НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

кафедра геоінженерії

Лепешко Анатолій Анатолійович

УДК 624.1

БУДІВНИЦТВО СТАНЦІЇ МЕТРОПОЛІТЕНУ З ОБҐРУНТУВАННЯМ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ОБРОБКИ

спеціальність: 184 «Гірництво», спеціалізації «Геоінженерія»

АВТОРЕФЕРАТ
магістерської дисертації професійного спрямування
на здобуття наукового ступеня магістра

Київ 2022

Дисертація є рукопис:

Робота виконана на кафедрі геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент, **Ган Анатолій Леонідович**, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Рецензент: начальник дільниці ТЗ-4 АТ «Київметробуд» **Терещенко В'ячеслав В'ячеславович**.

Захист відбудеться «20» грудня 2022 р. о 12 годині на кафедрі геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: м. Київ, вул. Борщагівська 115, к.22. ауд. 511.

Автореферат виставлено на сайті «10» грудня 2022 року.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. З сучасним розвитком міст та 11ї цілі сталого розвитку яка акцентована на сталому розвитку міст та спільнот, показує тенденцію до збільшення населених пунктів [1]. Таке збільшення як правило припадає на міста мільйонники, що в свою чергу свідчить про необхідність впровадження та будівництва системи метрополітену. Крім того, в існуючих міста які вже мають свій метрополітен, добудовують нові станції метро і тенденції до їхнього будівництва постійно зростає [2, 3, 4].

Будівельні технології на сьогоднішній день також розвиваються і мають особливе значення у використанні при складних умовах геологічного простору. Саме через потребу в розвитку будівництва метрополітенів дана робота набуває актуальності для її дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконані у роботі дослідження відповідають напрямку «фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави» Закону України № 2623-III від 08.06.2022 р. «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки».

Мета і задачі дослідження полягає в порівнянні та обґрунтуванні технології спорудження станцій метрополітену.

Основними задачами дослідження які висвітлюються в роботі є:

1. Виконано аналіз впливу геологічних та гідрогеологічних умов будівництва на технологію спорудження станції метрополітену.
2. Виконані розрахунки станції метрополітену.
3. Проведене обґрунтування технології спорудження станції метрополітену.
4. Розроблено стартап-проєкт

Об’єкт дослідження: будівництво станції метрополітену.

Предмет дослідження: конструктивні рішення обробки.

Методи дослідження: науково-методичну основу виконаних досліджень склали такі методи: системного аналізу, математичного моделювання, аналітичні методи аналізу.

Наукова новизна: полягає у визначенні параметрів кращого способу будівництва станції метрополітену у зазначених геологічних умовах.

Практичне значення одержаних результатів: можна використати при проєктуванні станцій метрополітену з врахуванням впливу навантажень від оточуючих геологічних факторів.

Дослідники: Айвазов Ю.М., Петренко В.Д., Тютькін О.Л., Шмиг Р.А., Боярчук В.М., Добряновський І.М., Барабаш В.М.

Апробація та публікації результатів дослідження. Дослідження результати та пропозиції теоретичних досліджень викладені в 2 наукових працях:

1. Лепешко А.А., Ган А.Л. «Вплив урбанізації на розвиток будівництва метрополітену». The 1st International scientific and practical conference “Progressive research in the modern world” (October 5-7, 2022) BoScience Publisher, Boston, USA. 2022. 660 p. Режим доступу до збірника: https://sci-conf.com.ua/i-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-progressive-research-in-the-modern-world-5-7-10-2022-boston-ssha-arhiv/

2. Ган А.Л., Ган О.В. Лепешко А.А. «Обґрунтування конструкції станції метрополітену мілкого закладання». Тези IX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів», 17 листопада 2022 року. – Житомир : Житомирська політехніка, 2022. – 125 с. ISBN 978-966-683-580-5

Ключові слова: метрополітен, станція метрополітену, будівництво, геологічні умови.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступна частина. В дипломній роботі проводиться поступовий та логічний зв'язок будівництва станції метрополітену на базі існуючих геологічних умов з проведенням аналізу параметрів на міцність, переміщення структурних елементів та підбором кращих варіантів основних конструктивних частин. Відповідно до визначених параметрів проводиться організація будівництва та розробляється стартап-проєкт. Відповідно до кожного з розділів зроблено висновки та загальний висновок по роботі.

У першому розділі проведено аналіз історичного розвитку метрополітенів та його будівництва в різних містах світу, враховано світовий досвід та вітчизняний. Розглянуто проблеми комплексного освоєння підземного простору та проведено аналіз існуючих геологічних умов як в регіоні так і території будівництва. Було проаналізовано нормативно-правові джерела відносно будівництва метрополітенів, організації, заходів безпеки, містобудівних, екологічних умов та інше.

Лінії метрополітену підрозділяються на:

• підземні (неглибокі та глибокі залягання);

• наземні, розташовані на поверхні землі;

• надземні, розташовані на шляхопроводах.

