пасажиропотоків в промисловій зоні міста, гілка, що прямує на лівий берег, є перспективною. Проаналізуємо більш детально відрізок другої лінії (другої черги першої лінії) від станції «Театральна» до станції «Музейна» (стара назва

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– «Студентська») (рис. 1.2).



Рисунок 1.2. – Фрагмент першого плану будівництва
Дніпровського метрополітену

Станція «Проспект Карла Маркса» нині є станцією «Центральна», що запроєктована та будується турецькою компанією «ЛІМАК». Запланована на першому плані будівництва Дніпровського метрополітену станція, що пов'язана із нею, назви не має. В наданій магістерській роботі, присвяченій обґрунтуванню альтернативної лінії Дніпровського метрополітену, вона названа «Майдан», і блок-ділянка підводної частини пов'язує її із станцією мілкого закладення, що закладена на лівому березі і названа в магістерській роботі «Слобожанська». Станції «Майдан» і «Центральна» представляють собою пересадочний вузол.

Як відомо із посібників [19, 31, 36], можливі два варіанти об'ємно-планувального рішення пересадочного вузла:

– дві і більше станції, сполучені пересадочними комунікаціями (рис. 1.3);

– одна об'єднана пересадочна станція, у якій розташовані платформи всіх пересічних у вузлі ліній (рис. 1.4).

					011.150008.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

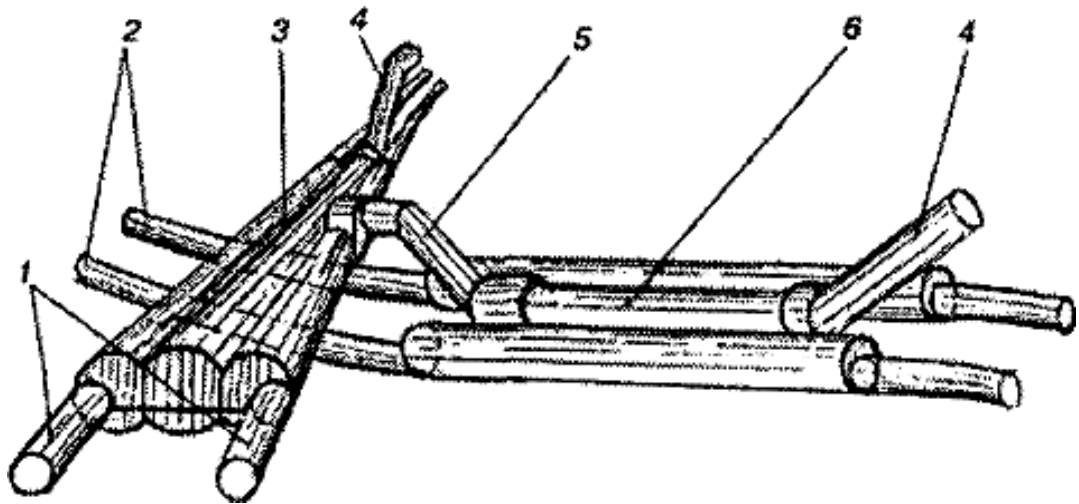


Рис. 1.3. Пересадочний вузол з двох станцій, об'єднаних пересадочними комунікаціями: 1 – перегінні тунелі першої лінії; 2 – перегінні тунелі другої лінії; 3 – станційні тунелі першої лінії; 4 – ескалаторний тунель головного підйому; 5 – ескалаторний тунель на пересадці; 6 – станційні тунелі другої лінії

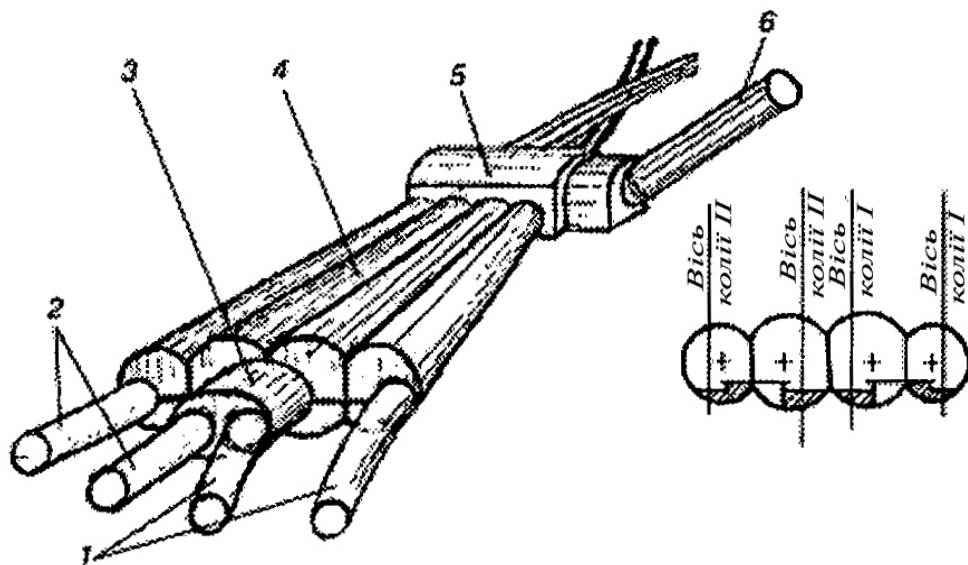


Рис. 1.4. Об'єднана пересадочна станція:
1 – колійні тунелі першої лінії; 2 – колійні тунелі другої лінії;
3 – ділянка двоколісного тунелю; 4 – тунелі об'єднаної станції;
5 – аванзал; 6 – ескалатор головного підйому

Особливості об'ємно-планувального рішення пересадочного вузла у вигляді декількох станцій, сполучених пересадочними комунікаціями, визначаються кількістю і взаємним розташуванням станцій, що входять у цей

					011.150008.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вузол, кількістю пересадочних комунікацій, їх довжиною і розміщенням щодо станцій, а пересадочного вузла у вигляді однієї об'єднаної пересадочної станції – кількістю і взаємним розташуванням платформ і колій пересічних ліній. Досвід Київського метрополітену із розвиненим центром, створеним із пересадочних вузлів, свідчить про те, що варіант пересадочного вузла з двох станцій, об'єднаних пересадочними комунікаціями, є більш вдалим, оскільки дозволяє перспективний розвиток лінії в майбутньому.

1.2 Аналіз сучасних станцій метрополітенів України

При будівництві ліній метрополітену в Україні та інших країнах близького та далекого зарубіжжя набули розповсюдження декілька типів станцій глибокого закладення [4, 5, 29, 31, 36]. Це станції односклепінчастого та трисклепінчастого типу [4-6, 31]. Трисклепінчасті станції підрозділяються на пілонні та колонні. На лініях метрополітенів України (у містах Київ, Харків, Дніпро) набули широкого розповсюдження станції глибокого закладення. Це зумовлено такими перевагами, як невтручання в наземну та мілкозакладену інфраструктуру міста (місцеві комунікації), але відмічено недоліками у вигляді зміщень та провалів земної поверхні, які викликані впливом підземних робіт [5, 31, 36].

Односклепінчасті станції глибокого закладення відрізняються простотою конструкції та відносною визначеністю статичної роботи. Конструкція станції являє собою склепіння, яке спирається на стіни чи опори [6, 20, 25]. Така конструкція дуже залежить від геологічних та гідрогеологічних умов закладення станції. Наявність склепіння з великими прогоном та висотою зумовлює будівництво станцій цього типу в міцних скельних породах (з коефіцієнтом міцності за Протод'яконовим $f=8...20$) [27].

Використання односклепінчастих станцій в таких інженерно-геологічних умовах найбільш раціональне та економічно доречне. Проте деякими дослідниками було доведено доцільність використання односклепінчастих станцій у нескельних зв'язних породах [28, 30].

					011.150008.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нижче наведена таблиця порівняння витрат матеріалів та праці на будівництво станцій трьох типів довжиною 156 м, які споруджуються у обводнених породах (таблиця 1.1) [31].

Таблиця 1.1

Витрати матеріалів та праці при будівництві
різних типів станцій метрополітену глибокого закладення [31]

Тип станції	Витрати праці, люд·год	Витрати металу, т	Об'єм ґрунту, м³	Об'єм бетону, м³		Проліт виробки, м	Висота виробки, м
				Монолітного	Збірного		
Пілонна	115100	7650	23900	3060	-	29,0	8,5
Колонна	107000	6500	23400	2670	-	20,3	10,0
Односклепінчаста з платформою:							
l=10 м;	76200	350	25600	2300	3680	19,6	11,0
l=8,5 м	66500	320	21800	1910	3060	17,8	10,2

Таке порівняння не дуже коректне, оскільки порівнюються станції різних типів з різними видами оправи (пілонний та колонний типи – зі збіркою чавунною, односклепінчастий тип – зі збіркою залізобетонною). Починаючи з 60-х років минулого століття і до сьогодення вже став реальністю масовий перехід від чавунної оправи до залізобетонної. Економію 6...7 тис. т чавуну при зміні пілонних та колонних станцій на односклепінчасту можна порівняти з економією 14 тис. т чавуну на кожний кілометр траси при переході від чавунної оправи до залізобетонної в 1960 р. на об'єктах Московського метрополітену (приблизно 7,7 тис. т економії чавуну при переході на залізобетонну оправу в пілонних станціях) [20, 29].

На будівництві ліній метрополітенів глибокого закладення в Україні

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

широке розповсюдження отримали станції колонного типу, причому відома значна кількість їх різновидів. На відміну від станцій перших черг будівництва, у нових станціях Київського метрополітену навантаження на колони передаються не через прогони, а через здвоєні клинчасті перемички, причому часто колони монтують із двох напівколон зі слабким зв'язком між ними. Ці станції відрізняються меншою трудомісткістю спорудження, оскільки колони монтують у призабійній зоні одночасно зі збіркою оправ бокових тунелів. Співробітниками ЦНДІСу було проведено дослідження статичної роботи такого типу станцій, причому найбільша увага приділялася дослідженням напруженого стану колон як найбільш відповідальних елементів несучої конструкції. Відомо також, що існує найбільш розповсюджений тип колонних станцій з прогонами, які зв'язують між собою систему колон – таке конструктивне рішення застосоване, наприклад, в станції «Вокзальна» Дніпропетровського метрополітену.

Досліди колонних станцій показали, що в окремих колонах напруження стиску перевищують допустимі напруження матеріалу, а у більшій частині колон з боку середніх тунелів виникають напруження розтягу, невластиві раціонально запроєктованим конструкціям подібного типу [32, 39]. Причиною такого стану є наявність великих ексцентриситетів прикладення рівнодіючої зусиль в колонах, а також при значних деформаціях оправ бокових тунелів зі зміщенням колон. Важливою умовою покращення роботи колон є центрування передавання навантаження в місцях спряження їх з п'ятковими тубінгами перемичок і недопущення зміщень колон [5, 11].

Навантаження на колонну станцію частіше усього по колонах розподіляється нерівномірно. Тому для запобігання виникнення великих ексцентриситетів запропоновано застосовувати колонну у вигляді двох напівколон. Це конструктивне рішення прогнозує можливість перерозподілу навантаження від кожної частини станції, тобто від бокового та середнього тунелю, на кожну з напівколон, що можливо зменшити ексцентриситет. Загальною особливістю статичної праці колон, виявлених в результаті

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проведених дослідів, є неоднорідність їх напруженого стану. Ця особливість визначалась великою нерівномірністю навантаження колон і значної різниці в величинах згинаючих моментів.

Станції пілонного типу нарівні зі станціями колонного типу набули найбільш широкого використання при спорудженні метрополітенів на території України та країн СНД. На відміну від односклепінчастих, станції пілонного типу використовуються в складних інженерно-геологічних та гідрогеологічних умовах. Завдяки простоті спорудження та надійності експлуатації вони є достатньо розповсюдженим типом станцій у вітчизняній та зарубіжній практиці підземного будівництва уже десятки років. У той же час це найменш досліджений вид будівельних конструкцій, що пов'язано з недостатнім науковим обґрунтуванням розрахунку такого типу станцій з урахуванням специфічних взаємодій оправи та масиву. Спорудження таких станцій доречно в неміцних нескельних породах (маловологі супіски, суглинки, глини) з коефіцієнтом міцності за Протод'яконовим $f < 1,5$ [3, 16, 27, 29].

Конструкція станції пілонного типу являє собою два бокових (дорожніх) тунелі та розміщений між ними середній (пасажирський). Усі три тунелі розташовуються на одному рівні. Склепіння бокових тунелів мають зі склепінням середнього тунелю загальні опори у вигляді окремих ціликів ґрунту або бетону – пілонів. Як і конструкції інших типів станцій, станція пілонного типу споруджується із збірного чавуну чи залізобетону. Найбільш доцільне та економічно доречне використання збірної залізобетонної оправи, яке дозволяє зекономити тільки по одній станції 7...7,7 тис. т чавуну [29, 31]. Використання залізобетонних збірних конструкцій також передбачає наявність невеликої кількості типорозмірів елементів оправи, відсутність конструкцій з підвищеною міцністю у місцях великих зосереджених навантажень. Досвід будівництва таких станцій у сухих або маловологих умовах у вигляді спондилових (інженерно-геологічні умови закладення ліній Київського метрополітену) і кембрійських глин показав доцільність та принципову можливість використання залізобетонної збірної оправи замість збірної чавунної у

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструкціях станцій пілонного типу [18, 19]. Існуючі на даний час методики проєктування, розрахунку та оптимізації конструктивних елементів трисклепінчастих станцій пілонного або колонного типу базуються на побудові плоских розрахункових схем конструкції та інтерпретації оточуючого масиву з деякими припущеннями, які спрощують його реальну поведінку. Даний підхід не дозволяє правильно визначити напружено-деформований стан цієї складної конструкції, оскільки відкидається такий важливий фактор, як просторовість роботи та перекручується реальна взаємодія між оправою станції та оточуючим масивом [23, 24]. У результаті конструкції пілонних станцій вважаються нераціональними та неекономічними.

Після проведення досліджень статичної роботи станцій при будівництві та експлуатації першої черги Київського метрополітену стало можливим удосконалення конструкцій пілонів. У сучасних станціях геометричні розміри ціликів у плані зменшені удвічі й стали дорівнювати трьом кільцям тубінгової оправи (довжина пілона зменшилася з 4,5 до 2,25 м). Стало можливим використання пілона із монолітного чи збірного залізобетону [26, 27, 31]. Наявність такого пілона в порівнянні з ґрунтовим значно покращує статичну роботу станції.

Станція колонного типу, на відміну від пілонної, має більші експлуатаційні та архітектурні достоїнства. Споруджуються такі станції в хороших геологічних умовах: від твердих сухих глин до скельних порід (коефіцієнт міцності за Протод'яконовим $1,5 < f < 6$) [20, 31]. Конструктивною відмінністю колонної станції від пілонної є наявність колон замість пілонів. Як конструкції, які найчастіше використовуються у будівництві метрополітенів, колонні станції пройшли ряд конструктивних змін. Як і у випадку пілонних станцій, на певному етапі розвитку конструкції, а точніше після використання шарнірного спирання склепінь на колони і відповідно покращання статичної роботи конструкції в цілому, став можливим перехід від чавунної оправи до залізобетонної. Відмова від чавунної оправи бокових тунелів та середнього склепіння та заміна її на залізобетонну дає економію чавуну до 7...8 тис. т на

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

одну станцію [31]. Подальша модернізація конструкції привела до створення нових колонних станцій, у яких кількість типорозмірів конструктивних елементів була значно зменшена. Таке зменшення було досягнуто за рахунок виключення з конструкції колони башмаків та опорних балок. Прогони були замінені типовими чавунними перемичками.

Як видно з вищенаведеного, основною тенденцією у будівництві сучасних станцій метрополітену глибокого закладення є перехід від збірної чавунної оправи до збірної залізобетонної. Доцільність такого переходу доведена багатьма авторами [11, 16, 31], а економічна вигідність – ефектами від економії матеріалів після масового впровадження збірного залізобетону на об'єктах метрополітену великих міст, у тому числі і м. Києва [1, 16]. Порівняльна характеристика станцій пілонного типу з різними видами оправи наведена у таблиці 1.2 [31].

Таблиця 1.2

Порівняння показників у станціях пілонного типу [31]

Найменування показників	Од. виміру	Вид оправи		
		З чавунною оправою	З залізо-бетонними блоками	З чавунно-бетонними блоками
Площа платформи	м ²	1725	1880	1880
Об'єм ґрунту	м ³	23800	21300	21300
Витрати матеріалів:				
– чавуну	м ³	7254	110	2650
– збірного залізо-бетону	м ³	488	2430	3100
– монолітного залізобетону	м ³	495	1500	1475
– бетону	м ³	2800	750	730

1.3 Аналіз інженерно-геологічних умов закладення станції

Ділянка в геоморфологічному відношенні приурочена до першої пізньочверткової правобережної тераси р. Дніпро. Рельєф рівний, з незначним ухилом у північному напрямі в бік р. Дніпро. Абсолютні позначки поверхні коливаються від 61,06 м до 57,02 м. Із неблагоприємних фізико-механічних процесів і явищ на ділянці станції альтернативної лінії «Майдан», що проєктується, спостерігається підтоплення території.

Геологічна будова ділянки представлена комплексом осадових чверткових відкладень, що залягають на архей-протезойському фундаменті.

Сучасні відкладення представлені насипними ґрунтами (шар 1) – асфальтовим покриттям з дресвяно-щебенистою підсіпкою, пісками, суглинками з включеннями будівельного мусору до 10...30 % потужністю 1,4...4,8 м.

Комплекс алювіально-делювіальних верхньочверткових відкладень розповсюджен повсемірно, загальною потужністю від 4,0 м до 11,5 м. Літологічно представлений суглинками і супісками з тонкими прошарками пілуватих пісків (шар 4, 2в) та дрібними кварцевими пісками (шар 5).

Флювіогляціальні середньочверткові відкладення представлені неоднорідною гравелістою товщею – галькою, дресвою, щебенем з піщаним заповнювачем – змістом 30...50 % (шар 15а), потужністю 1,2...5,6 м.

Чверткові утворення залягають на протезой-мезозойській корі вивітрювання магматичних порід, представлені дисперсною (шар 21) і уламковою (шар 22) зонами.

Шар 21 – каоліни первинні. Представлені суглинками голубо вато-сірими з включеннями зерен кварцу, дресви та щебеня материнської породи змістом 10...30 %. Вскриті у східній частині станції на глибині 14,3...20,5 м, потужністю 3,2...14,7 м.

Шар 22 – дресвяно-щебенисті ґрунти з пісчано-глинястим заповнювачем змістом 30...40 %.. Залягають локально в центральній і західній частинах станції і вестибюля на глибині 6,3...15,4 м, потужністю 2,7...8,5 м.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шар 23 – глибовий елювій скельних порід з пісчаним і дресвяно-щебенистим заповнювачем змістом 10...30 %.. Вскрит в районі вестибюля на глибині 8,6...9,0 м, потужністю 3,5...5,5 м.

Фундаментом для більш молодших порід служать архей-протезойські породи (шар 24). Представлен плагіогранітами сірими, темно-сірими, дрібно-середньозернистими. Максимально вскрита потужність скельних порід складає 37...40 м.

Скельний масив порушений тектонічними зонами різноманітного характеру, напрямку і потужності. На ділянці станції, що проєктується, встановлена наявність зон наступних типів: 1) дроблення і каолінізації (сильно-вивітрєні ґрунти розвинуті по крупним зонам, що містять 40...60 % каоліну); 2) дроблення і мілонітизації (менш вивітрєні ґрунти розвинуті по дрібним зонам); 3) інтенсивної тріщинуватості, що супроводжує зони перших двох груп.

Гідрогеологічні умови ділянки характеризуються наявністю одного водоносного комплексу. Водовміщуюча товща літологічно неоднорідна у розрізі і плані. Представлена супесями (шар 4а), суглинками (шар 4), пісками (шар 5), гравелистою товщою (шар 15), елювієм (шар 21-23) і тріщинуватою зоною гранітів (шар 24), прийнятою до глибини 50 м, нижче якої залягають монолітні граніти які являються регіональним водоупором.

Водоносний комплекс являється безнапірним, постійно існуючим. Рівень підземних вод залягає на глибині 1,6...2,4 м. Занурення станції під статичний рівень складає 43,0...44,0 м. Водне середовище неагресивне по всіх видах корозії до бетонів марок W4, W6, W8.

Скельні ґрунти представлені, переважно, сильно-тріщинуватими плагіогранітами слабкої стійкості при проходці. Межа міцності на одноосний стиск у водонасиченому стані складає 5,9 МПа. Коефіцієнт міцності масиву дорівнює 0,2...0,3 МПа і на незначних ділянках середньо- і слаботріщинуватих ґрунті підвищується до 0,7 МПа.

На ділянках розвитку послаблених зон, при проходці тунелів рекомендується вести випереджаюче буріння горизонтальних розвідочних

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

свердловин для виявлення істинної потужності зон і розділяючих їх блоків скельних ґрунтів.

Користуючись ДБН В.2.3-7-2010: «Величини навантажень від гірського тиску необхідно визначати розрахунком на основі результатів інженерно-геологічних вишукувань, аналітичних та експериментальних досліджень, а також досвіду будівництва в аналогічних інженерно-геологічних умовах. У випадку, коли в ґрунтовому масиві можливий розвиток неблагоприємних для оправи процесів (пучіння, повзучість ґрунтів, проявлення тектонічної напруженості, карстово-суффозійні явища), або очікується значна зміна властивостей та стану грантів в результаті застосування спеціальних способів виконання робіт, величини навантажень слід встановлювати на основі спеціальних досліджень та вимірів». Оскільки дані експериментальних досліджень характеризуючих гірський тиск на оправу відсутні і наданий нормативний документ не надає методики розрахунку гірського тиску, то використовуємо СНиП-II-40-80 п. 5.37: «При відсутності вказаних досліджень величини нормативних вертикальних навантажень від гірського тиску і коефіцієнти перевантаження для скельних і напівскельних ґрунтів допускається приймати з урахуванням сводоутворення у відповідності з вимогами глави СНиП по проєктуванню тунелів залізничних та автомобільних» (СНиП II-44-78).

Приймаємо до розрахунку більш спрощений інженерно-геологічний розріз, який наведено на рис. 1.4, із наступними породами, які його складають:

1. Граніт тріщинуватий – 12,15 м, $\gamma = 18 \text{ кН/м}^2$;
2. Щебенево-брилові ґрунти с піщано-глинистим заповненням – 4,78 м, $\gamma = 18 \text{ кН/м}^2$;
3. Деревно-щебенисті ґрунти с піщано-глинистим заповненням – 3,31 м, $\gamma = 18 \text{ кН/м}^2$;
4. Суглинок твердий сірий – 5,39 м, $\gamma = 19 \text{ кН/м}^2$;
5. Глина зеленувата сіра напівтверда – 6,79 м, $\gamma = 20 \text{ кН/м}^2$;
6. Пісок водонасичений з глиною – 5,19 м, $\gamma = 19 \text{ кН/м}^2$;

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Пісок кварцовий з лінзами – 1,57 м, $\gamma = 19 \text{ кН/м}^2$.

Об'єм всього вищележачого ґрунту дорівнює сумі всім шарів ґрунту (рис. 1.5):

$$\gamma H = 12,15 \cdot 18 + 4,78 \cdot 18 + 3,31 \cdot 18 + 5,39 \cdot 19 + 6,79 \cdot 20 + 5,19 \cdot 19 + 1,57 \cdot 19 = 730,97 \text{ кН/м}^2$$

Площа поперечного перерізу моделі складає $a = 15,46 \text{ м}$ та $b = 1,05 \text{ м}$.

Тобто площа становить $S = a \cdot b = 15,46 \cdot 1,05 = 16,223 \text{ м}^2$.

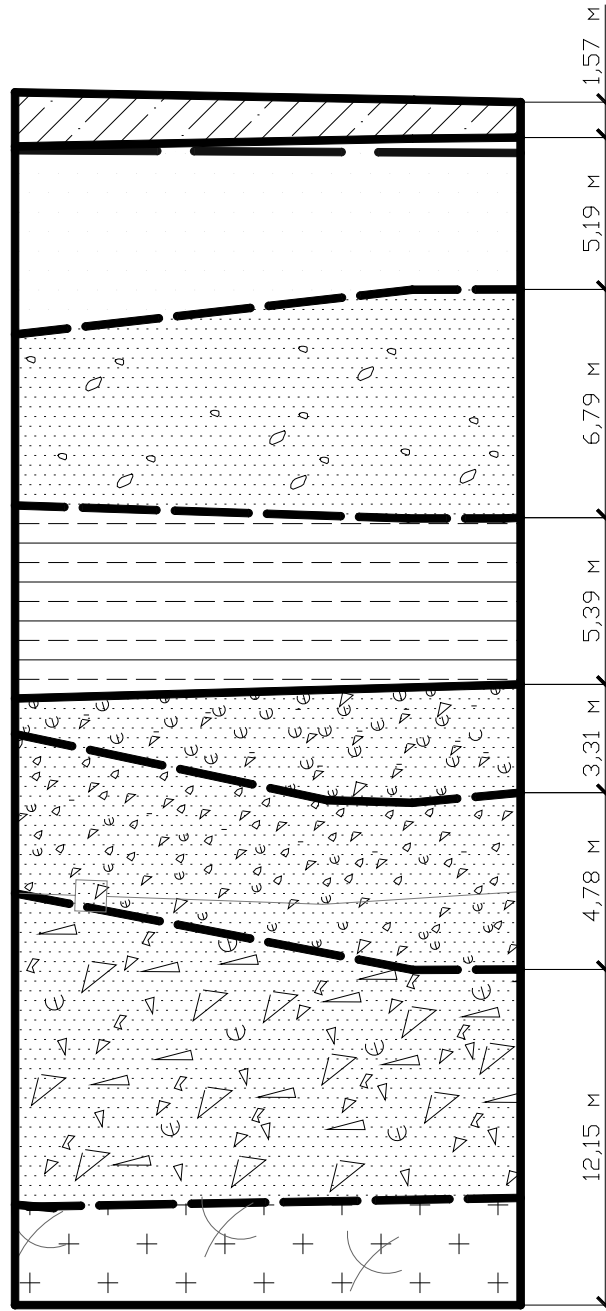


Рисунок 1.5 – Схема породного масиву для розрахунку власної ваги

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обчислимо об'єм всього ґрунту, який залягає над поверхнею оправи станції, а саме [1, 2, 10]:

$$V = S \cdot \gamma H = 16,233 \cdot 730,97 = 11865,8 \text{ м}^3$$

Для знаходження навантаження, яке буде діяти у кожному вузлі побудованої моделі, знайдемо кількість вузлів та розділимо об'єм всього вище лежачого ґрунту на кількість цих вузлів:

$$P = \frac{V}{N} = \frac{11865,8}{160 \cdot 6} = 12,4 \text{ кН}$$

де N – кількість вузлів (160 по осі «х» та 6 по осі «у»).

Важливо в розрахунку врахувати особливості матеріалу оправи. Оскільки деформаційні характеристики залізобетону складаються із значень деформаційних характеристик бетону і арматури, тому запропоновано враховувати їх анізотропію за приведеними характеристиками [34]:

$$E_x = E_a \cdot [1 + (n - 1) \cdot \alpha], \quad (1.1)$$

$$\mu_x = \frac{A_a}{A_a} \cdot \left[\mu_a + \frac{(\mu_a - \mu_a/n) \cdot \alpha}{1 - (1 - 1/n) \cdot \sqrt{\alpha}} \right], \quad (1.2)$$

де E_x , μ_x – модуль пружності та коефіцієнт Пуассона в площині ХУ, які вишуковуються; E_a , μ_a – модуль пружності та коефіцієнт Пуассона для бетону; E_a , μ_a – те ж саме для арматури; $n = \frac{E_a}{E_a}$; $\alpha = \frac{F_a}{F_a}$; F_a , F_a – площі поперечного перерізу арматури і бетону відповідно.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2

Чисельний аналіз станції «Майдан» (альтернативна лінія) в пілонному та колонному варіантах

2.1 Чисельний аналіз станції в пілонному варіанті

Розрахунок об'єктів зі складною геометрією, до яких відноситься і трьохсклепінчаста станція пілонного типу, вирішуються чисельними методами, до яких відноситься метод скінчених елементів [7, 9, 12, 15, 17, 21, 22]. Побудова моделі містить у собі ідеалізацію властивостей конструкції й зовнішніх впливів [8, 38]. При математичному описі поводження моделі часто доводиться вводити припущення, що спрощують, про характер окремих властивостей моделі і її матеріалу. Цим пояснюється, зокрема, існування для одного й того ж фізичного об'єкта декількох різних математичних моделей.

Коротко викладемо сутність МКЕ до основні етапи його практичної реалізації [9, 15, 17]. Основна ідея методу скінчених елементів полягає в тому, що будь-яку безперервну величину можна апроксимувати моделлю, що складається з окремих елементів (ділянок). На кожному із цих елементів досліджувана безперервна величина апроксимується кусочно-безперервною функцією, що будується на значеннях досліджуваної безперервної величини в кінцевому числі точок розглянутого елемента [9, 17].

У загальному випадку безперервна величина заздалегідь невідома, і потрібно визначити: значення цієї величини в деяких внутрішніх точках області. Дискретну модель, однак, дуже легко побудувати, якщо спочатку припустити, що відомо числові значення цієї величини в деяких внутрішніх точках області (надалі ці точки називаються «вузлами»). У суцільному середовищі число точок зв'язку нескінченно, і саме це становить основні труднощі одержання чисельних рішень у теорії пружності. Тому суцільне тіло розбивається на окремі елементи, взаємодіючі між собою тільки у вузлових точках, у яких уводяться фіктивні сили, еквівалентні поверхневим напруженням, розподіленим по границях елементів. Якщо така ідеалізація припустима, то

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завдання зводиться до звичайного завдання будівельної механіки, що може бути вирішена чисельно.

Правило знаків для переміщень і напружень. Правило знаків для переміщень прийнято таким чином, що лінійні переміщення додатні, якщо вони направлені в сторону зростання відповідної координати, а кути повороту додатні, якщо вони відповідають правилу правого гвинта.

Компоненти об'ємного напруження визначаються для елементарного паралелепіпеда, який виділений навколо точки визначення напружень, визначаються нормативні напруження N_X , N_Y , N_Z та дотичні напруження T_{xy} , T_{xz} , T_{yz} , T_{yx} , T_{zx} , T_{zy} . Якщо враховувати закон парності дотичних напружень ($T_{xy}=T_{yx}$, $T_{xz}=T_{zx}$, $T_{yz}=T_{zy}$), виводяться лише значення трьох із них: T_{xy} , T_{xz} , T_{yz} .

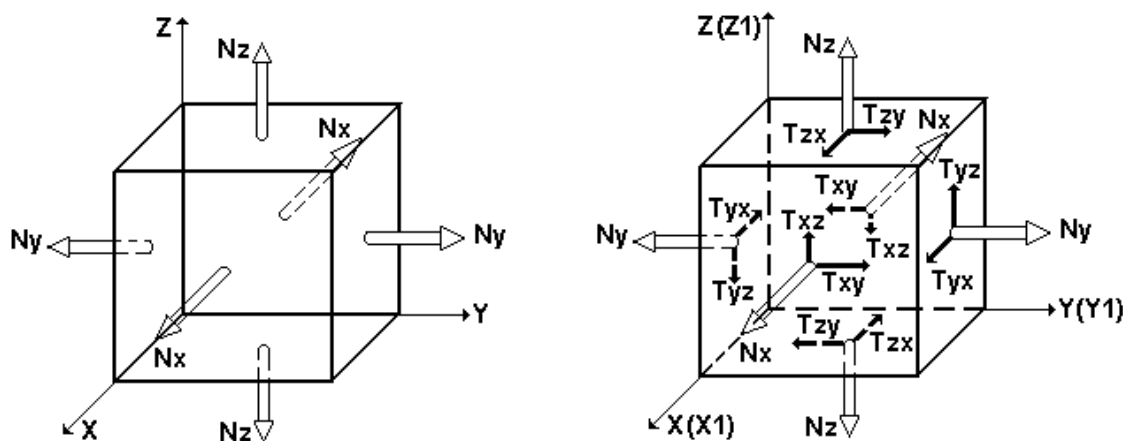


Рисунок 2.1 – Напрямок додатних значень напружень

На рис. 2.1 показані додатні значення напрямків напружень і дані найменування глобальних осей, вздовж яких вони направлені, а також площестей, в котрих вони діють.

Наданий розрахунок проводиться для того, щоб визначити напружено-деформований стан (НДС) станційної конструкції та її міцність [14, 35, 37], для цього була розроблена просторова модель підземної споруди із взаємодією оточуючого масиву (рис. 2.2). В подальшій магістерській роботі на основі наданої моделі проводилася модернізація її деформаційних властивостей для дослідження змін НДС.

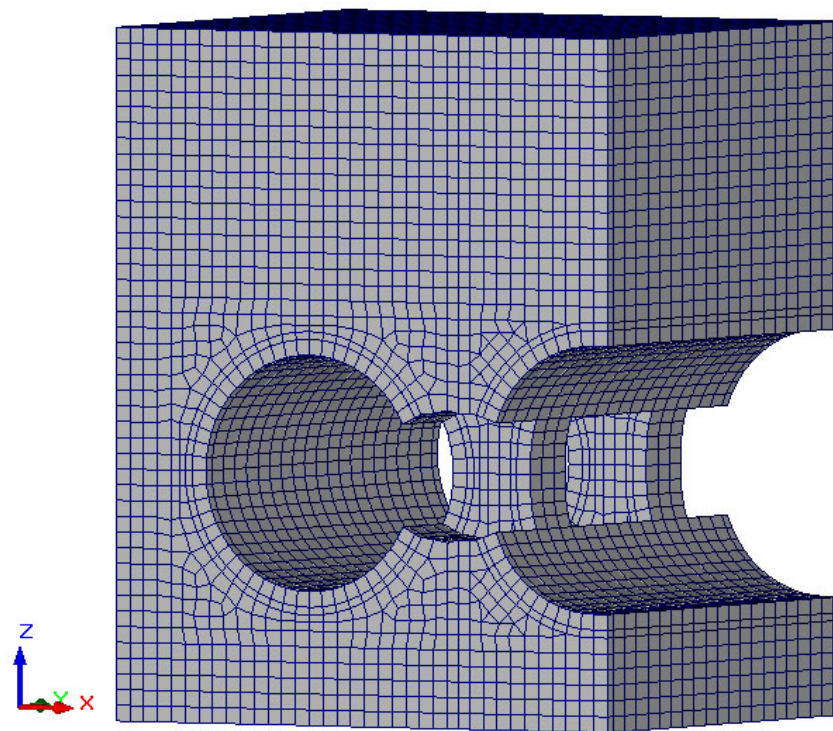


Рисунок 2.2 – Скінченно-елементна модель станції пілонного варіанту

Модель основана на об'ємних скінченних елементах типу гексаедрів та тетраедрів (16746 вузлів, 13542 скінченні елементи), і повно відображає взаємну роботу оправи із оточуючим масивом (рис. 2.3, 2.4).

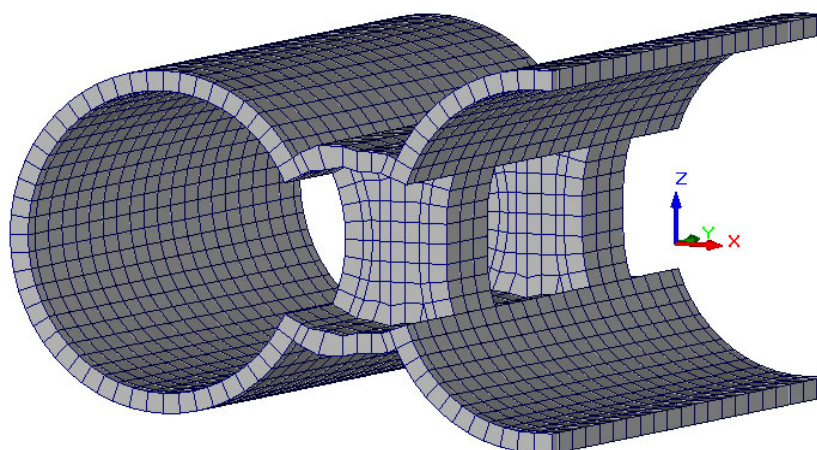


Рисунок 2.3 – Фрагмент скінченно-елементної схеми (оправа станції)

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

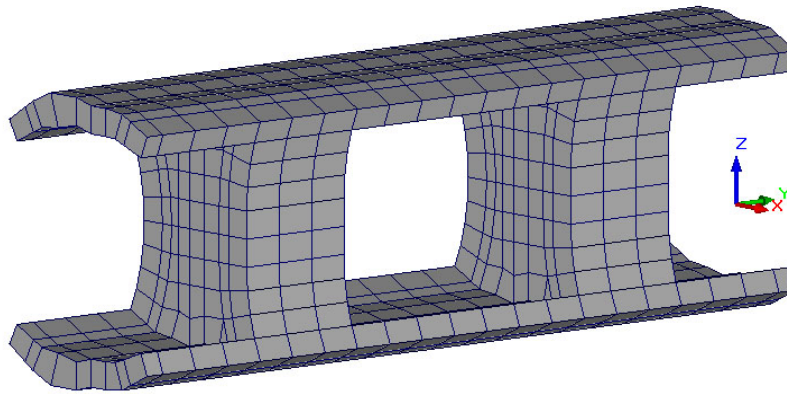


Рисунок 2.4 – Фрагмент скінченно-елементної схеми (система проходу та пілонів)

Програма дослідження складалася із наступних чисельних розрахунків: 1) розрахунок № 1 – із залізобетонною оправою; 2) розрахунок № 2 – із чавунною оправою.

Після створення просторової моделі їй надавалися деформаційні характеристики (модуль пружності-деформації, коефіцієнт Пуассона), причому для ґрунтів, оправи та шару первинного нагнітання вони задавалися окремо. Деформаційні характеристики скінченно-елементної моделі розрахунку № 1 наступні: Жорсткість 1 (граніт тріщинуватий) – модуль пружності $E=30\,000$ МПа, коефіцієнт Пуасона $\mu=0,2$, питома вага $\gamma=18$ кН/м³; Жорсткість 2 (цементно-ґрунтовий матеріал) – усереднена товщина 0,2 м, модуль пружності – 20 000 МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu=0,2$, питома вага $\gamma=22$ кН/м³; Жорсткість 3 (залізобетон) – приведений модуль пружності $E=35\,100$ МПа, приведений коефіцієнт Пуасона $\mu=0,02$, питома вага $\gamma=25$ кН/м³.

Деформаційні характеристики скінченно-елементної моделі розрахунку № 2 змінюються: Жорсткість 3 (чавун) – модуль пружності $E=100\,000$ МПа, приведений коефіцієнт Пуасона $\mu=0,02$, питома вага $\gamma=25$ кН/м³.

Після надання деформаційних характеристик на модель накладалися граничні умови: 1) по нижній границі моделі – заборона по осях X; Y; Z; 2) по боках моделі (вздовж боків, які паралельні осі тунелю) – заборона по осях X та Y. Після цього виконувався розрахунок на власну вагу моделі і його результати

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

піддавалися ґрунтовному аналізу (рис. 2.5-2.14).

Протоколи мовою оригіналу наведені нижче.

П Р О Т О К О Л В Ы П О Л Н Е Н И Я Р А С Ч Е Т А

Mon Nov 6 09:20:52 2020

Полный расчет.

файл - "C:\SDATA\ДИПЛОМЫ\Миша_Гузиенко\Модель (пилон) (жб) .SPR",
шифр - "Пилон_Миша".

09:20:52

Свободная память 402247680 байт.

09:20:52

Ввод исходных данных основной схемы

09:21:34

Подготовка данных многофронтального метода

09:24:07

Информация о расчетной схеме:

- шифр схемы	Пилон_Миша
- порядок системы уравнений	183478
- ширина ленты	13534
- количество элементов	28032
- количество узлов	31854
- количество загрузений	3
- 'H'-элемент	15605
- плотность матрицы	100%
- количество суперузлов	0

09:24:07

Необходимая для выполнения расчета дисковая память:

матрица жесткости основной схемы -	634141 Kb
динамика	0 Kb
перемещения	4403 Kb
усилия	2018 Kb
рабочие файлы	17072 Kb

всего	657.634 Mb

09:24:07

На диске свободно 6103.062 Mb

09:24:07

Разложение матрицы жесткости многофронтальным методом.

10:43:34

Накопление нагрузок основной схемы.

Суммарные внешние нагрузки на основную схему

	X	Y	Z	UX	UY	UZ
1-	0	0	94712.3	0	0	0
2-	0	0	312422	0	0	0
3-	0	0	309690	0	0	0

10:45:12

ВНИМАНИЕ: Дана сумма всех внешних нагрузок на основную схему

10:45:13

Вычисление перемещений в основной схеме.

10:45:59

Работа внешних сил

1 -	11.5797
2 -	242.635
3 -	238.405

10:46:41

Контроль решения для основной схемы.

10:46:56

Вычисление усилий в основной схеме.

10:47:22

З А Д А Н И Е В Ы П О Л Н Е Н О

					011.150008.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПРОТОКОЛ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТА

Mon Nov 7 10:20:02 2020

Полный расчет.

файл - "C:\SDATA\ДИПЛОМЫ\Миша_Гузиенко\Модель (пилон) (жб).SPR",

шифр - "Пилон_Миша".

10:20:02

Свободная память 402247680 байт.

10:20:02

Ввод исходных данных основной схемы

10:20:09

Подготовка данных многофронтального метода

10:21:02

Информация о расчетной схеме:

- шифр схемы	Пилон_Миша
- порядок системы уравнений	183508
- ширина ленты	13534
- количество элементов	28032
- количество узлов	31854
- количество загрузений	1
- 'H'-элемент	15605
- плотность матрицы	100%
- количество суперузлов	0

10:21:02

Необходимая для выполнения расчета дисковая память:

матрица жесткости основной схемы -	634438 Kb
динамика	0 Kb
перемещения	1468 Kb
усилия	672 Kb
рабочие файлы	16849 Kb

всего	653.427 Mb

10:21:02

На диске свободно 7521.031 Mb

10:21:02

Разложение матрицы жесткости многофронтальным методом.

11:06:50

Накопление нагрузок основной схемы.

Суммарные внешние нагрузки на основную схему

	X	Y	Z	UX	UY	UZ
1-	0	0	106885	0	0	0
2-	0	0	324594	0	0	0

11:06:50

ВНИМАНИЕ: Дана сумма всех внешних нагрузок на основную схему

11:07:22

Вычисление перемещений в основной схеме.

11:07:55

Работа внешних сил

1 -	10.9114
2 -	198.707

11:08:09

Контроль решения для основной схемы.

11:08:24

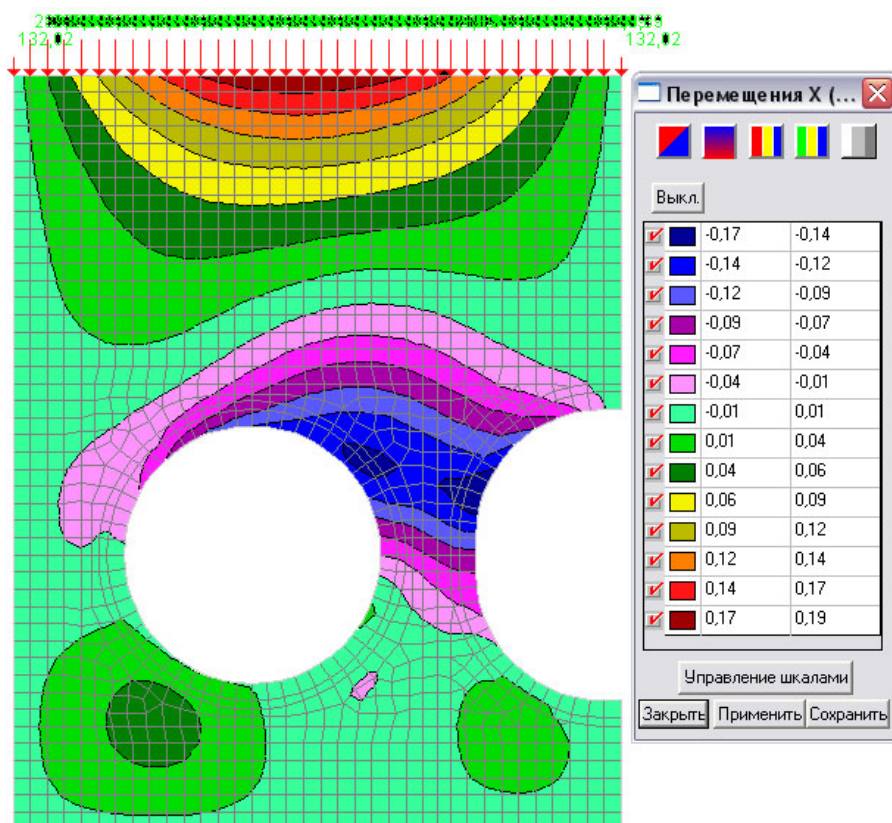
Вычисление усилий в основной схеме.

11:08:36

ЗАДАНИЕ ВЫПОЛНЕНО

					011.150008.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а)



б)

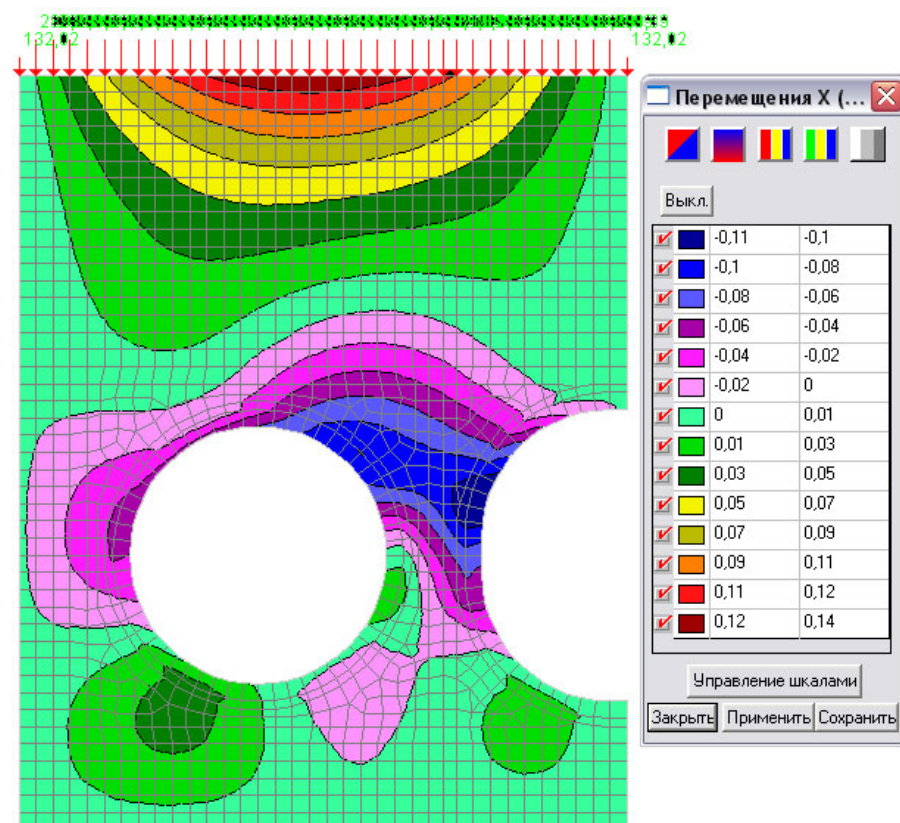
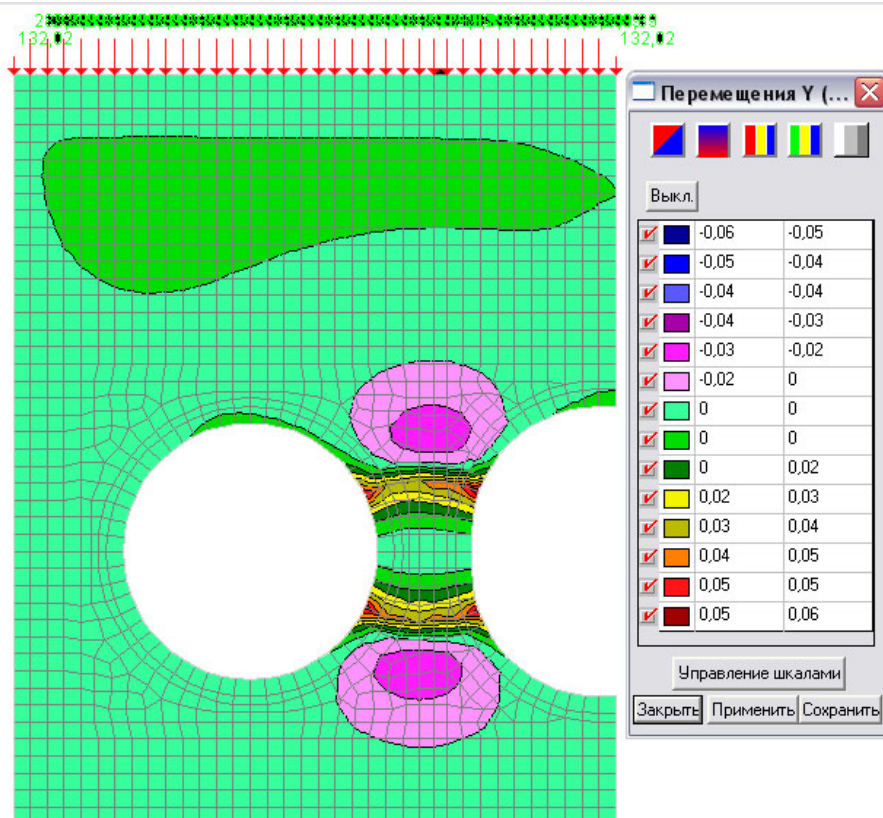


Рисунок 2.5 – Ізолінії та ізополя переміщень по осі X (горизонтальна) в пілонній частині: а) залізобетонна оправа; б) чавунна оправа

а)



б)

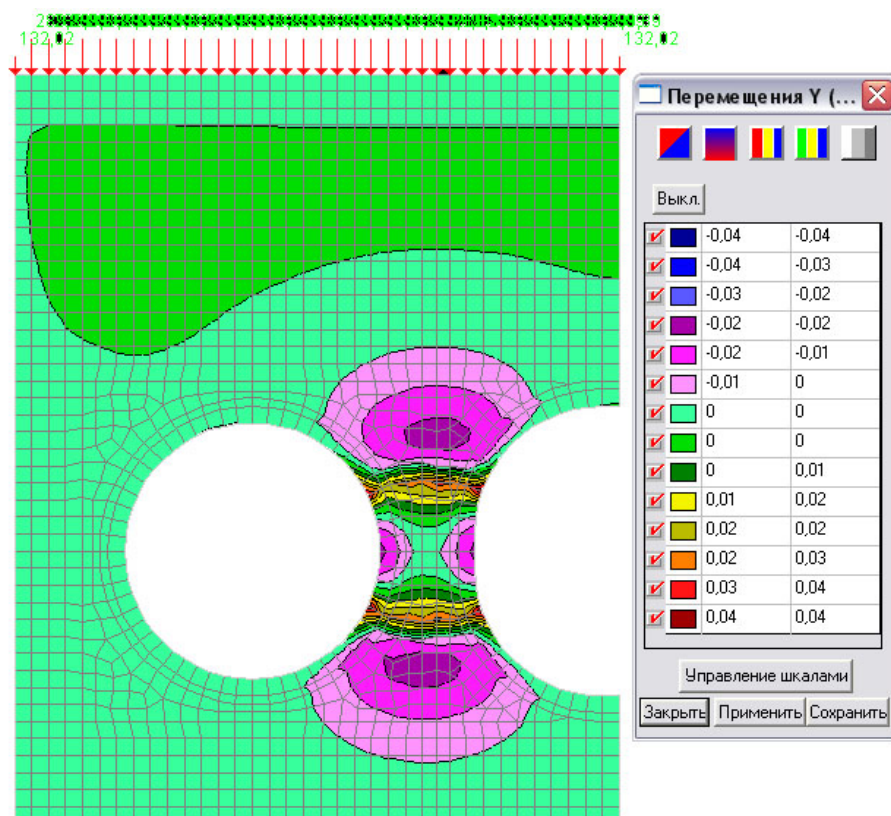
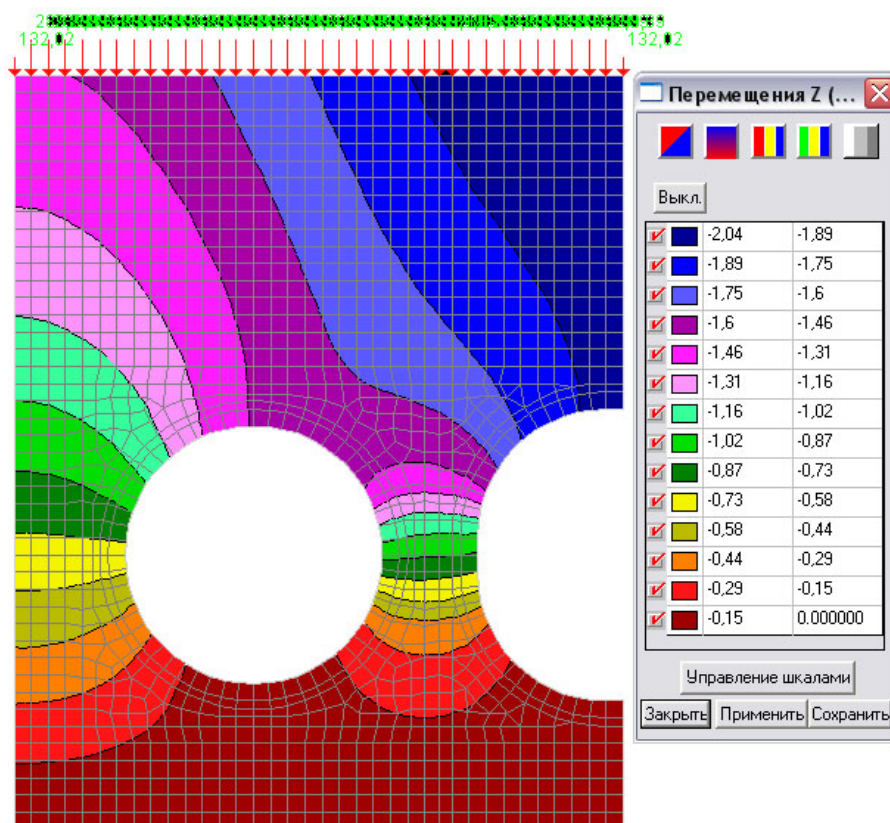