Принципи облаштування та роботи метрополітену та залізниці багато в чому схожі. Метро має таку ж ширину колії, як і магістральні залізниці. Робота метро проводиться у відповідності до графіку руху поїздів. Також тут діють Правила технічної експлуатації, інструкції з руху поїздів та інструкції сповіщень.

Станції метрополітену розташовують у місцях формування пасажиропотоків - на площах, перехрестях автомобільних доріг, біля залізничних і річкових вокзалів, стадіонів і парків, великих підприємств, у місцях перетину ліній метрополітену між собою та з лініями залізниці.

Якщо звернутися до історії розвитку метрополітену, то завдяки економічному, політичному та культурному розквіту Великобританії вже в середині XIX століття виникла необхідність вирішити проблему зростання

пасажиропотоку в столиці. Одним із рішень була організація руху в міських підземних тунелях, що дозволяло повною мірою використовувати швидкість, надійність і зручність пересування, оскільки тут немає переїздів і зустрічних транспортних і пішохідних потоків.

У Києві вперше виникла ідея про підземну залізницю у 1884 році. У 1949 році наказом Міністерства шляхів сполучення було створено Київметробуд. В 1949 році було прокладено перші тунелі, і вже в 1951 році сталося перше тунельне сполучення, між станціями «Арсенальна» та «Дніпро» [3]. Нещодавно у Києві планувалося будівництво четвертої лінії, і був також проект будівництва п'ятої.

В розвинених країнах за останні десятиліття була актуалізована проблема, щодо використання підземного простору у великих містах, відповідно така проблема є загальнодержавною і ґрунтується на залученні інвестицій, у тому числі приватних. Ця проблема пов’язана з подальшим розвитком інфраструктури мегаполісів: транспортної, енергетичної, екологічної тощо. Для великих міст України було розроблено стратегії розвитку підземного простору.

Інженерно-геологічні умови регіону будівництва досить складні. Територія складається з осадових порід різного віку. Станції метро являють собою просторову конструкцію, що піддається впливу сил тиску навколишніх порід. Інтенсивність силових впливів визначається властивостями розрізаних виробленням порід, характером пластів, гідрогеологічним режимом підземних і поверхневих вод і рядом інших геологічних особливостей, які підлягають дослідженню в процесі пошуків. При проектуванні станції метрополітену враховується різноманітність факторів інженерно-геологічного характеру та його взаємодії з навколишньою породою.

На сьогодні продовжує діяти концепція державної цільової програми будівництва та розвитку мережі метрополітенів на період до 2020 року затверджена розпорядженням Кабінетом Міністрів України в якій зазначається, що «існуюча мережа метрополітенів в Україні не задовольняє потреб міського населення в цьому виді транспорту. Питома вага метрополітенів у міських пасажирських

перевезеннях залишається значно нижчою ніж в багатьох містах Західної Європи» [5].

У другому розділі було проведено розрахунки будівельних конструкцій та порівняльну характеристику результатів ґрунтових деформацій. Детально розглянуто вибір конструкцій з залізобетону та проведення розрахунку технології спорудження станції з використанням тимчасового кріплення. Розглянуто види та розраховано тимчасового кріплення при проходці станцій тунелів.

Перед початком проведення розрахунків необхідно провести аналіз можливих конструктивних підходів влаштування станції метрополітену та вибрати найкращий тип. На рис. 1 зображено конструкцію склепінчастої станції.