Рисунок 2.6 – Ізолінії та ізополя переміщень по осі Y (по осі станції) в пілонній частині: а) залізобетонна оправа; б) чавунна оправа

а)



б)

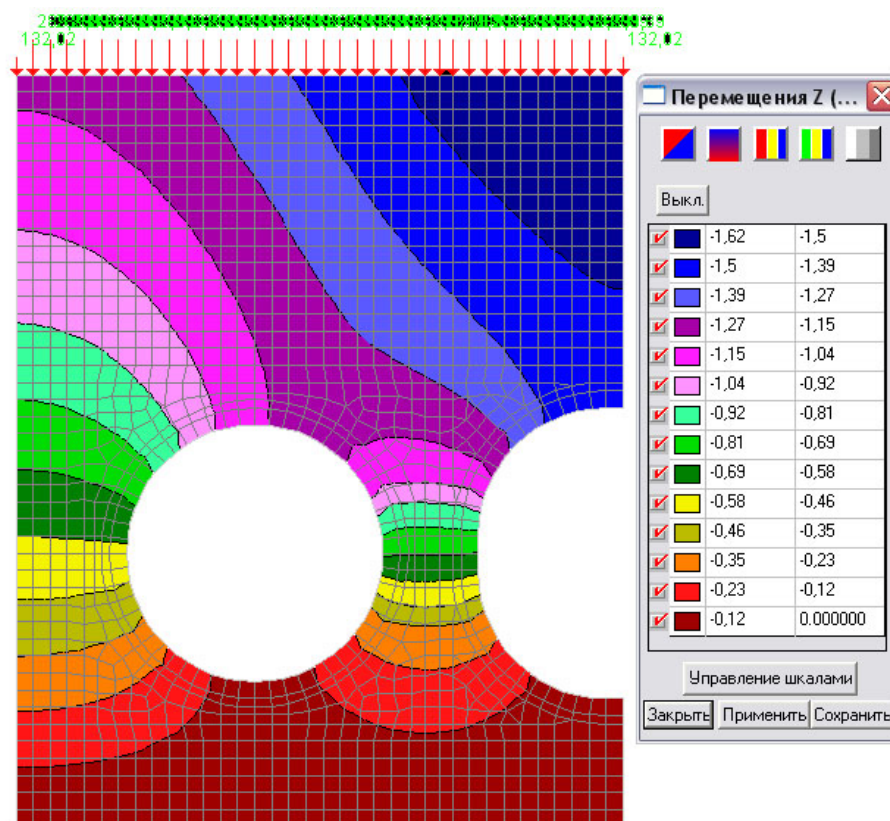


Рисунок 2.7 – Ізолінії та ізополя переміщень по осі Z (вертикальна) в пілонній частині: а) залізобетонна оправа; б) чавунна оправа

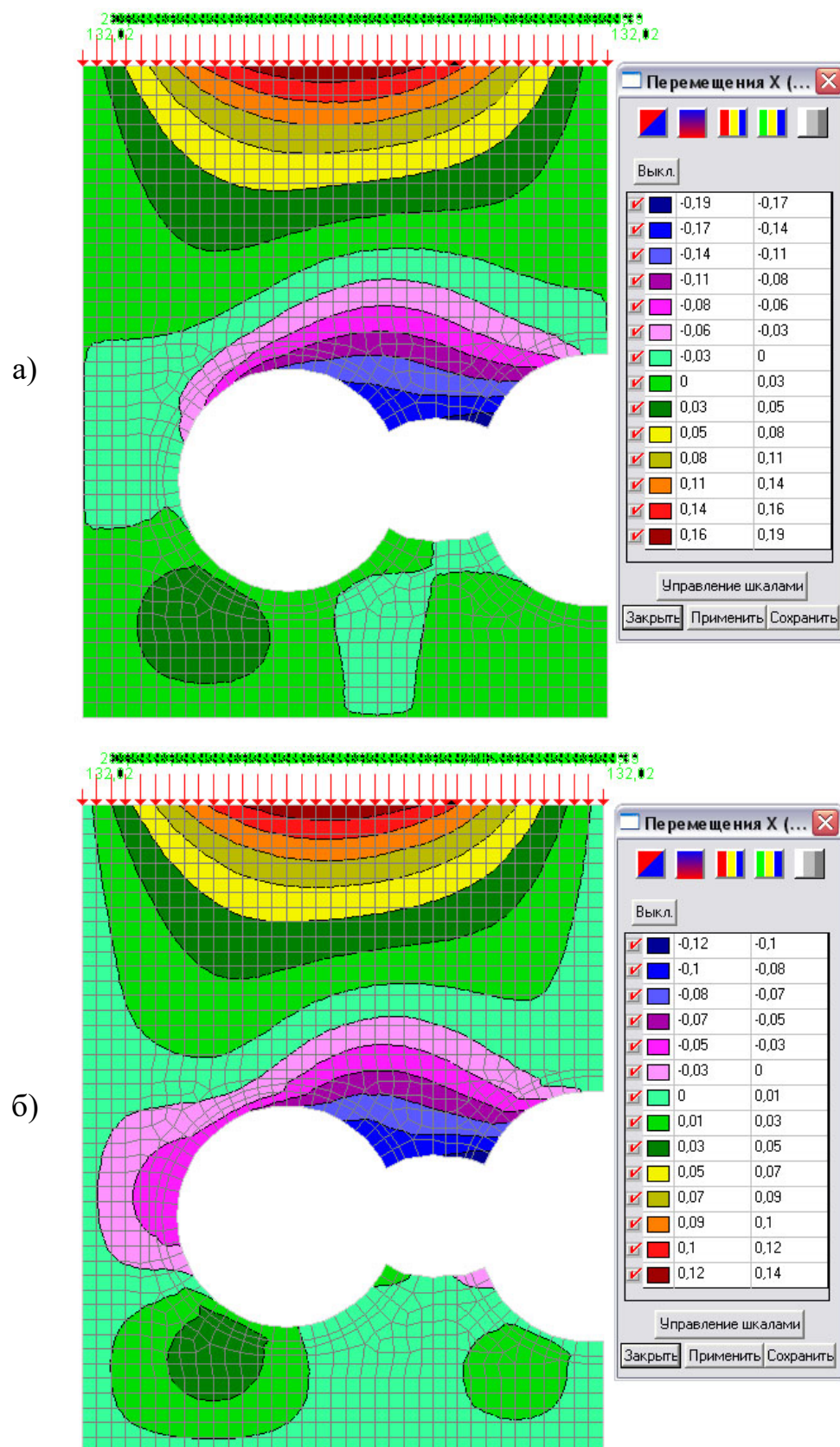
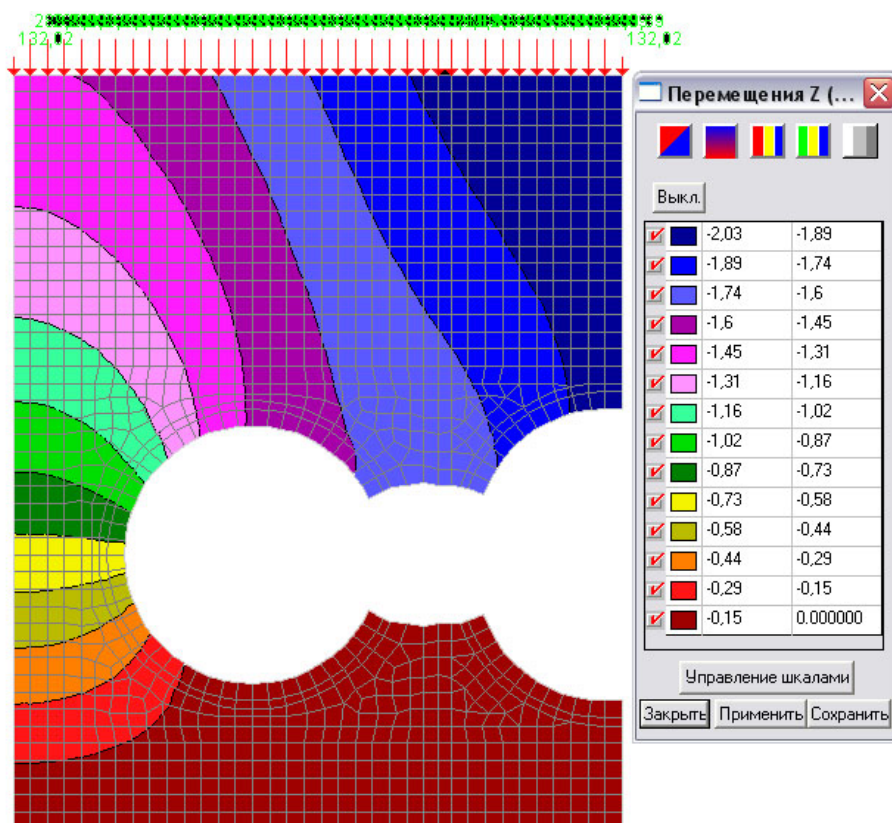


Рисунок 2.8 – Ізолінії та ізополя переміщень по осі X (горизонтальна) в проїємній частині: а) залізобетонна оправа; б) чавунна оправа

а)



б)

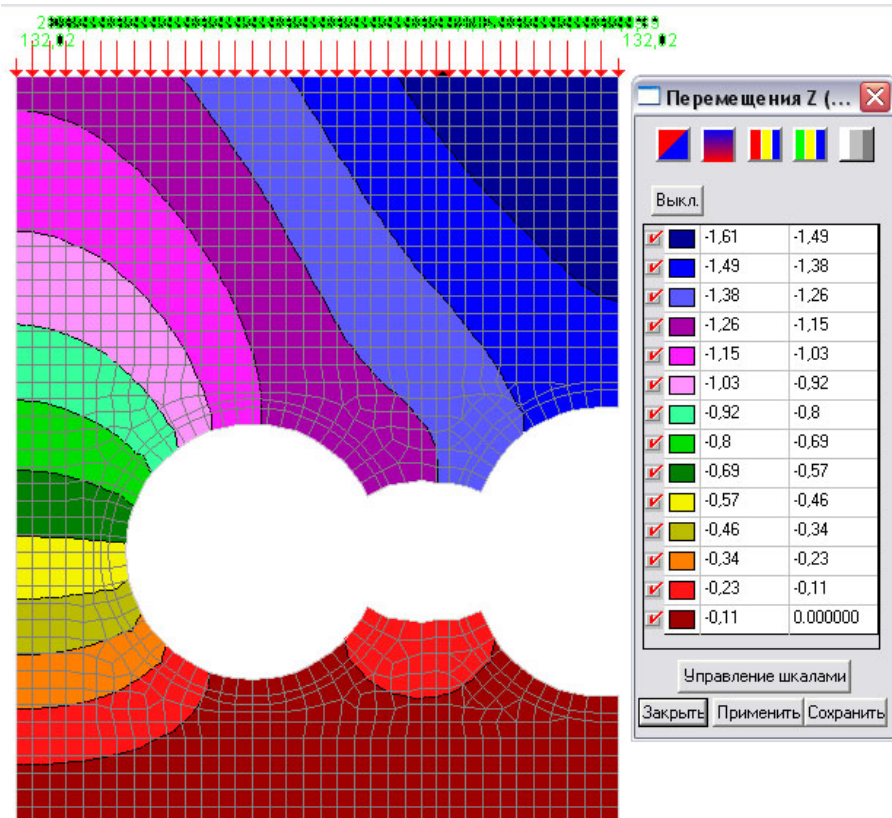
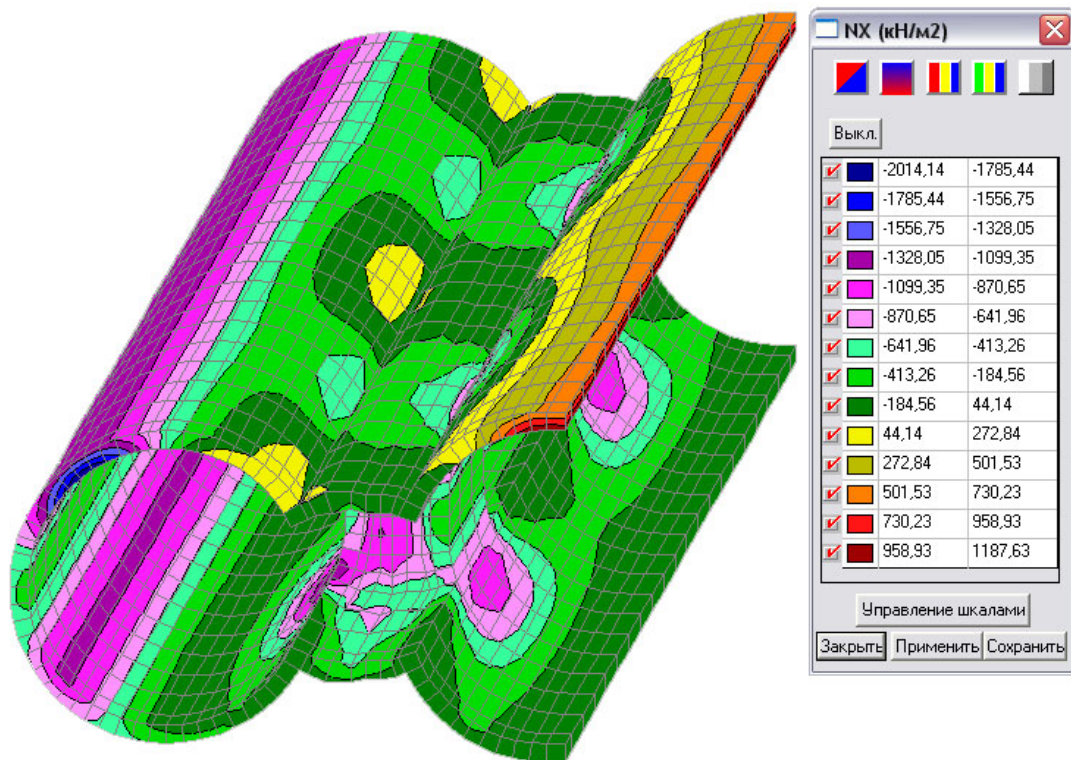


Рисунок 2.9 – Ізолінії та ізополя переміщень по осі Z (вертикальна) в пройомній частині: а) залізобетонна оправа; б) чавунна оправа

а)



б)

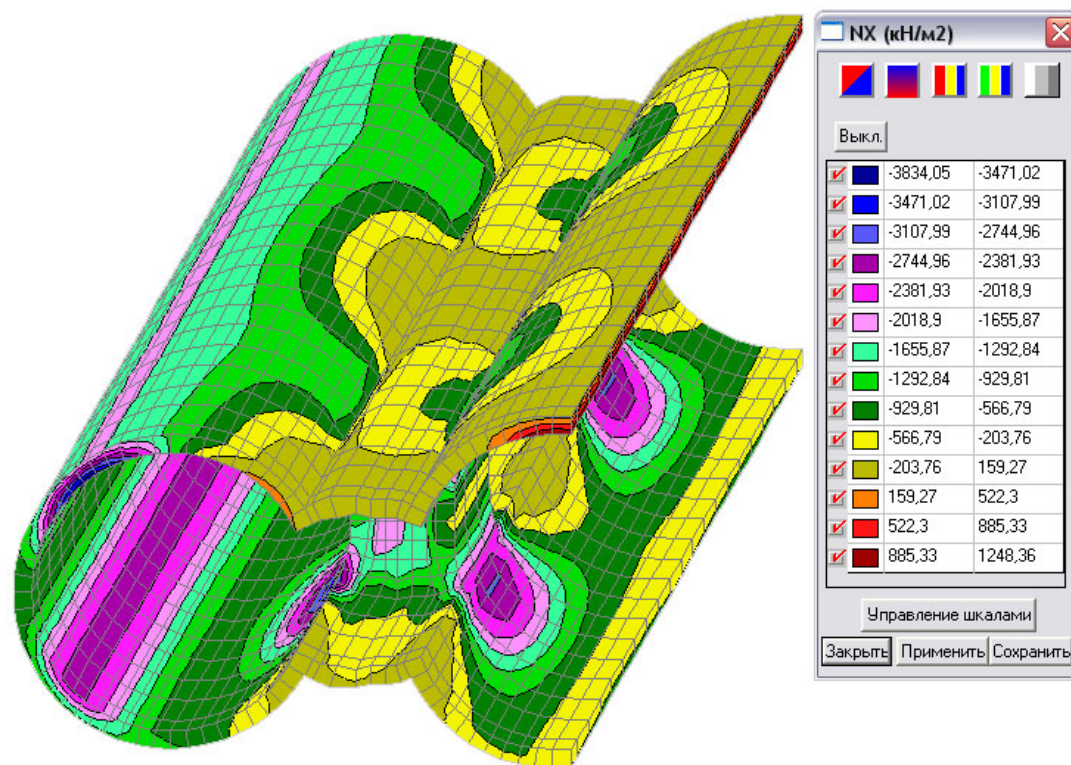


Рисунок 2.10 – Ізолінії та ізополю нормальних напружень по осі Х
(горизонтальна) в конструкції станції:

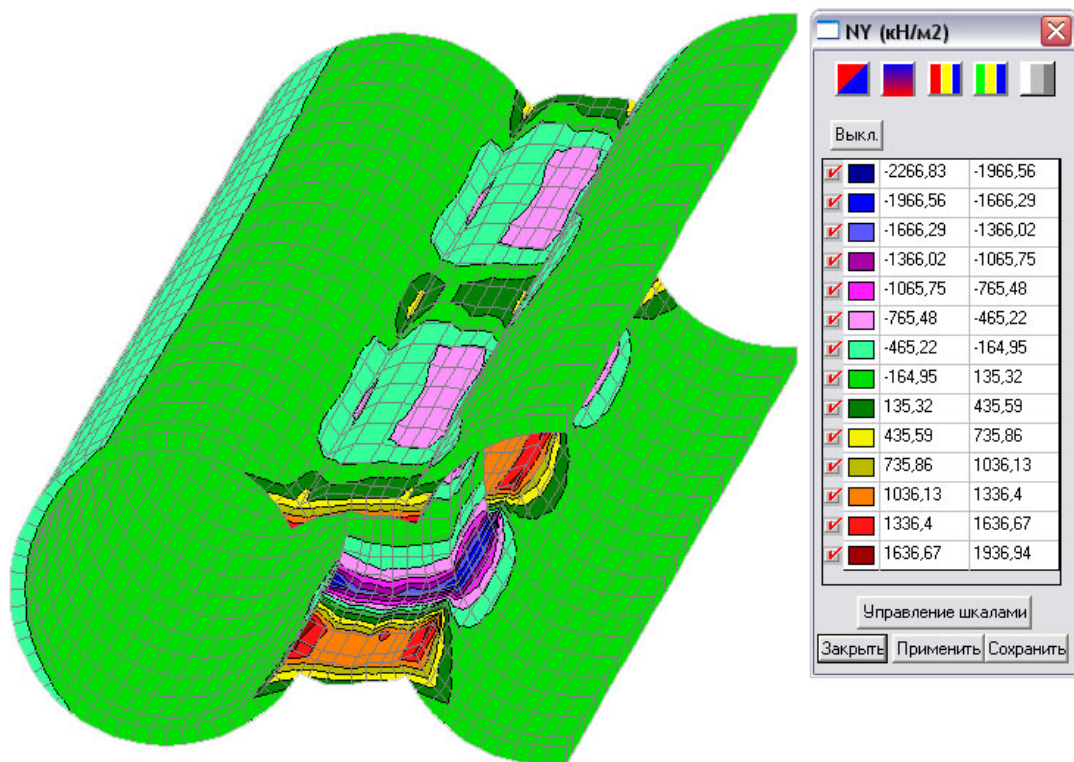
а) залізобетонна оправа; б) чавунна оправа

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

011.150008.МР.2020.ПЗ

Арк.

а)



б)

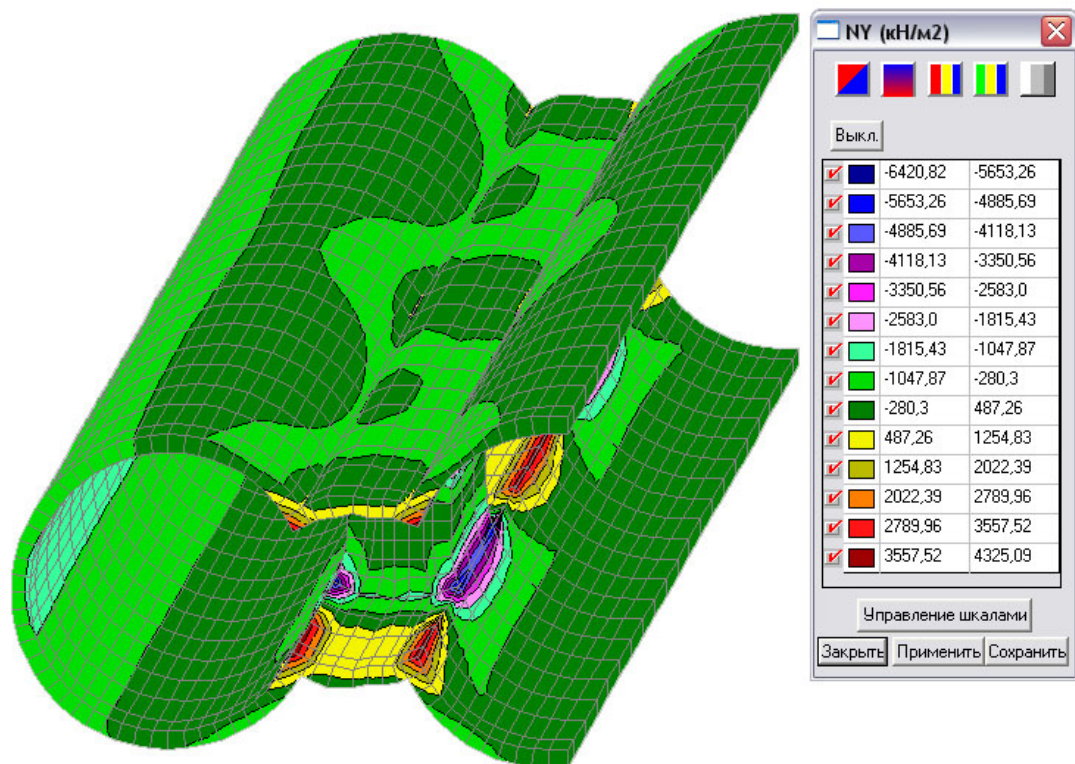


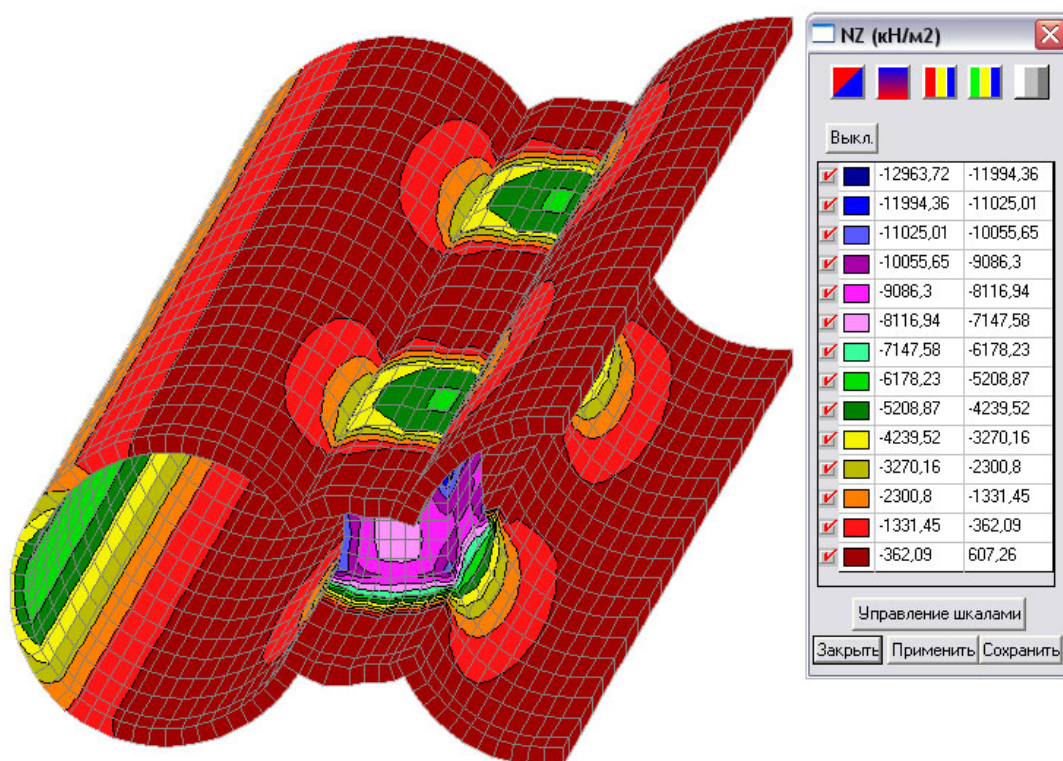
Рисунок 2.11 – Ізолінії та ізополя нормальних напружень по осі Y (по осі станції) в конструкції станції: а) залізобетонна оправа; б) чавунна оправа

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

011.150008.МР.2020.ПЗ

Арк.

а)



б)

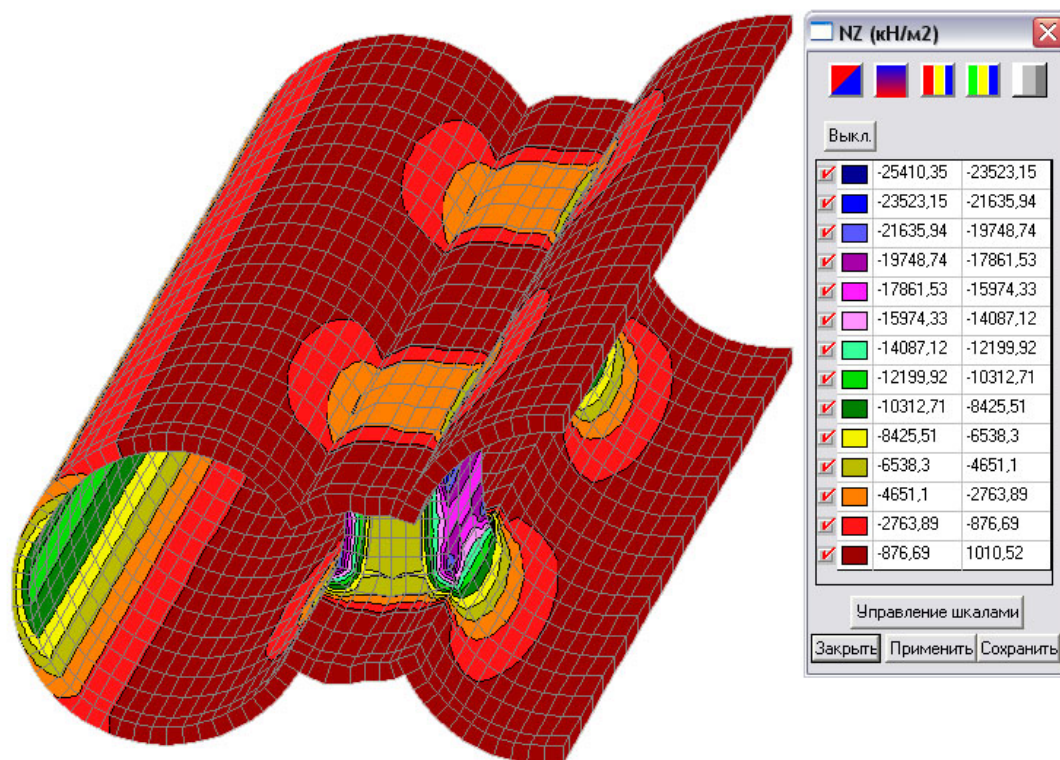
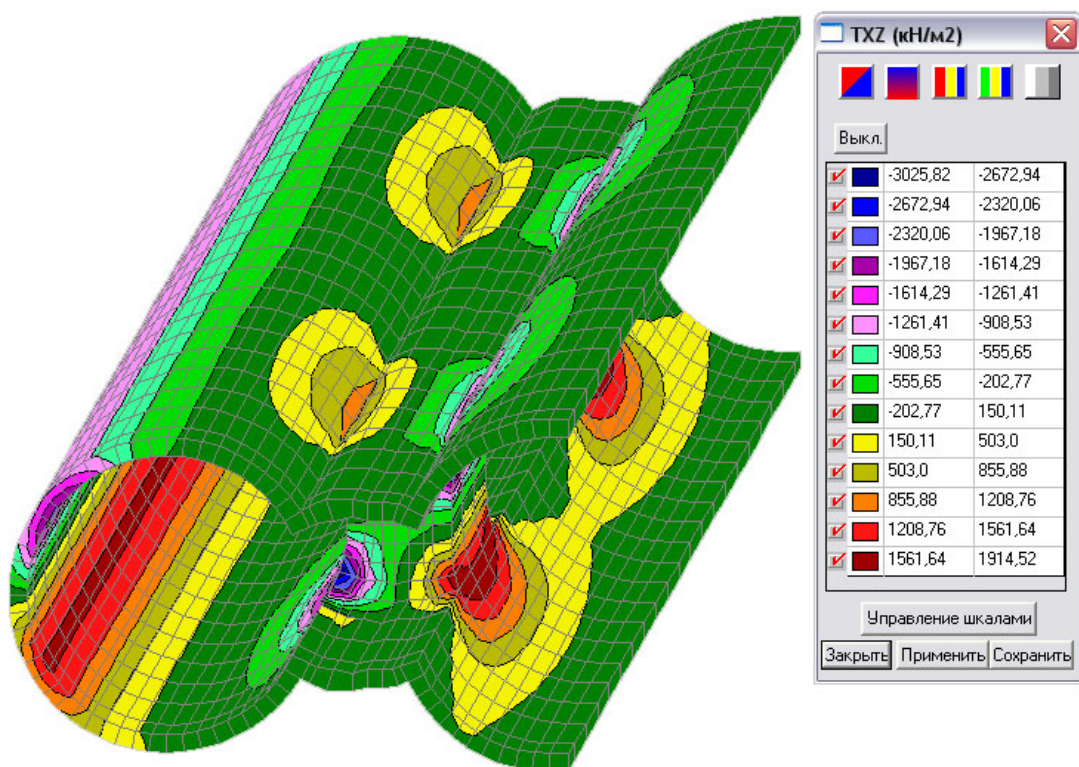


Рисунок 2.12 – Ізолінії та ізополя нормальних напружень по осі Z (вертикальна) в конструкції станції: а) залізобетонна оправа; б) чавунна оправа

а)



б)

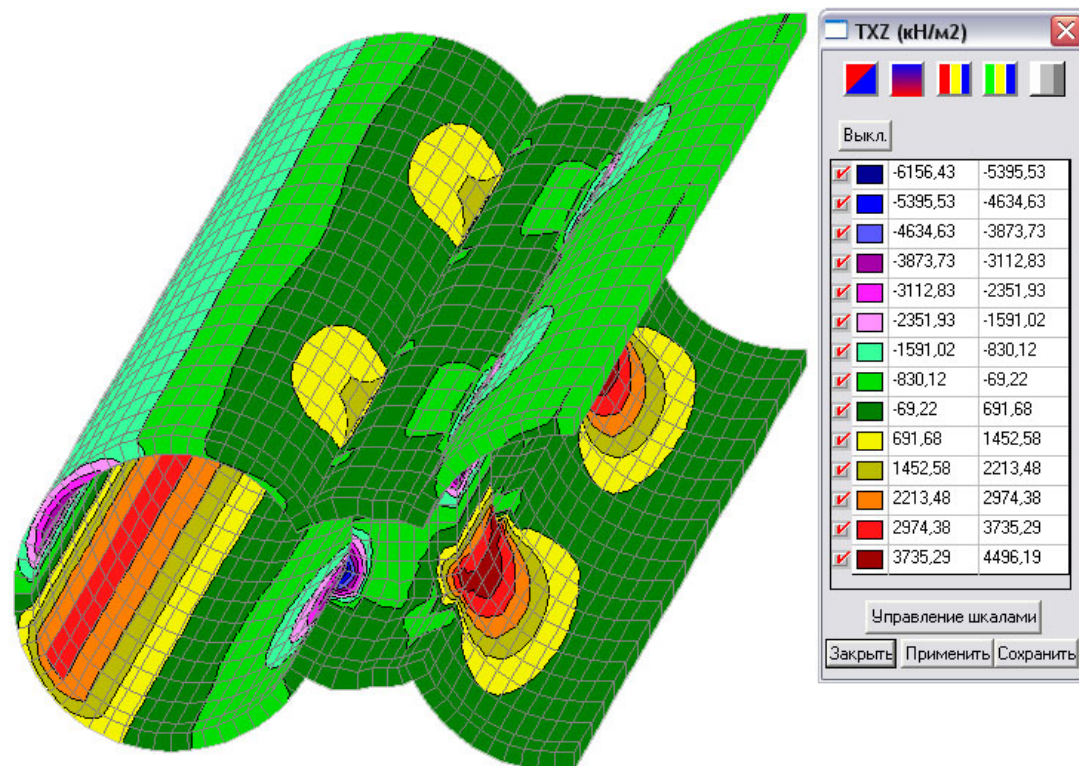
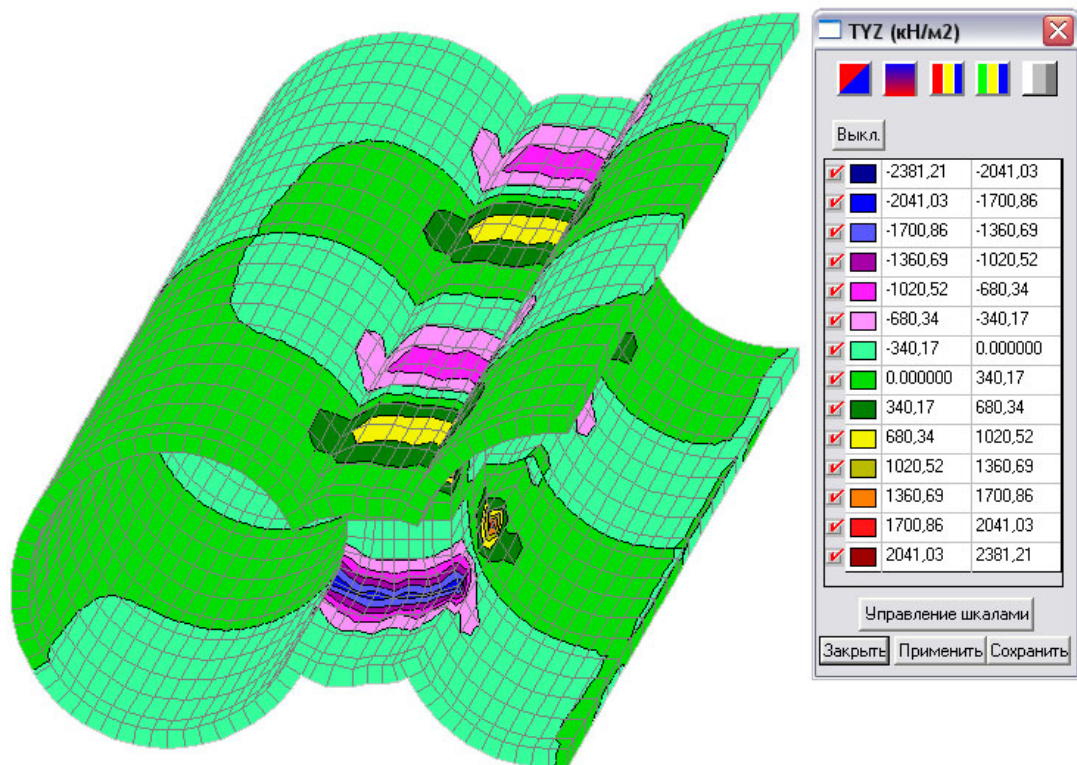


Рисунок 2.13 – Ізолінії та ізополя дотичних напружень в площині XZ в конструкції станції: а) залізобетонна оправа; б) чавунна оправа

а)



б)

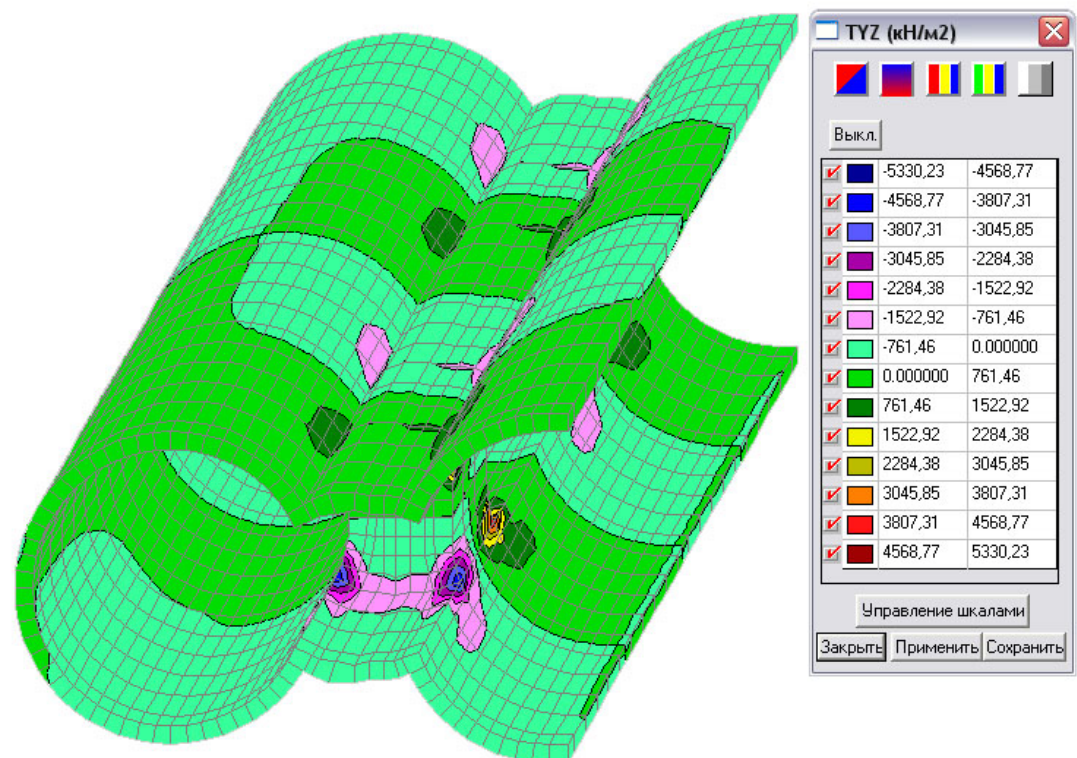


Рисунок 2.14 – Ізолінії та ізополя дотичних напружень в площині YZ в конструкції станції: а) залізобетонна оправа; б) чавунна оправа

Для подальшого аналізу конструкції на міцність, який буде проводитися лише по бетону без урахування арматури, застосуємо формулу четвертої теорії міцності (енергетична) [33], виразом для якої є

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_x \sigma_z + \sigma_z^2 + 3\tau_{xz}^2} \leq [\sigma]$$

де σ_x та σ_z – компоненти нормальних напружень по глобальних осях X та Z; τ_{xz} – дотична компонента в площині XZ; $[\sigma]$ – межа міцності матеріалу, для бетону В30 межа міцності $[\sigma] = 21,0$ МПа.

Із аналізу напруженого стану станційної конструкції зроблено висновок, що значні напруження розвиваються не лише в площині XZ, а й в площині YZ, тому слід виконати перевірку і для неї:

$$\sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z^2 + 3\tau_{yz}^2} \leq [\sigma]$$

де σ_x та σ_z – компоненти нормальних напружень по глобальних осях X та Z; τ_{xz} – дотична компонента в площині XZ; $[\sigma]$ – межа міцності матеріалу, для бетону В30 межа міцності $[\sigma] = 21,0$ МПа.

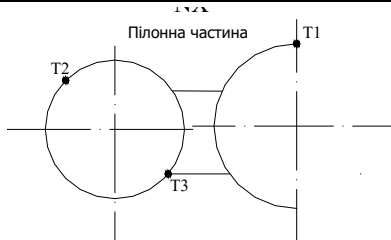
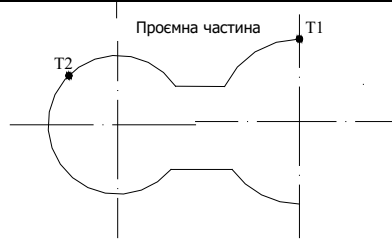
Розрахунок за еквівалентними напруженнями проведемо у вигляді таблиць 2.1-2.10, які наводяться нижче.

Аналіз еквівалентних напружень свідчить про те, що в деяких точках концентрації, які визначені за вказаними компонентами напружень, запаси міцності знаходяться в межах 6,4...134,8 рази (чавунна оправа) та 1,47...151, 3 рази (залізобетонна оправа). При цьому, найбільш напруженим місцем є точка приєднання пілона та оправи, тобто зниження запасу міцності є тільки локальним. В середньому запаси міцності знаходяться в межах 8...15 разів (чавунна оправа) та 3...13 разів (залізобетонна оправа), що свідчить про значну міцність обох типів оправ для пілонної станції у визначених умовах.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

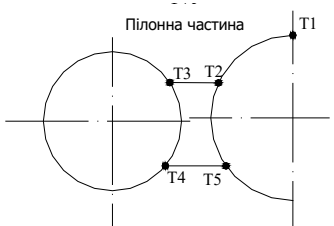
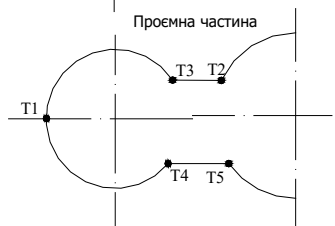
Таблиця 2.1

Визначення еквівалентних напружень в оправі пілонної станції
(чавунна оправа)

Максимальне нормальне напруження по осі X					
 <p>Пілонна частина</p>			 <p>Проємна частина</p>		
№ точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу
	Нормальне по осі X	Нормальне по осі Z	Дотичне в площині XZ		
	В пілонній частині				
1.	1,24836	0,1506	-0,06922	1,34	134,8
2.	-3,82308	-1,67518	-3,11	7,27	24,8
3.	-3,82308	-3,50097	-5,40	11,29	15,9
	В проїомній частині				
1.	1,24227	0,1644	-0,32054	1,44	124,7
2.	-3,83405	-3,71124	-3,76537	9,23	19,5

Таблиця 2.2

Визначення еквівалентних напружень в оправі пілонної станції
(чавунна оправа)

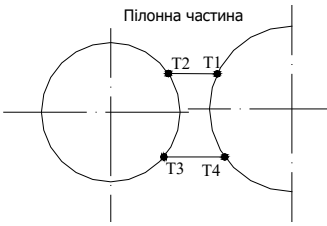
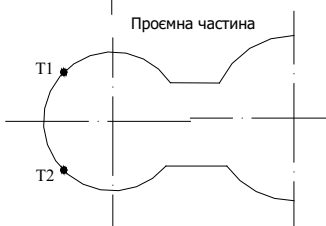
Максимальне нормальне напруження по осі Y					
					
№ точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу
	Нормальне по осі Y	Нормальне по осі Z	Дотичне в площині YZ		
	В пілонній частині				
1.	0,55166	0,1506	0,00597	0,64	281,1
2.	-6,42082	-16,28144	5,33023	22,3	8,1
3.	-6,42082	-14,45566	4,56962	20,1	8,9
4.	-6,42082	-14,45566	-4,55769	20,1	8,9
5.	-6,42082	-14,45566	-4,55769	20,1	8,9
	В проїмній частині				
1.	-1,13879	-10,68741	0,10735	11,3	15,9
2.	2,97784	0,1644	-0,32204	3,11	57,8
3.	2,97784	0,1644	-0,2147	3,09	58,3
4.	2,97784	0,1644	-0,2147	3,09	58,3
5.	2,97784	0,1644	0,10735	3,07	58,7

Визначення еквівалентних напружень в оправі пілонної станції
(чавунна оправа)


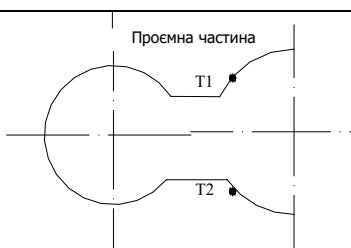
Максимальне нормальне напруження по осі Z					
					
№ точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу
	Нормальне по осі Z	Нормальне по осі X	Дотичне в площині XZ		
	В пілонній частині				
1.	0,1506	1,24836	-0,06922	1,34	134,8
2.	-25,41035	-2,3741	-5,39553	28,3	6,4
3.	0,1506	-1,64961	-0,06922	1,58	113,6
4.	0,1506	-0,56287	0,69168	1,29	138,5
5.	0,1506	-0,20063	0,69168	1,21	148,6
	В проїмній частині				
1.	0,1644	1,24227	0,17158	1,37	131,9
2.	0,1644	0,15449	0,17158	0,41	443,7
3.	0,1644	0,15449	0,17158	0,41	443,7
4.	0,1644	-1,29589	-0,81265	1,86	96,6
5.	-10,68741	-0,5707	0,17158	10,9	16,4
6.	0,1644	-0,5707	0,17158	0,59	305,5
7.	0,1644	0,15449	0,17158	0,41	443,7
8.	0,1644	0,15449	0,17158	0,41	443,7
9.	0,1644	-0,2081	0,17158	0,35	510,3

Таблиця 2.4

Визначення еквівалентних напружень в оправі пілонної станції
(чавунна оправа)

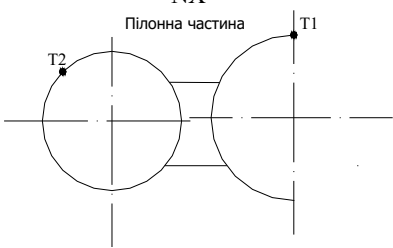
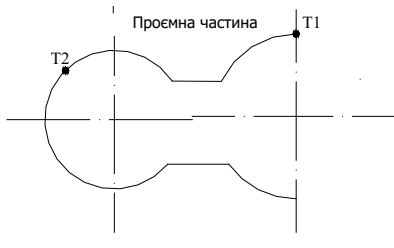
Максимальне дотичне напруження по осі XZ					
 <p>Пілонна частина</p>			 <p>Проемна частина</p>		
№ точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу
	Нормальне по осі Z	Нормальне по осі X	Дотичне в площині XZ		
	В пілонній частині				
1.	-16,28144	-2,3741	-6,15643	20,6	8,8
2.	-14,45566	-2,01186	4,49619	17,4	10,3
3.	-1,93301	-2,73635	-6,15643	11,4	15,8
4.	-14,45566	-2,01186	4,49619	17,4	10,3
	В пройомній частині				
1.	-2,93611	-3,47145	-3,76537	8,57	21,0
2.	-2,16098	-2,38367	3,1243	6,69	26,9

Визначення еквівалентних напружень в оправі пілонної станції
(чавунна оправа)

Максимальне дотичне напруження по осі YZ					
 <p>Пілонна частина</p>			 <p>Проемна частина</p>		
№ точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу
	Нормальне по осі Z	Нормальне по осі Y	Дотичне в площині YZ		
	В пілонній частині				
1.	-18,10722	5,34813	5,33023	18,6	9,7
2.	-14,45566	5,34813	-4,55769	14,9	12,1
3.	-14,45566	5,34813	-4,55769	14,9	12,1
	В пройомній частині				
1.	-0,61072	-0,01607	-0,75144	1,44	124,9
2.	-0,61072	-0,01607	0,64409	1,28	141,1

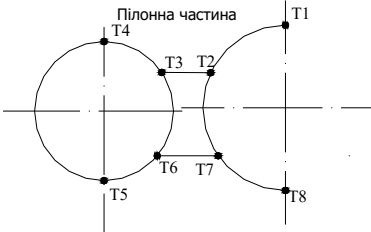
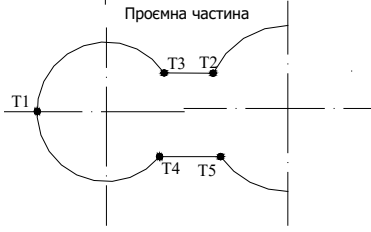
Таблиця 2.6

Визначення еквівалентних напружень в оправі пілонної станції
(залізобетонна оправа)

Максимальне нормальне напруження по осі X					
 <p>Пілонна частина</p>			 <p>Проемна частина</p>		
№ точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу
	Нормальне по осі X	Нормальне по осі Z	Дотичне в площині XZ		
	В пілонній частині				
1.	1,18763	0,01593	0,15011	1,22	17,2
2.	-2,00697	-1,8383	-1,97	4,77	4,4
	В пройомній частині				
1.	1,15378	0,10457	0,04185	1,21	17,3
2.	-2,00961	-1,99958	-2,03447	4,95	4,3

Таблиця 2.7

Визначення еквівалентних напружень в оправі пілонної станції
(залізобетонна оправа)

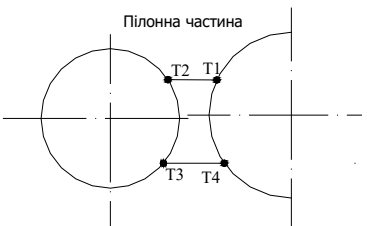
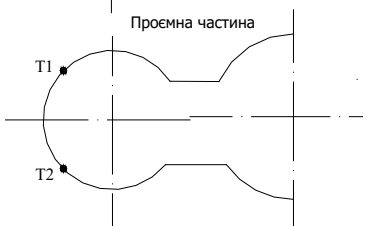
Максимальне нормальне напруження по осі Y					
					
№ точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу
	Нормальне по осі Y	Нормальне по осі Z	Дотичне в площині YZ		
	В пілонній частині				
1.	0,1671	0,01593	0,3429	0,62	33,9
2.	-2,26683	-5,54676	2,38121	8,09	2,59
3.	-2,26683	-6,47389	1,70177	8,39	2,5
4.	0,1671	0,01593	0,3429	0,63	33,9
5.	0,1671	0,01593	0,00319	0,18	119,5
6.	-2,26683	-5,54676	-2,03512	7,81	2,69
7.	-2,26683	-6,47389	2,03512	8,61	2,44
8.	0,1671	0,01593	0,00319	0,18	119,5
	В проїомній частині				
1.	-0,29458	0,10457	-0,07849	0,29	71,9
2.	1,73408	0,10457	-0,15697	1,81	11,6
3.	1,53121	0,10457	-0,07849	1,59	13,2
4.	1,73408	0,10457	0,15697	1,81	11,6
5.	1,53121	0,10457	0,15697	1,61	13,0

Визначення еквівалентних напружень в оправі пілонної станції
(залізобетонна оправа)

Максимальне нормальне напруження по осі Z					
					
№ точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу
	Нормальне по осі Z	Нормальне по осі X	Дотичне в площині XZ		
	В пілонній частині				
1.	0,01593	1,18763	0,15011	1,22	17,2
2.	-12,96372	-1,09423	-2,67294	14,3	1,47
3.	0,01593	-0,86604	-0,20277	0,93	22,6
4.	0,01593	-0,18149	0,15011	0,31	67,1
5.	0,01593	-0,18149	0,15011	0,31	67,1
	В проїмній частині				
1.	0,10457	1,15378	0,04185	1,21	17,3
2.	0,10457	0,024	0,04185	0,14	151,3
3.	0,10457	0,024	0,04185	0,14	151,3
4.	0,10457	-0,87983	-0,21769	0,91	22,9
5.	-5,78704	-0,20196	0,04185	5,89	3,57
6.	0,10457	0,024	0,04185	0,14	151,3
7.	0,10457	0,024	0,04185	0,14	151,3
8.	0,10457	0,024	0,04185	0,14	151,3
9.	0,10457	0,024	0,04185	0,14	151,3

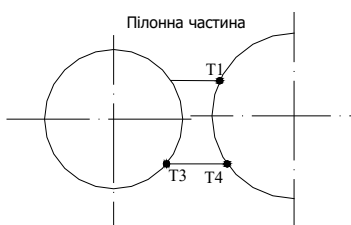
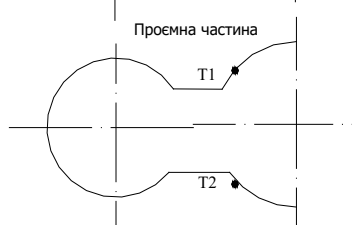
Таблиця 2.9

Визначення еквівалентних напружень в оправі пілонної станції
(залізобетонна оправа)

Максимальне дотичне напруження по осі XZ					
 <p>Пілонна частина</p>			 <p>Проемна частина</p>		
№ точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу
	Нормальне по осі Z	Нормальне по осі X	Дотичне в площині XZ		
	В пілонній частині				
1.	-8,32813	-1,09423	-3,02582	10,4	2,03
2.	-7,40101	-0,86604	1,91452	8,54	2,46
3.	-8,32813	-1,32242	-3,02582	10,5	2,01
4.	-7,40101	-0,86604	1,91452	8,54	2,46
	В пройомній частині				
1.	-1,99958	-2,00961	-2,03447	4,95	4,25
2.	1,57875	-1,10579	1,59909	3,11	6,76

Таблиця 2.10

**Визначення еквівалентних напружень в оправі пілонної станції
(залізобетонна оправа)**

Максимальне дотичне напруження по осі YZ					
 <p>Пілонна частина</p>			 <p>Проемна частина</p>		
№ точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу
	Нормальне по осі Z	Нормальне по осі Y	Дотичне в площині YZ		
	В пілонній частині				
1.	-9,25525	-2,26683	2,38121	11,4	1,85
2.	-5,54678	2,02344	-2,03512	6,01	3,49
3.	-5,54678	2,02344	-2,03512	6,01	3,49
	В пройомній частині				
1.	-0,31622	0,11115	-0,23546	0,49	42,6
2.	-0,31622	0,11115	0,15697	0,39	54,0

Виконавши математичне моделювання пілонної станції для випадку тріщинуватого граніту та проаналізувавши еквівалентні напруження за четвертою (енергетичною) теорією міцності і запаси міцності, можна зробити висновок, що з позиції конструктивної схеми застосування пілонної станції глибокого закладення є доцільним та обґрунтованим. Але для альтернативного варіанту виконано чисельний аналіз станції колонного типу глибокого закладення.

2.2 Математичне моделювання станції «Центральна» із стандартним кроком колон

Модель трьохсклепінчастої станції колонного типу побудована на основі реальних геометричних розмірів, результатів лабораторних досліджень та застосування розрахункового професійного комплексу Structure CAD for Windows, version 7.29 R.3 (SCAD) (рис. 2.15 і 2.16) [22, 26, 40].

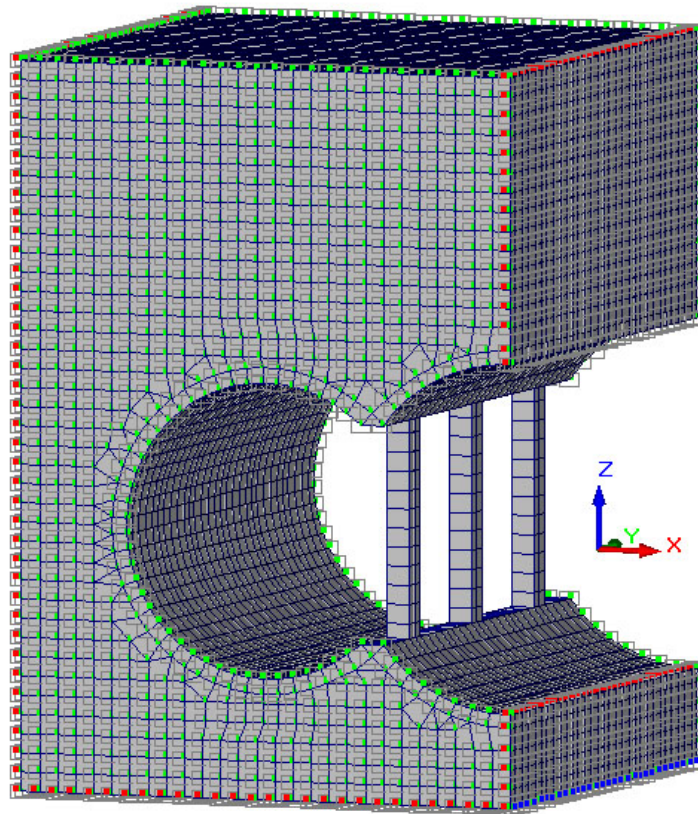


Рисунок 2.15 – Скінченно-елементна модель колонної станції

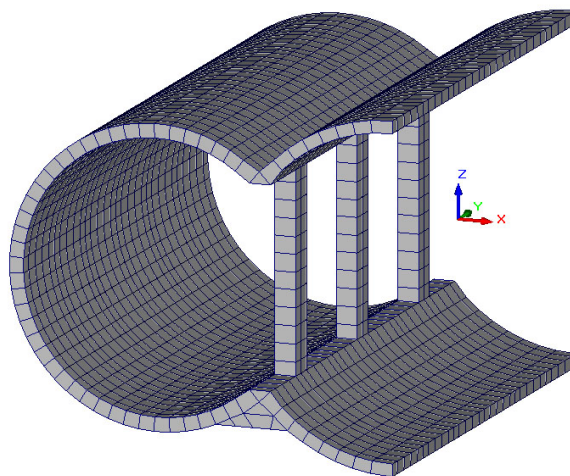


Рисунок 2.16 – Фрагмент СЕ-моделі колонної станції (оправа)

					011.150008.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модель основана на об'ємних скінченних елементах (26114 вузлів, 23142 скінченних елемента), і більш повно відображає статичну роботу конструкції колонної станції із оточуючим масивом [41-43]. Після створення просторової моделі їй надавалися деформаційні характеристики (модуль пружності, коефіцієнт Пуассона), причому для ґрунтів та залізобетону вони задавалися окремо.

Деформаційні характеристики моделі колонного варіанту наступні:

Жорсткість 1 (граніт тріщинуватий) – модуль пружності $E=30\,000$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu=0,2$, густина $\gamma=18$ кН/м³;

Жорсткість 2 (залізобетонна оправа бокового і середнього тунелів, залізобетонні тюбінги: площа бетону класу В30 – $0,18375$ м², площа арматури класу АІІ – $0,0018375$ м², при проценті армування – 1 %) – приведений модуль пружності $E=31\,700$ МПа, приведений коефіцієнт Пуассона $\mu=0,03$, густина $\gamma=25$ кН/м³;

Жорсткість 3 (залізобетонна колона перетином $0,6\times0,8$ м: площа бетону класу В30 – $0,48$ м², площа арматури класу АІІ – $0,048$ м², при проценті армування – 10 %) – приведений модуль пружності $E=47\,000$ МПа, приведений коефіцієнт Пуассона $\mu=0,047$, густина $\gamma=25$ кН/м³;

Жорсткість 4 (залізобетонна основа колони перетином $0,8\times0,1$ м: площа бетону класу В30 – $0,8$ м², площа арматури класу АІІ – $0,056$ м², при проценті армування – 7 %) – приведений модуль пружності $E=42\,000$ МПа, приведений коефіцієнт Пуассона $\mu=0,042$, густина $\gamma=25$ кН/м³;

Після надання деформаційних характеристик на модель прикладалися граничні умови: 1) по нижній границі моделі – заборона по осях Х; Y; Z; 2) по осі симетрії (ось середнього тунелю) – заборона по осі Х; 3) по торцях моделі – заборона по осі Y. Після цього виконувався розрахунок на власну вагу моделі і його результати піддавалися ґрунтовному аналізу. Причому базова модель, яка прийнята для розрахунку мала крок колон, рівний $3,75$ м (між гранями колон). На рис. 2.17 і 2.18 наведені результати розрахунків у вигляді ізоліній та ізополів напружено-деформованого стану моделі.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пройомна частина

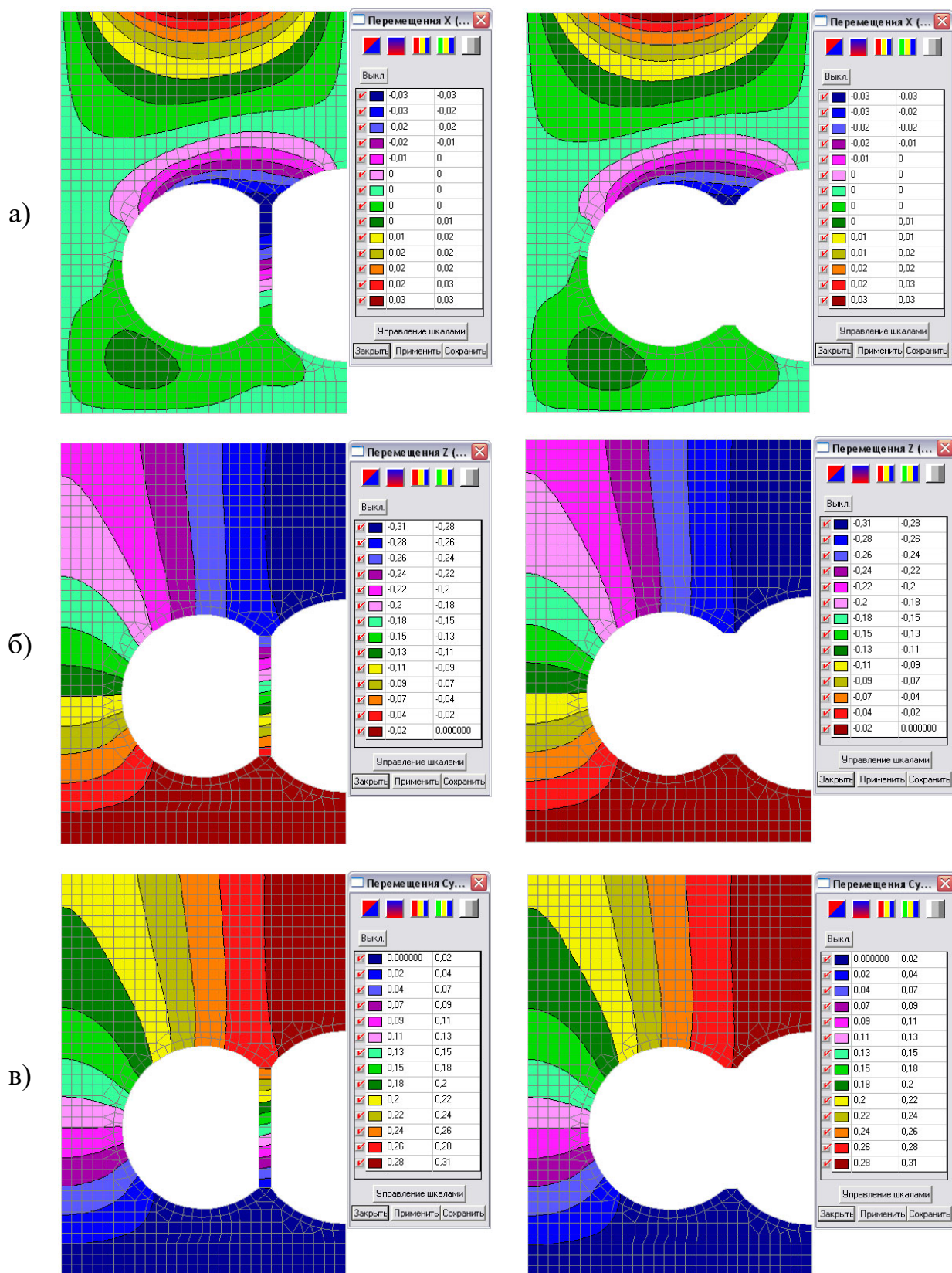


Рисунок 2.17 – Ізолінії та ізополя деформованого стану (крок 3,75 м) – переміщення: а) горизонтальні; б) вертикальні; в) сумарні

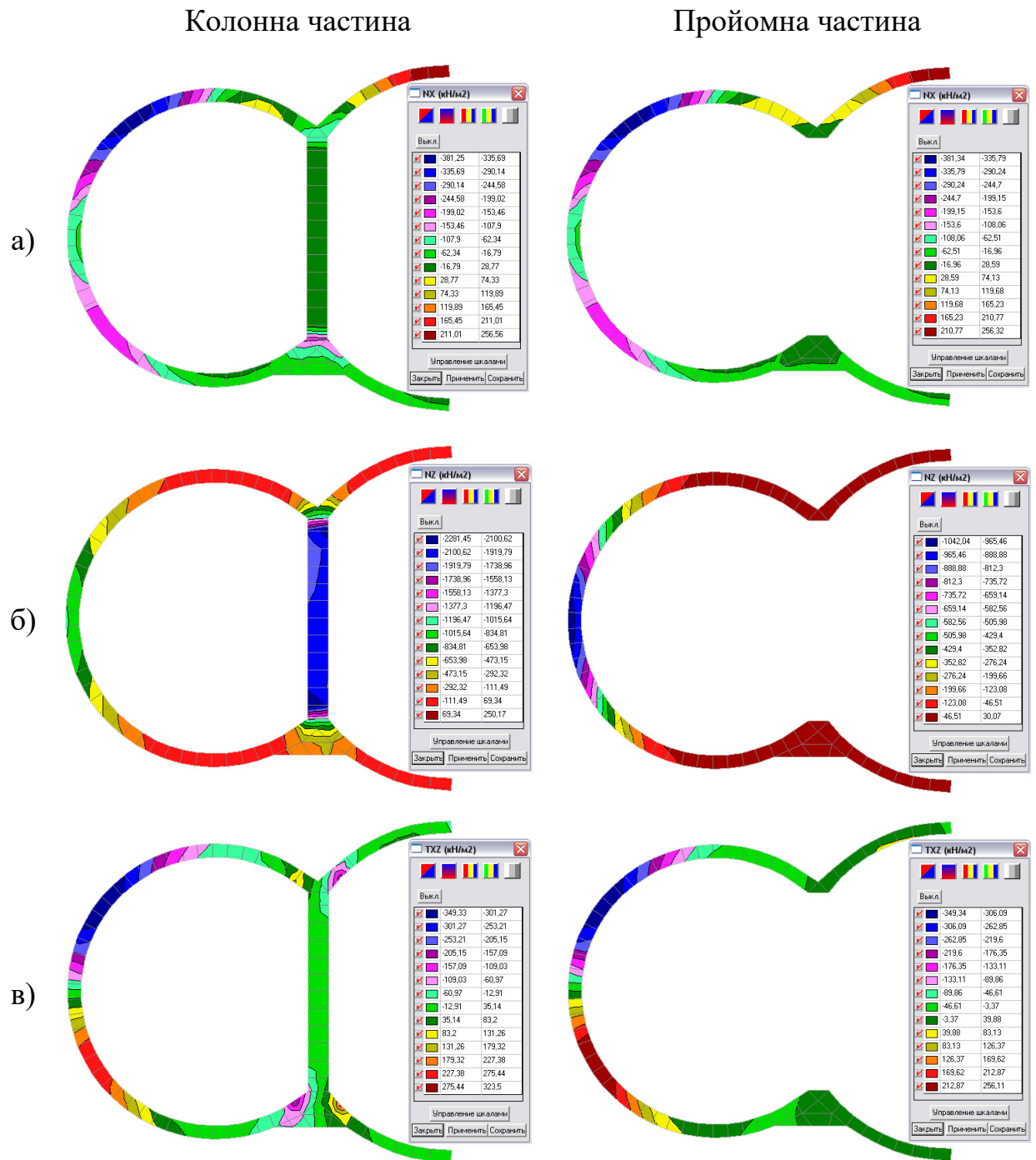


Рисунок 2.18 – Ізолінії та ізополя напруженого стану (крок 3,75 м) – напруження: а) горизонтальні нормальні; б) вертикальні нормальні; в) дотичні в площині XZ

На рис. 2.19 надано схему точок і областей, в яких спостерігається концентрація напружень (однієї або декількох компонент) і знаходяться еквівалентні напруження.

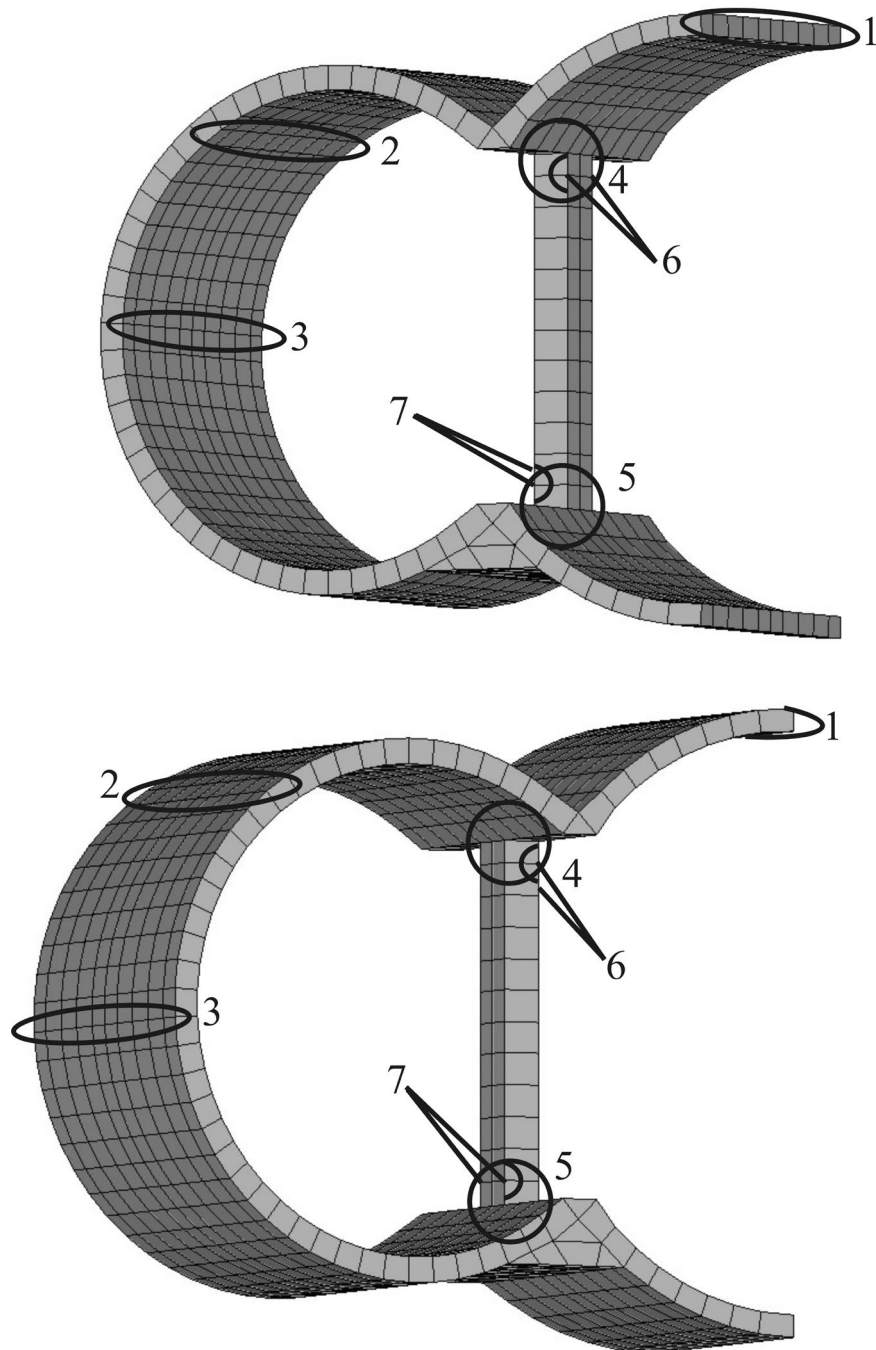


Рисунок 2.19 – Схема точок і областей концентрації напружень

Для пошуку еквівалентних напружень $\sigma_{\text{е\acute{e}а}}$ застосуємо четверту теорію міцності (енергетичну), формула якої вже була наведена в Розділі 1, але розрахунок проводимо лише для площини XZ, оскільки в площині YZ особливих концентраторів напружень не спостерігається.

Для наочного представлення результати аналізу зведено до таблиці 2.11.

					011.150008.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.11

Визначення еквівалентних напружень (крок колон – 3,75 м)

Номер точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу $n = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\text{екв}}}$
	Нормальне по осі X	Нормальне по осі Z	Дотичне в площині XZ		
1	+0,256	-0,047	-0,046	0,249	84,3
2	-0,381	-0,473	-0,349	0,956	22,0
3	-0,107	-1,115	-0,013	1,172	17,9
4	-0,107	-0,834	+0,035	0,894	23,5
5	-0,153	-1,196	+0,035	1,281	16,4
6	-0,017	-2,281	-0,061	2,292	9,2
7	-0,017	-2,281	-0,061	2,290	9,1

Як видно із табл. 2.11 значення еквівалентних напружень не досягають межі міцності матеріалу, а значення коефіцієнтів запасу ($n = 9,1 \dots 84,3$) також свідчить про те, що умова міцності виконується.

2.3 Чисельний аналіз станції в колонному варіанті із збільшеним кроком колон

Для більш глибокого розуміння поведінки станційної конструкції при зміні важливих геометричних параметрів, які в подальшому впливають на архітектурне рішення станційного простору і пасажиропотоки, проведемо дослідження впливу кроку колон на загальний напружено-деформований стан конструкції колонної станції.

Для подальших розрахунків приймемо два варіанти кроку колон $b_{\text{ед}}$: 1 варіант – 4,8 м; 2 варіант – 5,6 м. Для побудови залежностей напружень від кроку колон застосуємо також результати аналізу варіанту із кроком 3,75 м.

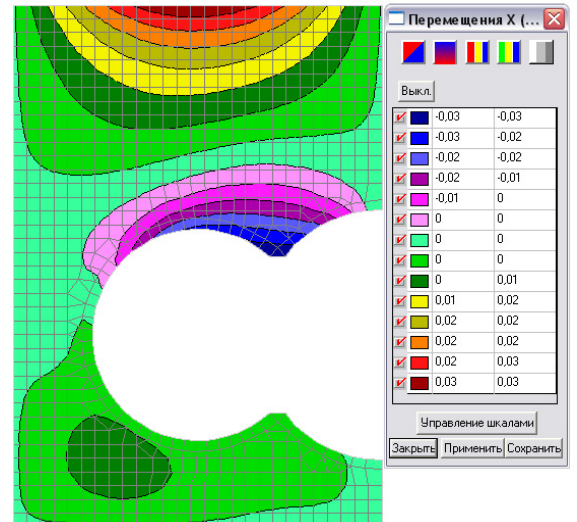
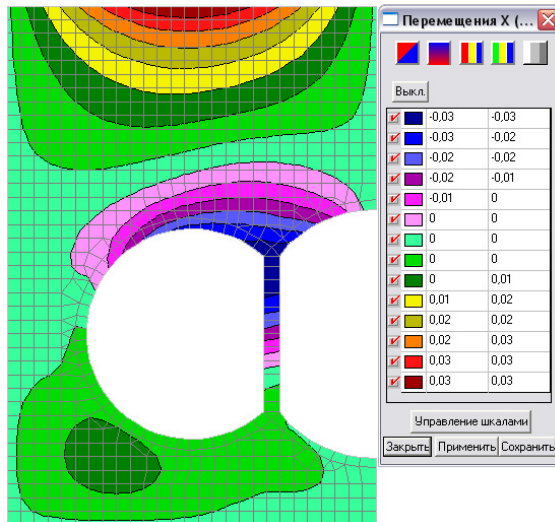
На рис. 2.20 і 2.21 наведені результати розрахунків у вигляді ізоліній та ізополів НДС моделі із кроком 4,8 м, на рис. 2.22 і 2.23 – 5,6 м.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

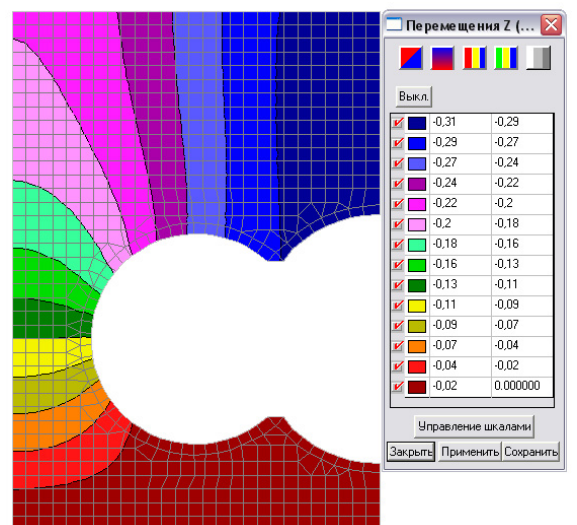
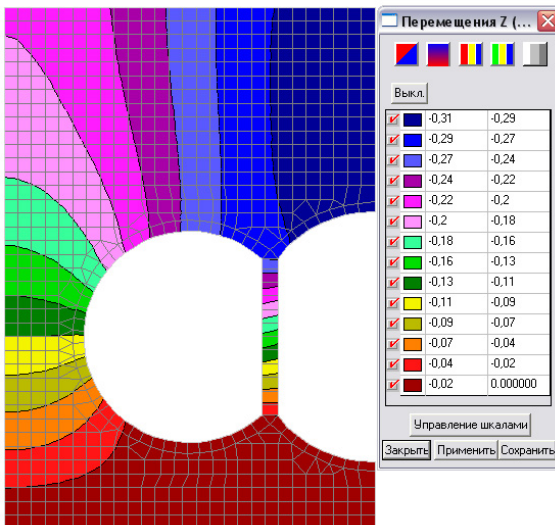
Колонна частина

Пройомна частина

а)



б)



в)

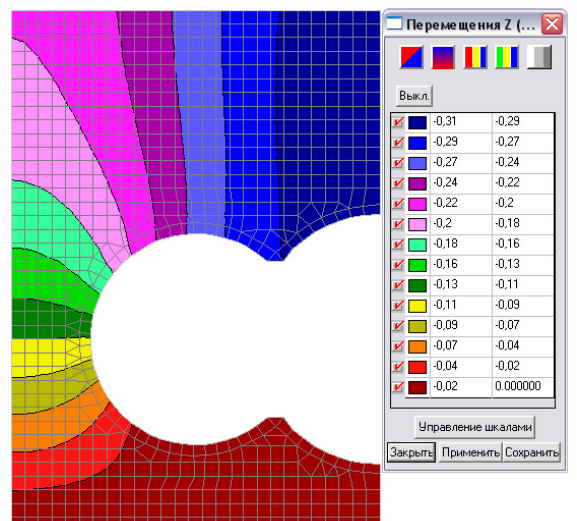
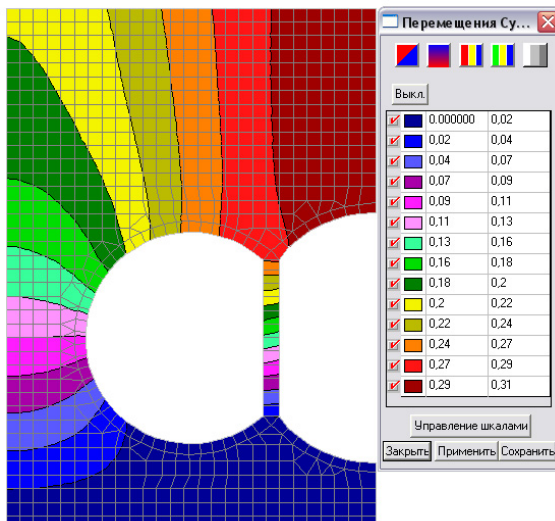


Рисунок 2.20 – Ізолінії та ізополя деформованого стану (крок 4,8 м):

а) горизонтальні переміщення; б) вертикальні переміщення;

в) сумарні переміщення

Колонна частина

Пройомна частина

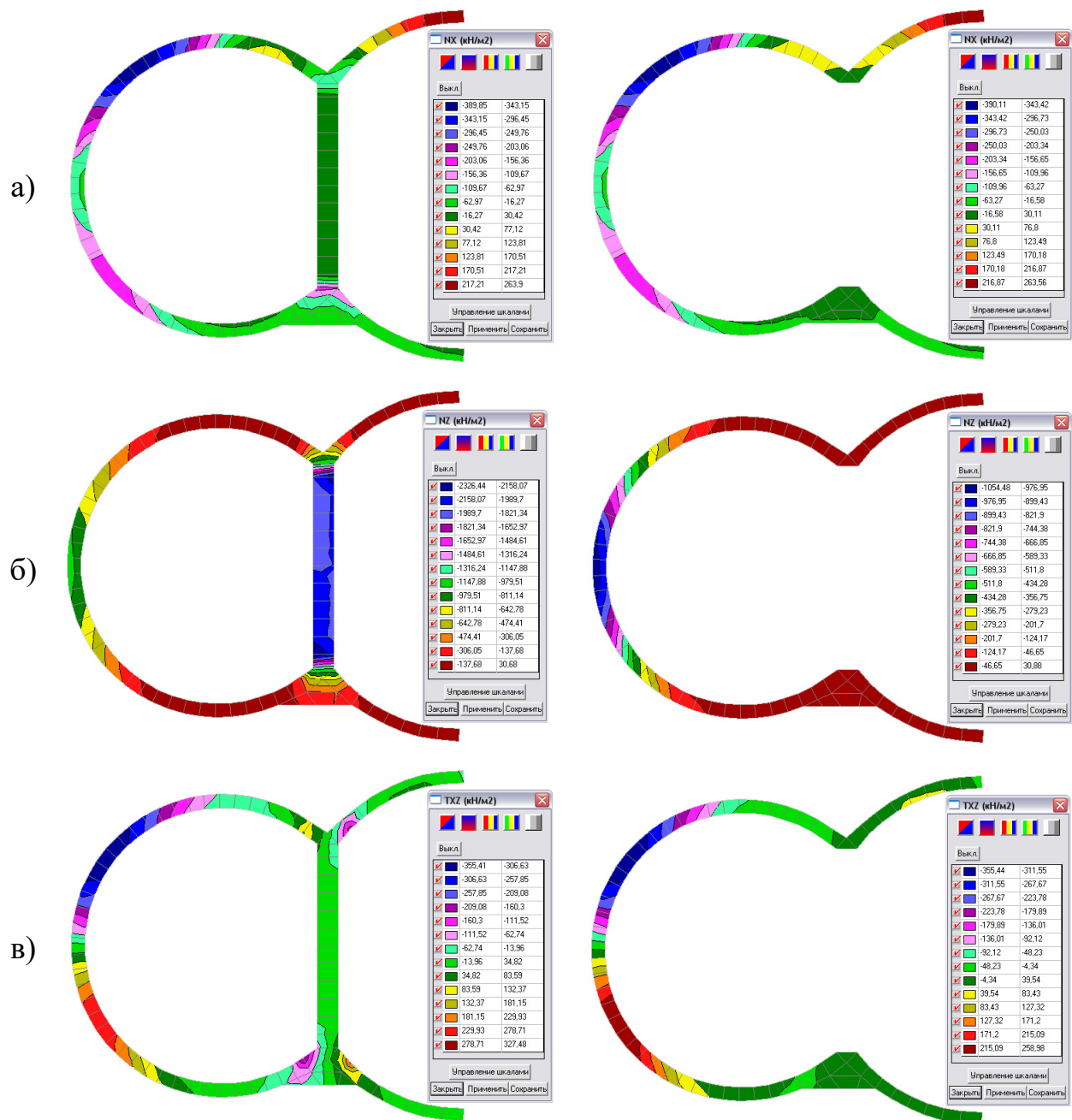


Рисунок 2.21 – Ізолінії та ізополя напруженого стану (крок 4,8 м):

а) горизонтальні нормальні напруження;

б) вертикальні нормальні напруження; в) дотичні в площині XZ

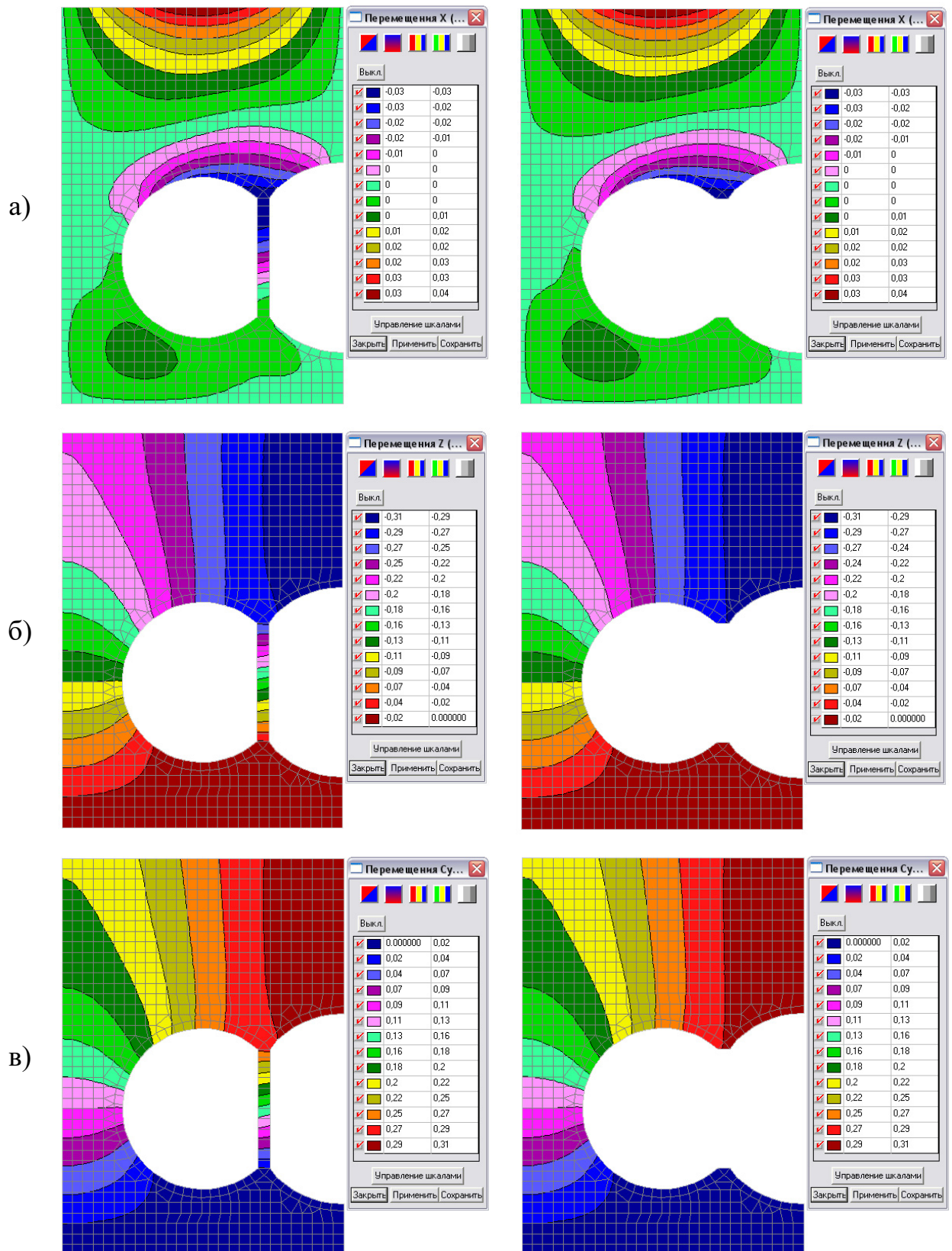


Рисунок 2.22 – Ізолінії та ізополя деформованого стану (крок 5,6 м):

а) горизонтальні переміщення; б) вертикальні переміщення;

в) сумарні переміщення

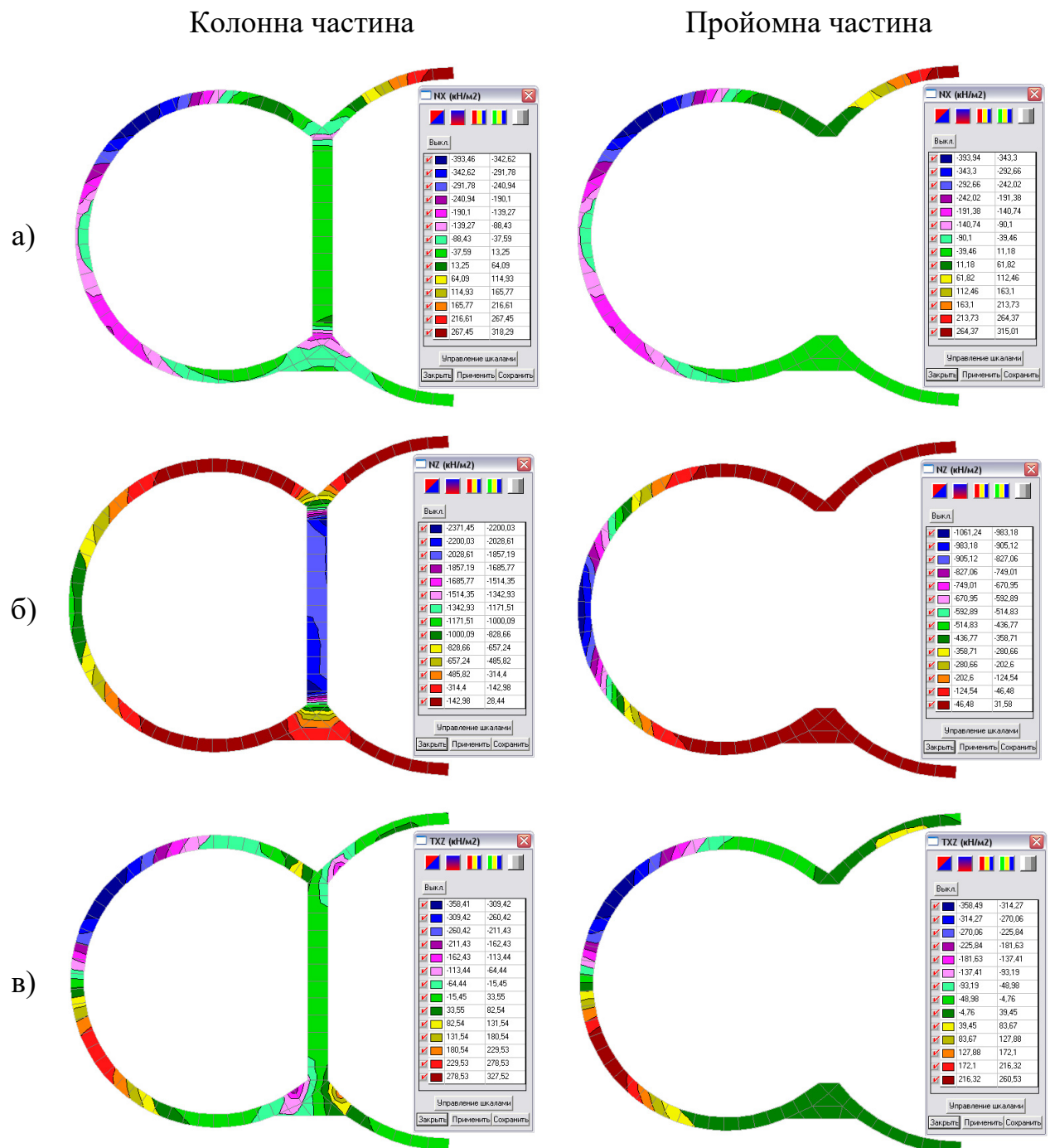


Рисунок 2.23 – Ізолінії та ізополя напруженого стану (крок 5,6 м):

а) горизонтальні нормальні напруження;

б) вертикальні нормальні напруження; в) дотичні в площині XZ

Перед аналізом слід зазначити, що місце знаходження точок і областей концентрації напружень, які визначені на рис. 2.24, не змінили свого місця, тобто порівняння напружень в моделях із різним кроком колон є коректним.

Таблиця 2.12

Визначення еквівалентних напружень (крок колон – 4,8 м)

Номер точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу $n = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\text{ââ}}}$
	Нормальне по осі X	Нормальне по осі Z	Дотичне в площині XZ		
1	+0,263	-0,046	-0,048	0,257	81,7
2	-0,389	-0,474	-0,355	0,969	21,7
3	-0,109	-1,147	-0,062	1,210	17,4
4	-0,109	-0,979	+0,035	1,040	20,2
5	-0,156	-1,316	+0,035	1,402	15,0
6	-0,016	-2,326	-0,063	2,337	9,0
7	-0,016	-2,326	-0,063	2,337	9,0

Таблиця 2.13

Визначення еквівалентних напружень (крок колон – 5,6 м)

Номер точки	Напруження, МПа			Еквівалентне напруження, МПа	Коефіцієнт запасу $n = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\text{ââ}}}$
	Нормальне по осі X	Нормальне по осі Z	Дотичне в площині XZ		
1	+0,315	-0,046	-0,049	0,307	68,5
2	-0,393	-0,485	-0,358	0,982	21,4
3	-0,139	-1,171	-0,064	1,251	16,8
4	-0,139	-1,000	+0,034	1,078	19,5
5	-0,139	-1,342	+0,034	1,418	14,8
6	-0,037	-2,371	-0,064	2,392	8,78
7	-0,037	-2,371	-0,064	2,392	8,87

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В табл. 2.12 і 2.13 надані результати розрахунку еквівалентних напружень. Для подальшого аналізу побудовані діаграма залежності еквівалентних напружень від кроку колон (рис. 2.24) і проведена апроксимація графіку максимальних еквівалентних напружень, в результаті якої отримана аналітична залежність, за допомогою якої можна отримати критичний крок колон $b_{\text{ед}}$, при якому напруження в точках 6 і 7 (концентратор на колоні) будуть дорівнювати межі міцності бетону В30 ($[\sigma] = 21,0$ МПа).

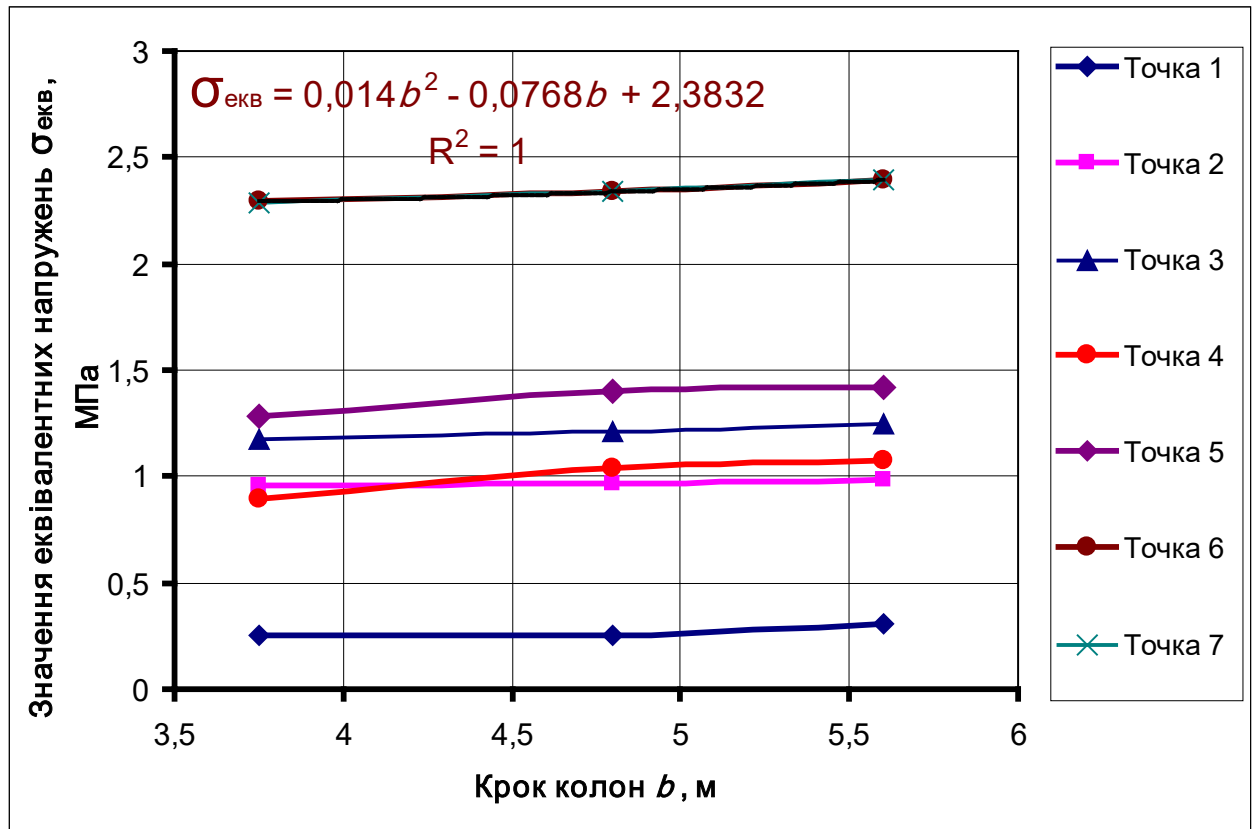


Рис. 2.24. Графік залежності еквівалентних напружень в точках концентрації від кроку колон

Як видно із графіку, аналітична залежність еквівалентних напружень в точках концентрації 6 і 7 від кроку колон має вигляд рівняння поліному другого ступеню: $\sigma_{\text{ед}} = 0,014b^2 - 0,0768b + 2,3832$, а величина достовірності апроксимації $R^2 = 1$, тобто отримана залежність має функціональний вигляд.

Але перевірка по напруженням (перша група граничних станів) також повинна підкріплюватися перевіркою по деформаціях (друга група граничних

станів). Для цього проаналізовано переміщення моделей із різним кроком колон (рис. 2.17, 2.20 і 2.22).

Перед аналізом переміщень слід відмітити ідентичний кількісний характер ізоліній і ізополів усіх компонент. Причому горизонтальні і вертикальні переміщення усіх моделей однакові і кількісно. Також слід відмітити, що характер ізополів переміщень в колонній і пройомній частинах також якісно схожий, що свідчить про рівну жорсткість споруди колонної станції як просторової конструкції. Максимальні переміщення складають 0,31 мм (в шелизі середнього склепіння), що свідчить про їх нормативний характер (до 50 мм), тобто перевірка по деформаціях також виконується.

Із розрахунку станційної конструкції і дослідження впливу кроку колон на загальний напружено-деформований стан можна свідчити, що значення напружень в моделі із кроком $b = 3,75$ м складає 0,249...2,292 МПа, що значно менше межі міцності бетону В30 (запас міцності $n = 9,1...84,3$), тобто конструкція станції витримує навантаження.

Дослідження впливу кроку колон на загальний напружено-деформований стан довело, що критичний крок колон для наданих умов складає $b_{\text{ед}} = 39,5$ м, тобто крок колон можна було збільшити до $b = 6...8$ м, причому максимальні еквівалентні напруження склали б близько 3 МПа.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 3

Спорудження пілонної станції в скельних ґрунтах БВР

3.1 Організація будівельного майданчика

У ході підготовчих робіт здійснюють інженерну підготовку будівельного майданчика, зводять тимчасові будівлі та споруди. Будівельний майданчик захищають огорожами, на ньому розташовують підземні та наземні комунікації, санітарно-технічні та побутові приміщення, проїзди та дороги й інші споруди.

Для будівництва тунелів закритим способом на майданчику зводять комплекс будівель і споруд. Безпосередньо у стовбура шахти розташовують: споруду підземної машини та надшахтний гірничий комплекс. Він призначений, з одного боку для організації транспортування розробленого ґрунту з видачею його на поверхню у бункера і перевантаженням у автотранспорт, з іншого боку, – для спуску в шахту елементів тунельної оправи, матеріалів, конструкцій, обладнання. Крім того, шахтний підйом служить для спуску і підйому людей. До гірничого комплексу входять стовбур з копром, який зібрано з тьобінгів, також як і стовбур, і бункерна естакада з двома бункерами для накопичування піднятої із шахти у вагонетках породи перед її завантаженням у автосамоскиди, ланцюговими штовхачами для виштовхування порожніх вагонеток після розвантажування із опрокидача. Крім того в гірничий комплекс входить тельферна естакада для складування під нею привезених з заводу тьобінгів і підйому їх з землі на естакаду за допомогою тельферу. Ця естакада оснащується поперечним візком для пересування тьобінговізок з тьобінгами в межах естакади з однієї уз колійної колії на іншу перед подачею їх в кліті і спуску у шахту. Пройоми у копрі зачиняються запобіжними ґратками. Довгомірні матеріали, такі як, дошки, рейки, труби, арматура, подаються в шахту через пройом в копрі, який влаштовують на рівні поверхні землі.

На будівельному майданчику також розташовують комплексні трансформаторні підстанції у вигляді збірних металевих конструкцій для електрозабезпечення будівництва; компресорна станція; механічна майстерня з

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

верстатним та ковальським обладнанням; розчинний вузол для забезпечення шахти готовою сумішшю для нагнітання за тунельну оправу; закриті та відкриті склади; арматурний двір для заготівлі арматури; душовий комбінат; медичний пункт; контора з приміщенням для інженерно-технічного персоналу, технічного навчання працівників.

Після закінчення будівництва усі тимчасові споруди на майданчику підлягають ліквідації та територію їх упорядковують.

Водо і теплоподача майданчика здійснюється від існуючих інженерних комунікацій.

Для організації керування будівництвом прокладають телефонну мережу.

3.2 Проходка бокових станційних тунелів

Проходка станційних тунелів $D_n/D_{вн}=9,5/8,8$; в скельних тріщинуватих зводнених ґрунтах від середньої до слабкої стійкості передбачається еректорним способом з монтажем оправы з чавунних тюбінгів тюбінгоукладачем крокуючого типу ТУ - 4ГПБ. Буріння шпурів ведеться буровою установкою «Тамрок», спочатку передової штольні, потім проводиться розкриття до проектного контуру (рис. 3.1).

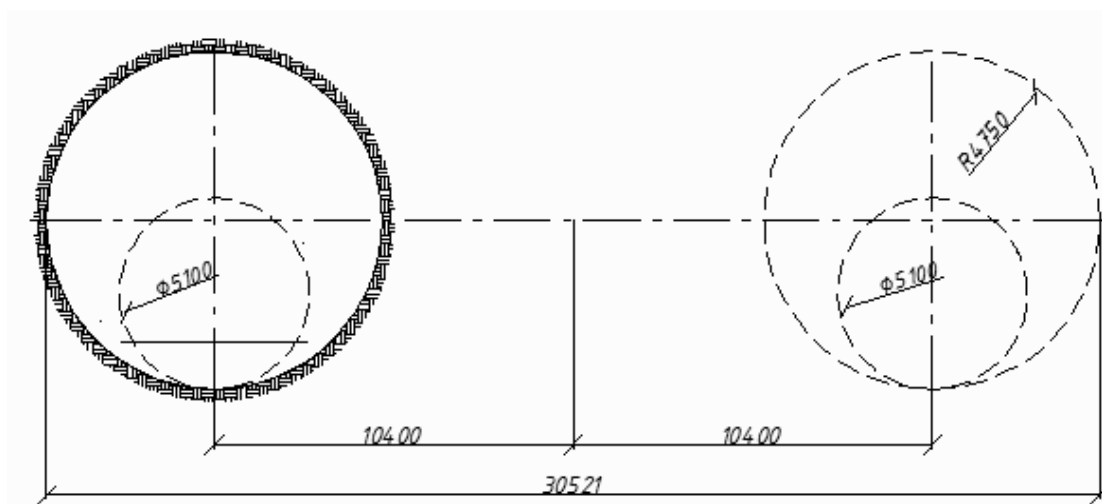


Рисунок 3.1 – Схема розкриття бокових виробок на основі БВР

Навантаження породи ведеться за допомогою породонавантажувальною машиною 1ППН - 5п в глухі вагонетки і відкатується до шахтного стовбуру.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відвантаження підірваної породи виконується породонавантажувальною машиною 1ППН - 5п і частково у ківші машини при очищенні лотку.

Монтаж оправи тюбінгоукладачем ТУ - 4ГПБ, обладнаним захисними пристроями від дії ударів породи при вибухах, а також висувним захисним козирком та 10 платформами (майданчиками) (рис. 3.2).

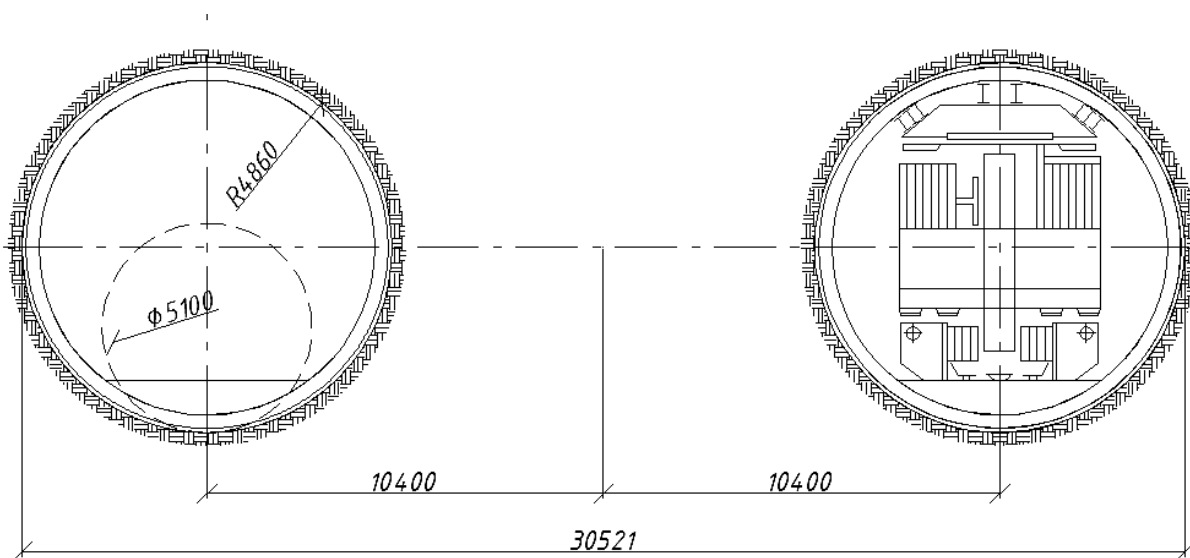


Рисунок 3.2 – Схема розкриття бокових виробок на основі БВР
та монтажу оправи

Монтаж кілець ведеться із застосуванням плоских металевих шайб.

Подача тюбінгів – на тюбінговозках.

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

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

Подача сухої суміші на робочий майданчик укладача здійснюється тельфером Q=5 т в вагонетках місткістю 1,5 м³ або у спеціальних контейнерах. Технологічна платформа зі стрілочним з'їздом пересувається одночасно з

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пересуванням укладача.

Первинно-контрольне нагнітання цементного розчину 1:0 під тиском до 0,3 МПа виконується з мінімальною відстанню від останнього кільця безпосередньо з укладача. Первинно-контрольне нагнітання передбачається виконувати вище горизонтальної осі тунелю.

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

По мірі проходження тунелів встановлюються металеві стяжки.

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

Провітрювання здійснюється за допомогою головної вентиляційної установки, розташованій на шахтній поверхні стовбуру. Для прискорення провітрювання у верхній частині забою застосовується вентилятор – побуджувач типу СВМ-6м, який подає повітря у забій по прогумленому трубопроводу $L=40-60\text{м}$. Загазоване повітря виходить в трубу діаметром 940 мм, кінець якої розташовано за укладачем.

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

3.3 Проходка середнього станційного тунелю

Проходка станційних тунелів $D_n/D_{вн}=9,5/8,8$ в скельних тріщинуватих зводнених ґрунтах від середньої до слабкої стійкості передбачається способом нижнього уступу, тобто з розподілом забою на 2 уступи (яруси) і монтажем оправи з чавунних і залізобетонних тюбінгів тюбінгоукладачем крокуючого типу ТУ – 4ГПБ (рис. 3.3). При цьому проходка верхнього уступу здійснюється також з розподілом на частини.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

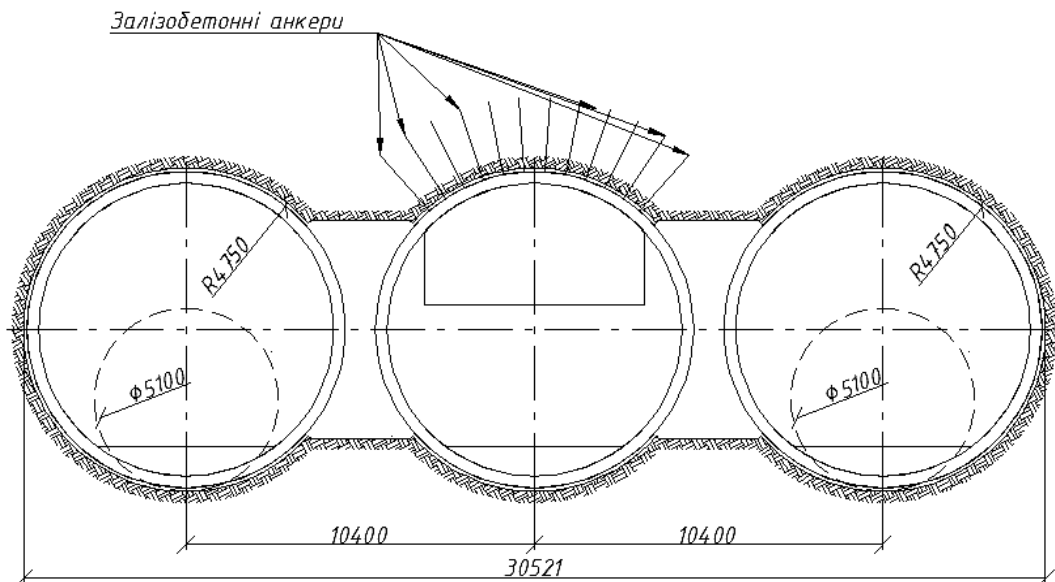


Рисунок 3.3 – Схема виконання робіт в середньому тунелі

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

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

Послідовність робіт після проходки верхньої виробки в межах ділянки $L=20...30$ м на чергову заходку прийнята наступна:

1. Розширюється верхня частина на калотний профіль (верхній уступ) по довжині 1,5...3 м.
2. Розробляється нижній уступ на ту ж довжину.
3. Монтується оправа чергових 2...4 кілець оправи з виконанням первинного нагнітання цементно-піщаного розчину 1:3 за оправу по мірі монтажу кілець.

Далі цикл повторюється. Обурювання забою при проходженні верхньої

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробки і розширення на калотний профіль передбачається ручними перфораторами типу ПР – 24л; ПР – 30л тощо. Тимчасове кріплення кривлі верхньої частини тунелю передбачається залізобетонними анкерами діаметром 25 А – II із затяжкою з металевої сітки по всій поверхні кривлі.

При проходженні передової виробки і калоти порода за допомогою скреперної установки транспортується в бік укладача і скидається на підшву нижнього уступу, де відвантажується породонавантажувальною машиною 1ППН – 5п в глухі вагонетки і відкатується до шахтного стовбуру. Скреперна леділка встановлюється на укладачі – по місцю. Розробка нижнього уступу ведеться методом шпурових зарядів. Буріння шпурів ведеться буровою установкою «Тамрок» або БУР-2.

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

Монтаж оправи виконується тюбінгоукладачем ТУ - 4ГПБ, обладнаним захисними пристроями від дії ударів породи при вибухах, а також висувним захисним козирком та 10 платформами (майданчиками). Монтаж кілець ведеться із застосуванням плоских металевих шайб. Подача тюбінгів – на тюбінговозках. Наявність висувного рейкового звена дозволяє подавати тюбінговозки безпосередньо під захват руки укладача.

Для забезпечення нормативних допусків по еліптичності кілець при монтажі можуть застосовуватись тимчасові металеві стяжки діаметром 40 мм і розпірки, а первинне нагнітання повинно виконуватись рівномірно з обох сторін без відставання (рис. 3.4). Нагнітання виконується розчинонагнітачами, встановленими безпосередньо на укладачі. Подача сухої суміші на робочий майданчик укладача здійснюється тельфером Q=5т в вагонетках місткістю 1,5 м³ або у спеціальних контейнерах.

Технологічна платформа зі стрілочним з'їздом пересувається одночасно з пересуванням укладача. Контрольне нагнітання цементного розчину 1:0 під тиском до 3атм виконується з мінімальною відстанню від останнього кільця безпосередньо з укладача. Первинно-контрольне нагнітання передбачається

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконувати вище горизонтальної осі тунелю.

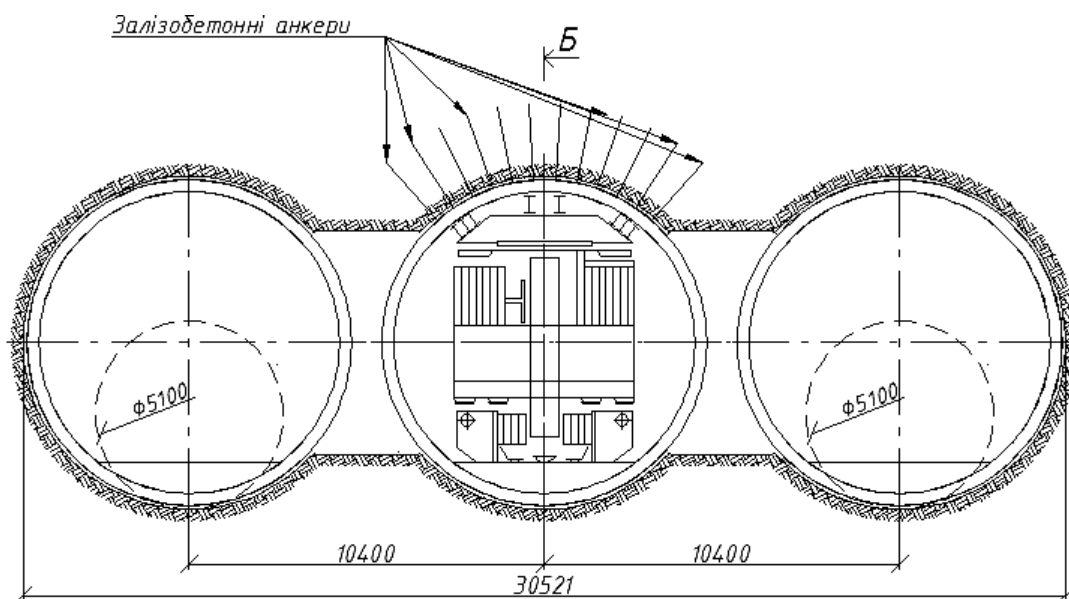


Рисунок 3.4 – Схема монтажу оправи в середньому тунелі

Повторне контрольне нагнітання цементного розчину 1:0, а потім і чеканка швів виконується зі спеціальної пересувної теліжки після завершення проходки станційних тунелів і оформлення пройомів. По мірі проходження тунелів встановлюються металеві стяжки. В цілях забезпечення надійної гідроізоляції тунелів передбачається 100% заміна болтів і встановлення асбобітумних шайб після оформлення пройомів.

Провітрювання здійснюється за допомогою головної вентиляційної установки, розташованій на шахтній поверхні стовбуру. Для прискорення провітрювання у верхній частині забою застосовується вентилятор – побуджувач типу СВМ – 6м, який подає повітря у забій по прогумленому трубопроводу $L=40\ldots 60$ м. Загазоване повітря засасується в трубу діаметром 940мм, кінець якої розташований за укладачем.

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

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Спорудження пройомів

Спорудження пройомів виконують одночасно не більш ніж на двох ділянках розташованих на протилежних сторонах і зміщених на один – два пройома. Грунт в межах пілону (між суміжними пройомами і оправами середнього і бокового тунелів) видаляють, заповнюючи визволившийся простір бетоном.

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

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

Вкладання залізобетонних елементів платформи і стін підплатформених приміщень станції виконують краном вантажопідйомністю 7 т. На підплатформені стіни вкладають платформені коробкообразні блоки. Шви між блоками платформи заповнюють цементно-піщаним розчином і на них вкладають гідроізоляційний шар. Колійні стіни споруджують з тих же

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Залізничну колію вкладають спеціальними укладачами на бетонну основу, яка влаштовується з монолітного бетону класу В10. Колія вкладається на коротиші довжиною 900 мм. Укладання шпал-коротишів ведуть по встановленій для однієї ланки рейок епюрі розташування шпал. Рейки використовують типу Р65, кріплення рейок до шпал окреме.

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

3.5 Буровибухові роботи

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

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

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

При будівництві тунелів використовується велика кількість методів підривання.

Найбільш ефективний в умовах даної магістерської роботи буде шпуровий метод підривання з використанням центральних прямих врубів у передовій штольні та центральних клинових врубів в уступній частині тунелю. Такі вруби універсальні та забезпечують потрібний викид породи.

Існує декілька способів підривання.

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

Обравши спосіб підривання вираховуємо необхідні параметри ефективної проходки тунелю нижче приведеним чином.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.6 Визначення параметрів БВР

Вірний вибір параметрів буровибухових робіт забезпечує якісне руйнування породи при мінімальних об'ємах буріння, відповідність форм виробки проєктним показникам із мінімальними переборами породи, рівномірне розташування породи з її мінімальними розкладаннями від забою.

Ефективність вибухових робіт у значній мірі залежить від вірного визначення питомої витрати вибухової речовини.

Боковий та середній станційні тунелі

Передова штольня

Передова штольня діаметром 5,1 м дозволяє ослабити поверхню для виконання більш ефективного вибуху (рис. 3.4 і 3.5).

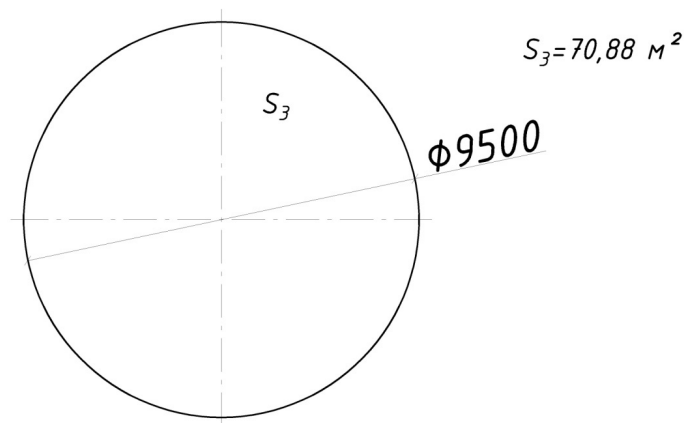


Рисунок 3.5 – Проєктний переріз бокового тунелю

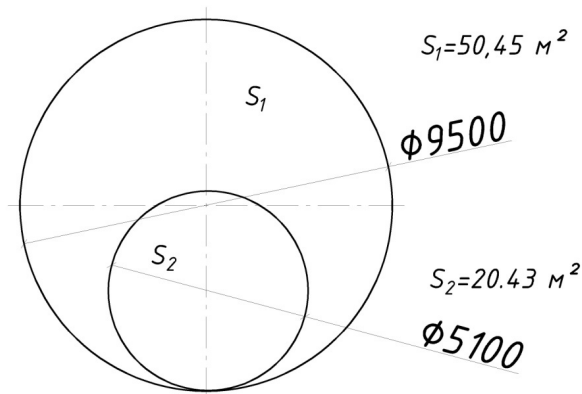


Рисунок 3.6 – Положення передової штольні

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

q – кількість вибухової речовини на цикл:

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

де: f – коефіцієнт міцності породи, $f=10$;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$l_k = \frac{\omega}{\eta} = \frac{1,5}{0,85} = 1,8 \text{ м},$$

де: η – коефіцієнт використання шпуру, який у горизонтальних виробках складає $\eta=0,85$.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$N = N_{\varepsilon} + N_{\text{від}} \text{ шт.}$$

де: N_{ε} , $N_{\text{від}}$ – кількість врубових і відбійних шпурів відповідно. В наданому розрахунку контурні і підшовові шпури відсутні, але в нижній частині передової штольні для більш гладкого підривання відстань між відбійними шпурами приймається рівною відстані між контурними шпурами:

a_k – відстань між контурними шпурами, $a_k = 0,5$ м.

Користуючись формулою Покровського визначимо врубові та відбійні шпури:

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

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

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

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

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

S' – площа ядра перерізу тунелю, оскільки контурних та підшовових шпурів немає, вона дорівнює площі передової виробки.

Знаючи необхідні показники, визначаємо суму врубових та відбійних шпурів:

$$N_{\text{від}} = \frac{12,7 \cdot 1,61 \cdot 20,43}{3,6^2 \cdot 0,6 \cdot 1,45 \cdot 1,05} + \sqrt{20,43} = 39,8 \approx 40 \text{ шт.}$$

Тоді загальна кількість становить:

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N = N_{\epsilon} + N_{\text{від}} = 4 + 40 = 44 \text{ шт.}$$

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

Середня маса заряду інших шпурів:

$$q_{cp} = \frac{Q}{N} = \frac{49,27}{44} = 1,12 \text{ кг,}$$

Маса заряду врубового шпуру:

$$q_{\epsilon} = 1,2 \cdot q_{cp} = 1,2 \cdot 1,12 = 1,34 \text{ кг,}$$

Маса всіх врубових зарядів:

$$Q_{\epsilon} = q_{\epsilon} \cdot N_{\epsilon} = 1,34 \cdot 4 = 5,36 \text{ кг,}$$

Маса зарядів відбійних шпурів:

$$Q_{\text{від}} = q_{cp} \cdot N_{\text{від}} = 1,12 \cdot 40 = 44,8 \text{ кг.}$$

Загальна маса вибухової речовини на цикл:

$$Q_{\text{вп}} = Q_{\epsilon} + Q_{\text{від}} = 5,36 + 44,8 = 50,16 \text{ кг,}$$

Уточнена питома витрата вибухової речовини на цикл:

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_o = \frac{Q_{ep}}{S \cdot \omega} = \frac{50,16}{20,43 \cdot 1,5} = 1,64 \text{ кг/м}^3,$$

Вихід породи за вибух (у масиві):

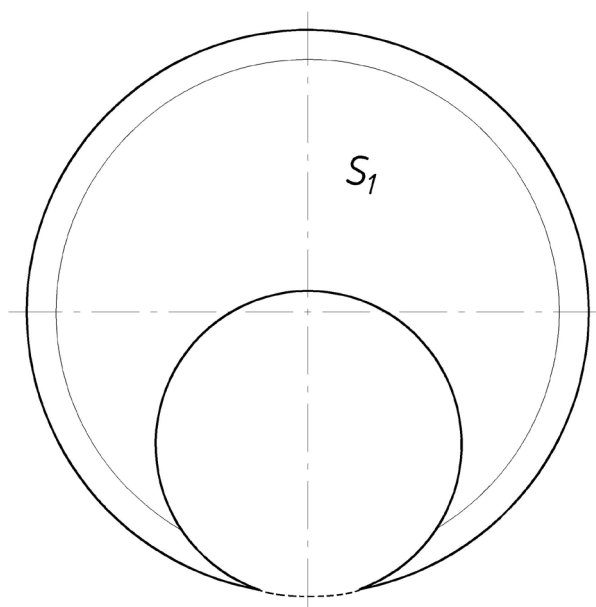
$$V = S \cdot \omega = 20,43 \cdot 1,5 = 30,64 \text{ м}^3,$$

Загальна кількість шпурометрів на цикл:

$$L_m = N \cdot l_{ш} = 44 \cdot 1,5 = 66 \text{ м.}$$

Розрахункові дані заносимо у таблицю умов і показників підривання та таблицю шпурових зарядів.

Уступна частина



$$S_1 = 50,45 \text{ м}^2$$

$$P_1 = 22,18 \text{ м}$$

Рисунок 3.7 – Уступна частина бокового тунелю

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

q – кількість вибухової речовини на цикл:

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

де f – коефіцієнт міцності породи, $f=10$;

S – проєктна площа перерізу, $S=50,45 \text{ м}^2$;

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

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

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

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

$$q = (0,3\sqrt{4} + \frac{2}{\sqrt{50,45}}) \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,4 = 1,36 \quad \text{кг/м}^3,$$

$$Q = 1,36 \cdot 50,45 \cdot 1,5 = 102,72 \quad \text{кг}.$$

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

$$l_k = \frac{\omega}{\eta} = \frac{1,5}{0,85} = 1,8 \text{ м},$$

де: η – коефіцієнт використання шпуру, який у горизонтальних виробках складає $\eta=0,85$.

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

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N = N_{\text{від}} + N_{\kappa} \text{ шт.}$$

де: $N_{\text{від}}$, N_{κ} – кількість відбійних, контурних шпурів. Оскільки передова штольня є значною поверхнею оголення, то врубові шпури відсутні, як і підшовові.

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

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

де: P_{κ} – периметр виробки по лінії розташування контурних шпурів,

a_{κ} – відстань між контурними шпурами,

$$a_{\kappa} = 0,5 \text{ м.}$$

Тоді:

$$N_{\kappa} = \frac{22,18}{0,5} = 44,36 \approx 45 \text{ шт.}$$

Користуючись формулою Покровського визначимо відбійні шпури:

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

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

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

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

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

S' – площа ядра перерізу тунелю.

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

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$\omega_{\kappa} = \frac{a_{\kappa}}{m}$$

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

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

тоді:

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

$$S_{\kappa} = (N_{\kappa} - 1) \cdot a_{\kappa} \cdot (\omega_{\kappa} + 0,1) = (45 - 1) \cdot 0,5 \cdot (0,625 + 0,1) = 15,95 \text{ м}^2.$$

Визначаємо площу ядра перерізу тунелю:

$$S' = S - S_{\kappa} = 50,45 - 15,95 = 34,5 \text{ м}^2.$$

Знаючи необхідні показники, визначаємо суму врубових та відбійних шпурів:

$$N_{\text{від}} = \frac{12,7 \cdot 1,36 \cdot 50,45}{3,6^2 \cdot 0,6 \cdot 1,45 \cdot 1,05} + \sqrt{34,5} = 79,46 \approx 80 \text{ шт.}$$

Тоді загальна кількість становить:

$$N = N_{\text{від}} + N_{\kappa} = 80 + 45 = 125 \text{ шт.}$$

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

Масу контурного і підшовового зарядів визначають із виразу:

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

Масу всіх контурних зарядів:

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{\kappa} = q_{\kappa} \cdot N_{\kappa} = 0,9 \cdot 45 = 40,5 \text{ кг},$$

Середня маса зряду інших шпурів:

$$q_{cp} = \frac{Q - Q_{\kappa}}{N - N_{\kappa}} = \frac{102,72 - 40,5}{125 - 45} = 0,8 \text{ кг},$$

Маса заряду врубового шпуру:

$$q_{\epsilon} = 1,2 \cdot q_{cp} = 1,2 \cdot 0,8 = 0,96 \text{ кг},$$

Маса зарядів відбійних шпурів:

$$Q_{vid} = q_{cp} \cdot N_{vid} = 0,8 \cdot 80 = 64 \text{ кг}.$$

Загальна маса вибухової речовини на цикл:

$$Q_{\epsilon p} = Q_{\kappa} + Q_{vid} = 40,5 + 64 = 104,5 \text{ кг},$$

Уточнена питома витрата вибухової речовини:

$$q_o = \frac{Q_{\epsilon p}}{S \cdot \omega} = \frac{104,5}{50,45 \cdot 1,5} = 1,38 \text{ кг/м}^3,$$

Вихід породи за вибух (у масиві):

$$V = S \cdot \omega = 50,45 \cdot 1,5 = 75,66 \text{ м}^3,$$

Загальна кількість шпурометрів на цикл:

$$L_{\text{м}} = N \cdot l_{\text{ш}} = 125 \cdot 1,5 = 187,5 \text{ м}.$$

Розрахункові дані заносимо у таблицю умов і показників підривання (табл. 3.1) та таблиці шпурових зарядів (табл. 3.2 та 3.3), розміщення яких надано на рис. 3.8.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця умов і показників підривання

Умови і показники підривання	Одиниця вимірювання	Кількість для штольні	Кількість для уступу
Площа поперечного перерізу виробки в проходці	м ²	20,43	50,45
Коефіцієнт міцності породи за Протод'яконовим	-	10	10
Глибина заходки, <i>l</i> _{зах.}	м	1,5	1,5
Коефіцієнт використання шпурів, η	-	0,85	0,85
Довжина комплектів шпурів	-	-	-
відбійних	м	1,8	-
контурних та врубових	м	1,5	1,5
Загальна кількість шпурів у забої	шт.	44	125
У тому числі:			
врубових	шт.	4	-
відбійних	шт.	40	80
контурних	шт.	-	45
Питома витрата ВР, q	кг/м ³	1,38	1,38
Витрати ВР на заходку, Q	кг	50,2	104,5
Вихід породи за один вибух	м ³	30,7	75,7
Загальна кількість шпурометрів за цикл	м	67,2	187,5
Вихід шпурометрів на м ³ породи	м/м ³	2,2	2,48

Таблиця 3.2

Таблиця шпурових зарядів для штольні

Номери шпурів	Назва шпурів	Довжина, м	Кут нахилу, град	Час сповільнення, мс	Маса заряду, кг/шт	Кількість шпурів, шт.	Маса ВР, кг	Вид ВР
1-4	Врубові	1,8	70	0	1,34	4	5,4	Амоніт №6 ЖВ
5-10	Відбійні	1,5	90	25	1,12	6	6,72	Амоніт №6 ЖВ
11-23	Відбійні	1,5	90	50	1,12	13	14,56	Амоніт №6 ЖВ
24-44	Відбійні	1,5	90	75	1,12	11	12,32	Амоніт №6 ЖВ

Таблиця 3.3

Таблиця шпурових зарядів для верхнього уступу

Номери шпурів	Назва шпурів	Довжина, м	Кут нахилу, град	Час сповільнення, мс	Маса заряду, кг/шт	Кількість шпурів, шт.	Маса ВР, кг	Вид ВР
45-50	Відбійні	1,8	90	0	0,8	6	4,8	Амоніт №6 ЖВ
51-59	Відбійні	1,8	90	25	0,8	9	7,2	Амоніт №6 ЖВ
60-74	Відбійні	1,8	90	50	0,8	15	12	Амоніт №6 ЖВ
75-96	Відбійні	1,8	90	75	0,8	22	17,6	Амоніт №6 ЖВ
97-124	Відбійні	1,8	90	100	0,8	28	22,4	Амоніт №6 ЖВ
125-169	Контурні	1,5	80	125	0,9	45	40,5	Амоніт №6 ЖВ

					011.150008.МР.2020.ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

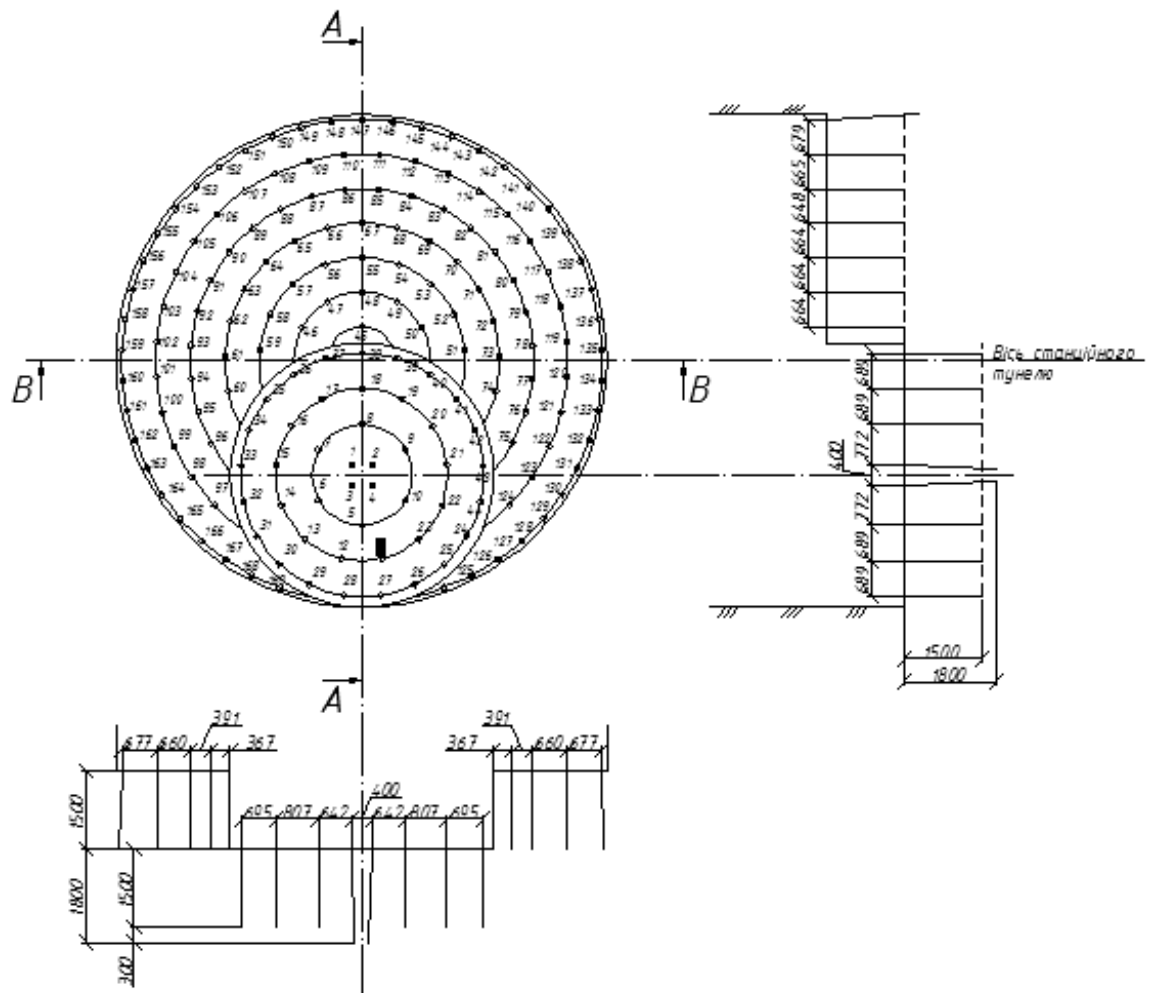


Рисунок 3.8 – Схема розміщення зарядів в бокових тунелях

3.7 Розрахунок вентиляції при буровибухових роботах

При буровибуховому способі проходки тунелів присутнє виділення газів та інших шкідливих компонентів. Крім того, споживання людьми кисню з повітря в обмеженому об'ємі тунелю, витрачання його на технологічні та окисненні процеси призводять до поступового зменшення його сполук, що небезпечно для працюючих. Тому організований штучний або природний обмін повітря при проходці та експлуатації тунелю є обов'язковим для створення безпечних і нормальних умов в ньому.

При виконанні БВР приймається схема приточно-витяжної вентиляції, яка розраховується за формулою А.І. Ксенофонтової. Кількість повітря необхідного для подачі в забій визначається по допустимості концентрації окису вуглецю (0,008 %), через 30 хв. після вибуху.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідна кількість повітря:

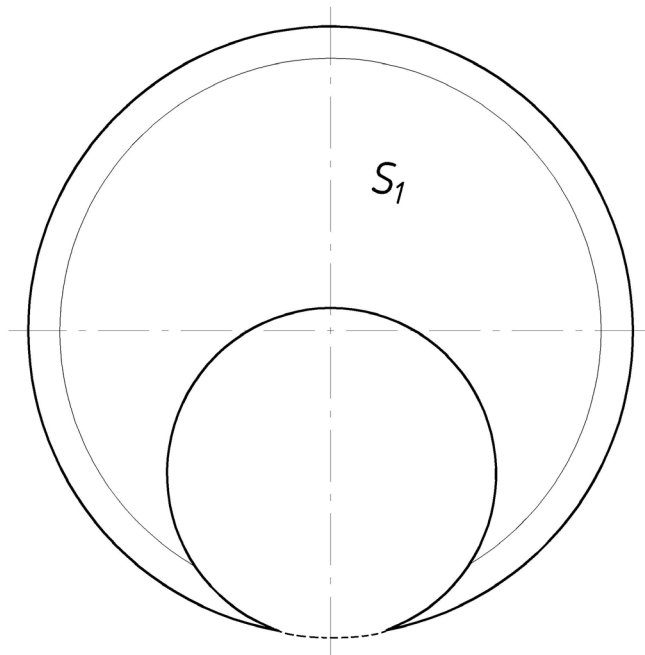
$$Q = \frac{6}{t} \cdot \sqrt{A \cdot S \cdot (75 + A)} \text{ м}^3 / \text{хв};$$

$$Q = \frac{6}{30} \cdot \sqrt{104,5 \cdot 50,45 \cdot (75 + 104,5)} = 194,6 \text{ м}^3 / \text{хв};$$

де t – час провітрювання, $t=30$ хв.;

A – витрати вибухової речовини за один вибух (при розширенні проєктного перерізу до 9,5 м, $A=104,5$).

S – площа забою, приймається максимальною (при розширенні проєктного перерізу до 9,5 м; $S=50,45 \text{ м}^2$, рис. 3.9).



$$S_1 = 50,45 \text{ м}^2$$

$$P_1 = 22,18 \text{ м}$$

Рисунок 3.9 – Площа для розрахунку вентиляції

За допомогою номограми для визначення швидкості повітря через вихідний отвір вентилятора приймаємо 27 м.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З характеристик вентиляторів приймаємо вентилятор СВМ-4м.

Продуктивність – $65 \dots 130 \text{ м}^3/\text{хв}$;

Площа вихідного отвору – $0,6 \text{ м}^2$;

Діаметр робочого колеса – 400 мм;

Маса – 80 кг.

Нижче наведений розрахунок вентиляції за допомогою програми Ventilation.xls. для 10 чоловік.

Розрахунок вентиляції при виконанні робіт

Гузиєнко Михайло

Введіть довжину ділянки L (не більше 200 м), м	200
Введіть діаметр оправи D , м	8,02
Введіть максимальну кількість працівників N , чоловік	10
Введіть діаметр труб для вентиляції d , м	0,6
Введіть довжину ланки труби m , м	2,5
Площина перерізу виробки S , м^2	50,49
Кількість повітря (БВР) Q_п , м^3	194,60
Швидкість руху V , м/с (порівняти із V_п)	0,06
Потрібна швидкість руху V_п , м/с	0,25
Потрібна кількість повітря Q , $\text{м}^3/\text{с}$	12,62
Розрахункова продуктивність вентилятора Q_в , $\text{м}^3/\text{с}$	13,54
Коефіцієнт доставки η	1,07
Аеродинамічний опір трубопроводу R , кілоджоулів	5,02
Введіть коефіцієнт аеродинамічного опору α	0,0003
Статичний напір вентилятору h , мм. вод. ст. (даПа)	857,44056
Площа вихідного отвору вентилятору F_в , м^2	0,50
Введіть швидкість повітря V_в (за номограмою), м/с	27

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.8 Розрахунок електровозної відкатки породи

Відкатка породи здійснюється вагонетками типу Главтунельметробуду із глухим кузовом, ємністю 1,5 м³, потяг вагонеток формується і пересувається за допомогою контактного електровоза – 10 КР-2.

1. Кількість вагонеток визначається за формулою:

$$n = \frac{V_n}{N_{\epsilon} \cdot \kappa}, \quad (\text{шт})$$

$$V_n = S \cdot l_{\text{зах.}}$$

$$V_n = 50,45 \cdot 1,5 = 75,7 \text{ м}^3$$

де n – потрібна кількість вагонеток; V_n – об'єм породи, що розробляється за один цикл; N_{ϵ} – об'єм вагонетки; κ – коефіцієнт заповнення вагонетки породою (приймається рівним 0,8, тобто 80 % вагонетки вважаються заповненими).

$$n = \frac{75,7}{1,5 \cdot 0,8} = 63,1 \text{ шт.}$$

Приймаємо $n = 63$ шт.

2. Визначаємо кількість вагонеток, яку може потягти електровоз з умови зрушення:

$$z(G + G_o) \leq \frac{F_T}{W_{on} + W_i + W_{TP}} - P_c;$$

$$G = N_{\epsilon} \cdot \gamma_{\text{сп.}} \cdot \kappa$$

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G = 1,5 \cdot 25 \cdot 2 = 75$$

де Z – кількість вагонеток;

F_T – тяга електровозу;

W_{on} – опір зрушення вагонеток з місця;

W_i – опір ухилу перегінного тунелю (співпадає із значенням ухилу в проміле);

W_{TP} – опір руху потягу із ґрунтом при зрушенні з місця;

P_c – загальна вага електровозу, в тоннах;

G – вага породи у вагонетці;

G_o – вага порожньої вагонетки.

$$z(7,5 + 0,76) \leq \frac{1700}{12 + 3 + 5,5} - 10;$$

$$z8,26 \leq 72,93$$

$$z \leq 8,8$$

Приймаємо $Z = 8$ шт.

3. Визначаємо кількість вагонеток, яку може зупинити електровоз з умови руху вниз:

$$z(G + G_o) \leq \frac{1000 \cdot \psi \cdot P_c}{110a_T + W_i - W_{TP}} - P_c;$$

де ψ – коефіцієнт зчеплення ведучих коліс з рейками;

a_T – коефіцієнт опору при умові руху вниз;

W_{TP} – опір руху потягу із ґрунтом при умові руху вниз.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$z(7,5 + 0,76) \leq \frac{1000 \cdot 0,24 \cdot 10}{110 \cdot 0,4 + 3 - 6} - 10 ;$$

$$z \cdot 8,26 \leq 48,54$$

$$z \leq 5,8$$

Приймаємо $Z=5$ шт.

4. Визначаємо необхідну кількість потягів, для відкатки породи:

$$N = \frac{n_6}{z};$$

де N – необхідна кількість потягів;

n_6 – кількість вагонів, необхідних для відкатки породи;

z – кількість вагонеток на один електровоз.

$$n = \frac{5}{6} = 0,83;$$

Приймаємо 2 електровози, один з яких – запасний.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 4

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Вимоги безпеки праці під час виконання робіт по спорудженню пілонної станції

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

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

Перелік робіт по спорудженню пілонної станції:

Проходка бокових станційних тунелів:

- буріння шпурів;
- підривання зарядів;
- провітрювання;
- навантаження породи;
- відвантаження підірваної породи;
- подача і монтаж тьобінгів;
- монтаж оправи;
- нагнітання.

Проходка середнього станційного тунелю:

- розкриття проходу;
- розширення верхньої частини на повний профіль;

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробка нижнього уступу;
- монтаж оправи з виконанням первинного нагнітання.

Далі цикл повторюється.

Небезпечні фактори під час проведення буровибухових робіт:

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

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

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

Загальні вимоги

До робіт з проходки підземних виробок метрополітену допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичне обстеження, навчання по затвердженій програмі та двотижнєве стажування під керівництвом досвідченого керівника, склали іспити, отримали відповідне посвідчення на право роботи прохідником і 1 кваліфікаційну групу з електробезпеки.

У період оформлення необхідно отримати ввідний інструктаж для ознайомлення із загальним положенням на новому місці, охороною праці та правилами внутрішнього розпорядку організації НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

Вступний інструктаж проводиться:

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

Первинний інструктаж:

- проводять до початку роботи безпосередньому місці з працівником.

Повторний інструктаж:

- проводять з працівниками на робочому місці в терміни, визначені відповідним діючими галузевими нормами чи актами керівником підприємства з урахуванням умов праці, чи не рідше:
 - на роботах з підвищеною небезпекою – 1 раз на три місяці;
 - для інших робіт – 1 раз на шість місяців.

Цільовий інструктаж:

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

Знаходитись у підземних виробках дозволяється лише у касці, спецодязі та спецвзутті, передбачених нормами НПАОП 45.2-3.01-04 «Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам, зайнятим у будівельному виробництві».

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

Після вибуху і провітрювання до початку буріння шпурів забій виробки повинен бути оглянутий представником технічного надзору і приведений в безпечний стан шляхом оборки кривлі, лобу і боків виробки. Одночасно цим

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підрильник повинен перевірити наявність відмов і в випадку їх виявлення прийняти міри для їх ліквідації в відповідності з вимогами діючих єдиних правил безпеки при підрильних роботах.

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

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

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

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

У всіх випадках перед початком вибухових робіт встановлюють межі небезпечної зони, котрі відмічають на місцевості умовними знаками. Перед початком заряджання на межах забороненої (небезпечної) зони повинні бути виставлені пости, які забезпечують її охорону, а люди, котрі не зайняті заряджанням, – виведені в безпечні місця особою технічного надзору або (за його дорученням) підрильником. Постовим забороняється доручати роботу, яка не пов'язана з виконанням прямих обов'язків. В небезпечну зону дозволяється прохід осіб технічного надзору організації та працівників контролюючих органів при наявності зв'язку з керівником вибухових робіт (підрильником) і тільки через пост, по якому виходить підрильник. На підземних роботах на час заряджання допускається заміна постів огорожами з написами, які забороняють вхід в небезпечну зону.

Огорожі повинні виставлятися на відстані, при якій вміст отруйних продуктів вибуху знижується до безпечних концентрацій. Ці відстані визначаються дослідним шляхом на основі результатів відбору проб повітря

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при максимальній кількості підірваних у забої ВР. Після закінчення вибухових робіт та повного провітрювання виробок вказані огорожі та знаки з написами знімаються.

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

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

Бурити шпури в верхній частині забою, знаходячись на підірваній породі при проходці горизонтальних і похилих виробок, дозволяється:

- 1) при наявності на виваленій породі вирівняної площадки, забезпечуючи стійке положення проходчика під час буріння;
- 2) при знаходженні проходчика в процесі буріння поза зоною дії породонавантажувальної машини.

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

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

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

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

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

ВМ при любых маніпуляціях не повинні підвергатися поштовхам та ударам. Забороняється кидати, волочити, перекачувати, штовхати та ударяти ящики з ВМ. В процесі роботи з ВМ забороняється палити та проводити будь-які операції з відкритим вогнем ближче 100 м від місця знаходження ВМ. Сірники та інші запалювальні приналежності можуть бути тільки у підривників, лаборантів та інших осіб, які в процесі роботи виконують запал.

Підготовлених до вибуху зарядів повинно бути стільки, скільки їх буде підірвано за один прийом. Підривання зарядів повинно проводитися негайно після їх підготовки до вибуху. При заряджанні допускається використовувати

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тільки дерев'яні або алюмінієві забійники. Під час заряджання шпурів глибиною більше 2 м забороняється опускати бойовики на ВШ, ДШ або проводах електродетонатору. Забороняється використовувати в одному шпурі більше одного патрона-бойовика з детонатором. Бойовики повинні вводитися в шпури обережно, без поштовхів. При заряджанні забороняється ущільнювати бойовики, а також проштовхувати їх навіть легкими ударами забійника. Забороняється висмикувати або тягнути ВШ або проводи ЕД, введені в бойовики або заряди. Якщо вийняти застряглий бойовик не представляється можливим, то необхідно зупинити його заряджання та підірвати з іншими зарядами.

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

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

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

Заряди, що не підірвались, повинні бути ліквідовані майстром підрильником негайно, шляхом підривання додаткових зарядів, що розташовуються в паралельно вибурених шпурах на відстані не ближче 30 см від того шпуру, що відмовив.

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

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частину підривають у три-чотири прийоми з обов'язковим оглядом результатів попереднього вибуху.

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

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

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

- монтаж повинен вестися послідовно з обох сторін виробки за спеціально розробленими схемами складання оправи;
- звільнення важеля укладальника і установку наступного елемента збірної оправи допускається проводити тільки після закріплення раніше укладеного елемента;
- при застосуванні оправи на болтових зв'язках тимчасове закріплення елемента має здійснюватися постановкою і затягуванням двох болтів у радіальних і одного болта в кругових бортах елементів;
- при монтажі оправи для поєднання болтових отворів встановлюваних і вже укладених елементів повинні використовуватися стандартні болти і спеціальні оправлення; застосування різних стрижнів, відрізків арматури, дерев'яних штирів забороняється;
- прикріплення блоку до важеля укладальника дозволяється тільки за допомогою захоплення і болтових скріплень;
- залишати елемент оправи на вазі при закінченні роботи або на час перерви забороняється;
- остаточне затягування гайок, заміна болтів і загвинчування пробок в отвори для нагнітання розчину за обробку повинні проводитися з пересувних

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

риштувань або чеканочних візків; виконання цих робіт з драбин і оправи забороняється;

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

– всі робітники повинні забезпечуватися касками

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

Дія працівників в аварійних ситуаціях

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

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

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

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

У разі виникнення аварійної ситуації чи аварії працівники зобов'язані діяти тверезо й спокійно, не панікувати, точно й оперативно слідувати вказівкам керівництва підприємства, осіб, відповідальних за цивільний захист

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(цивільну оборону) та техногенну безпеку, протипожежну безпеку, охорону праці, а також представників аварійно-рятувальних, та газорятувальних, пожежних, медичних підрозділів.

Кожний працівник, який першим виявив загрозу виникнення аварійної ситуації, повинен негайно припинити роботу та подати команду «СТОП!»

Команда «СТОП!», подана будь-яким працівником, має негайно бути виконаною всіма працівниками, котрі її почули.

У випадку виникнення аварійних ситуацій або пожежі кожен працівник мусить:

- припинити роботу (якщо це дозволено технологічним процесом виробництва);
- якнайшвидше сповістити про аварію (пожежу) керівника та відповідальну посадову особу;
- приступити до ліквідації (локалізації) аварії (пожежі) наявними засобами;
- за необхідності викликати інші аварійно-рятувальні служби.

Працівники та службовці, які входять до складу невоєнізованих (цивільних) формувань цивільної оборони, у разі виникнення аварійної ситуації повинні прибути на пункт збору формувань та взяти участь у локалізації й ліквідації аварії.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальні висновки

1. Аналіз транспортної проблеми м. Дніпра та станцій метрополітену глибокого закладення свідчить, що створення альтернативної лінії Дніпровського метрополітену, яке ґрунтується на історичному досвіді, дозволяє створення ефективного транспорту, а варіант пересадочного вузла з двох станцій, об'єднаних пересадочними комунікаціями, є найбільш вдалим, оскільки дозволяє перспективний розвиток лінії в майбутньому.

2. Аналіз інженерно-геологічних умов і особливостей матеріалу конструкції станційної оправи надали змогу розробити найбільш адекватні скінченно-елементні моделі, а також методику математичного моделювання станції «Майдан» (альтернативна лінія) в пілонному та колонному варіантах на основі методу скінченних елементів.

3. Проведене математичне моделювання станції «Майдан» (альтернативна лінія) в пілонному варіанті та аналіз еквівалентних напружень свідчить про те, що в деяких точках концентрації запаси міцності знаходяться в межах 6,4...134,8 рази (чавунна оправа) та 1,47...151, 3 рази (залізобетонна оправа). При цьому, найбільш напруженим місцем є точка приєднання пілона та оправи, тобто зниження запасу міцності є тільки локальним, а в середньому запаси міцності знаходяться в межах 8...15 разів (чавунна оправа) та 3...13 разів (залізобетонна оправа), тобто з позиції конструктивної схеми застосування пілонної станції глибокого закладення є доцільним.

5. Дослідження впливу кроку колон на загальний напружено-деформований стан довело, що критичний крок колон для наданих умов складає $b_{\delta\delta}=39,5$ м, тобто крок колон можна було збільшити до $b=6...8$ м, причому максимальні еквівалентні напруження складали б близько 3,0 МПа.

6. Детально розроблена технологія БВР проходки станційних тунелів та основи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Бібліографічний список

1. Айвазов, Ю. Н. Взаимодействие массива горных пород с обделкой подземного сооружения. Автореф. дис. ... докт. техн. наук [Текст] / Ю. Н. Айвазов. – Ленинград: ЛГИ, 1989. – 36 с.
2. Айвазов, Ю. Н. Ускоренные методы расчёта тоннельных обделок. Учебное пособие [Текст] / Ю. Н. Айвазов. – К.: КАДИ, 1996. – 127 с.
3. Айвазов, Ю. М. Контактна задача для багат шарнірних оправ транспортних тунелів [Текст] / Ю. М. Айвазов // У кн.: Автомобільні дороги і дор. буд-цтво, Київ : КАДІ, 2002. – Вип. 64. – С. 1-9.
4. Айвазов, Ю. М. Проектування метрополітенів (у 3-х частинах). Навчальний посібник. Частина 1 [Текст] / Ю. М. Айвазов. – Київ : НТУ, 2006. – 166 с.
5. Айвазов, Ю. М. Проектування метрополітенів (у 3-х частинах). Навчальний посібник. Частина 2 [Текст] / Ю. М. Айвазов. – Київ : НТУ, 2009. – 216 с.
6. Айвазов, Ю. М. Цілком збірна оправа односклепінчастих станцій метрополітену глибокого закладення [Текст] / Ю. М. Айвазов, Д. В. Кот // Вісник НТУ, 2010. – Ч.1. – №21. – С. 99-103.
7. Баженов, В. А. Полуаналитический метод конечных элементов в механике деформируемых тел [Текст] / В. А. Баженов, А. И. Гусляр, А. С. Сахаров, А. Г. Топор. – Киев: НИИ строительной механики, 1993. – 376 с.
8. Барбакадзе, В. Ш. Расчет и проектирование строительных конструкций и сооружений в деформируемых средах [Текст] / В. Ш. Барбакадзе, С. Мураками. – Москва : Стройиздат, 1989. – 472 с.
9. Большаков, В. И. Основы метода конечных элементов [Текст] / В. И. Большаков, Е. А. Яценко, Г. Соссу и др. – Днепропетровск: ПГАСиА, 2000. – 255 с.
10. Булычев, Н. С. От гипотез горного давления к теории расчета подземных сооружений [Текст] / Н. С. Булычев // Подземное строительство России на рубеже XXI века, Москва 15-16 марта 2000 г. – Москва : ТАР, 2000. –

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

С. 105-111.

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

12. Городецкий, А. С. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений [Текст] / А. С. Городецкий, В. И. Заворицкий, А. И. Лантух-Лященко, А. О. Рассказов. – Москва : Транспорт, 1981. – 143 с.

13. Гузиєнко, М. В. Розробка альтернативного виду міського транспорту із загальним підвищенням рівня безпеки пасажирів / М. В. Гузиєнко, Л. А. Сухіна // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2019. – № 16. – С. 30-37.

14. Демешко, Е. А. Современные методы прочностных расчетов в 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.

15. 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.

16. Заворицкий, В. И. Проектирование подземных транспортных сооружений [Текст] / В. И. Заворицкий. – К.: Будівельник, 1975. – 204 с.

17. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О. Зенкевич. – Москва : Мир, 1975. – 542 с.

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

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 их анализа [Текст] / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Киев : Сталь, 2002. – 600 с.
23. Петренко, В. Д. Особенности работы конструкции как основа оптимизации ее конструктивных элементов [Текст] / В. Д. Петренко, А. Л. Тютюкин // Міжвід. наук.-тех. зб. наук. праць «Будівельні конструкції». – Київ: НДІБК, 2002. – Вип. 56. – С. 134-141.
24. Петренко, В. Д. Пространственный расчет станции метрополитена с интерпретацией окружающего массива как упруго-вязко-пластического [Текст] / В. Д. Петренко, А. Л. Тютюкин // Міжвід. зб. наук. праць «Геотехнічна механіка». – Дніпропетровськ: Ін-т геотехнічної механіки НАН України, 2002. – Вип. 40. – С. 194-202.
25. Петренко, В. Д. Порівняльний аналіз напруженого стану конструкцій станцій односклепінчастого типу мілкого закладення [Текст] / В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін, М. В. Харатян, В. І. Петренко // Зб. наук. праць ДНУЗТу імені академіка В. Лазаряна «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика». – Дніпропетровськ: Вид-во ФОП Удовиченко О.М., 2012. – Вип. 3. – С. 127-131.
26. 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. – Д.: Нова ідеологія, 2010. – 56 с.
27. Петренко, В. Д. Методичні вказівки до курсового й дипломного проектування «Станція метрополітену глибокого закладення (конструкції та спорудження)» [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, О. Л. Тютюкін, Д. В. Тютюкін. – Д.: Нова ідеологія, 2015. – 30 с.
28. Петренко, В. Д. Методичні вказівки до курсового й дипломного

					011.150008.MP.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проектування «Станція метрополітену мілкого закладення (конструкції та спорудження)» [Текст] / В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, О. Л. Тютюкін. – Д.: Нова ідеологія, 2015. – 30 с.

29. 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.

30. Петренко, В. И. Чисельное обоснование выбора конструкции станции односводчатого типа в процессе проектирования [Текст] / В. И. Петренко, В. Д. Петренко, А. Л. Тютюкин. // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСА, 2008. – Вып. 47. – С. 459-466.

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

32. Сапрыкин, Л. Д. Опыт сооружения станции метрополитена из сборного железобетона [Текст] / Л. Д. Сапрыкин // Транспортное строительство. – 1963. – № 8. – С. 28-31.

33. Тютюкін, О. Л. Основи енергетичного підходу до аналізу напружено-деформованого стану системи «кріплення-масив» [Текст] / О. Л. Тютюкін // Вісник ДНУЗТу імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ: Вид-во ДПТУ, 2009. – Вип. 26. – С. 141-146.

34. 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.

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

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

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

37. Шашенко, А. Н. Геомеханические процессы в породных массивах [Текст] / А. Н. Шашенко, Т. Майхерчик, Е. А. Сдвижкова. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2005. – 319 с.
38. Юркевич, П. Б. Подземное проектирование – комплексный подход [Текст] / П. Б. Юркевич // Метро и тоннели. – 2002. – № 5. – С. 24-29.
39. Augherbaugh, N. Underground appeal is on the rise. [Текст] / N. Augherbaugh, M. Ertent // – «Rock Products». – 1988. – №11. – pp. 16-23.
40. SCAD для пользователя [Текст] / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. В. Перельмутер и др. – К.: ВВП «Компас», 2000. – 332 с.
41. Gang Zheng Numerical analyses of influence of overlying pit excavation on existing tunnels [Text] / Gang Zheng, Shao-wei Wei // Journal of Central South University, Tianjin: Central South University, 2008, Vol. 15, Issue 2 Supplement, p. 69-75.
42. 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.
43. Sokolov, V. N. Modeling principles of the engineering-geological properties for clays [Text] / V. N. Sokolov, V. A. Korolev, V. G. Shlykov // Proc. 30th International Geological Congress. Abstracts. Vol.3. – China, Beijing, 1996. – p. 383.

					011.150008.МР.2020.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		