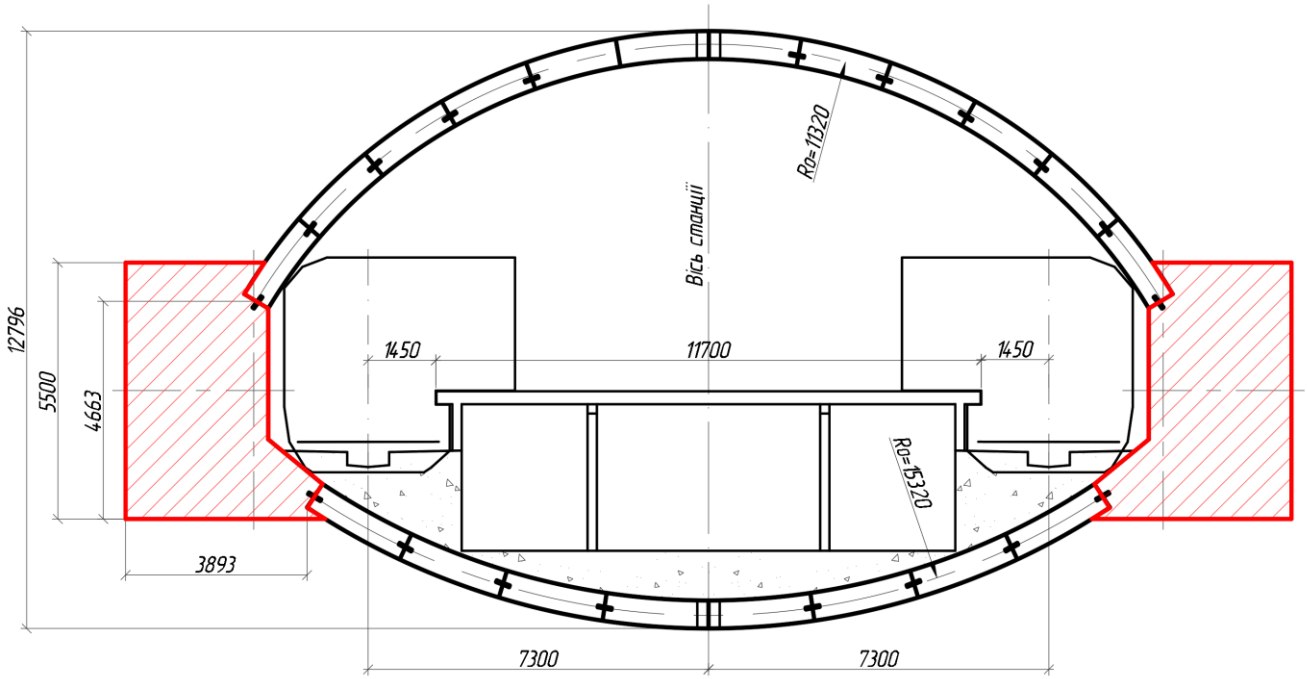

Рисунок 1 – Конструкція склепінчастої станції

Для вибору найкращого типу станції необхідно провести ряд досліджень які включають в себе показники міцності при різних умовах будівництва, в залежності від глибини закладання самої станції та її конструктивного рішення. При цьому слід звернути увагу на деформування ґрунтових масивів, які утворюються від навантажень геологічних тисків, з подальшим передаванням їх на конструктивні елементи станції.

Розглянуто 3 варіанти склепінчастої станції з різними їхніми конструктивними рішеннями.

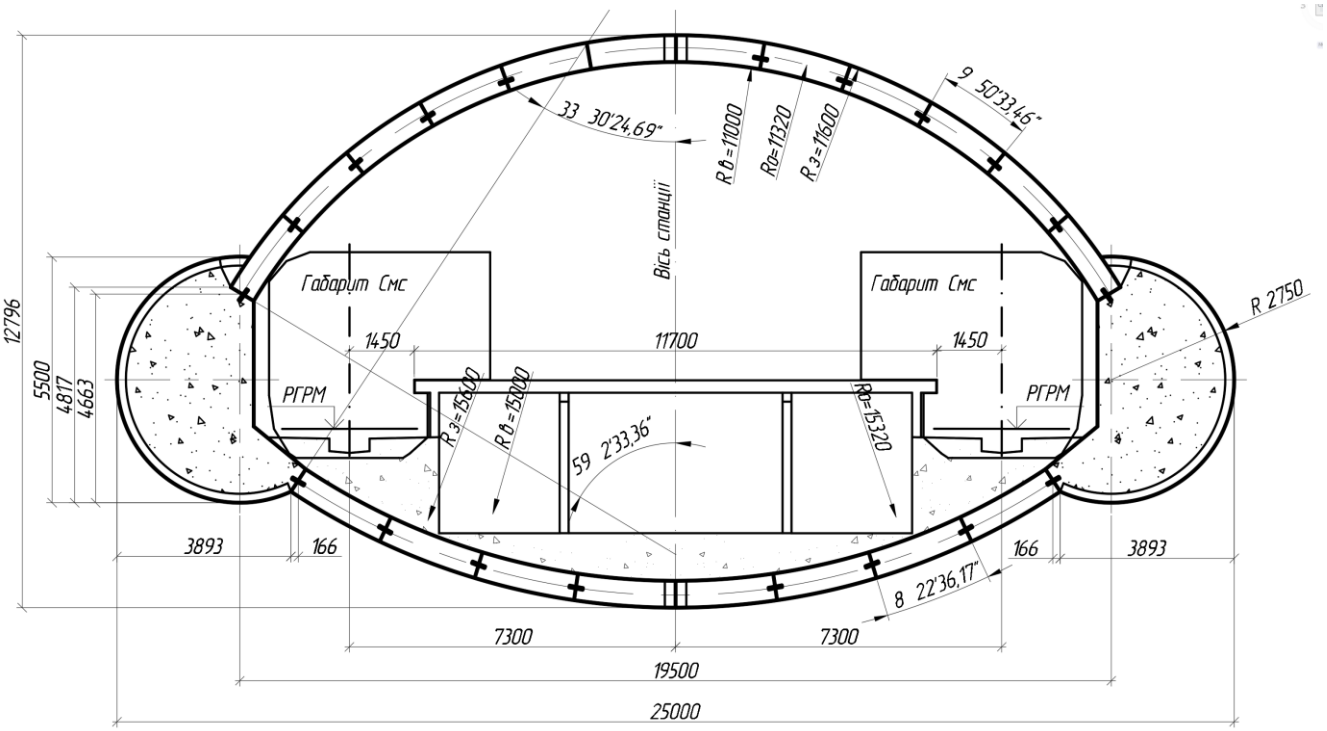

Рисунок 2 – Конструкція станції (1й варіант)

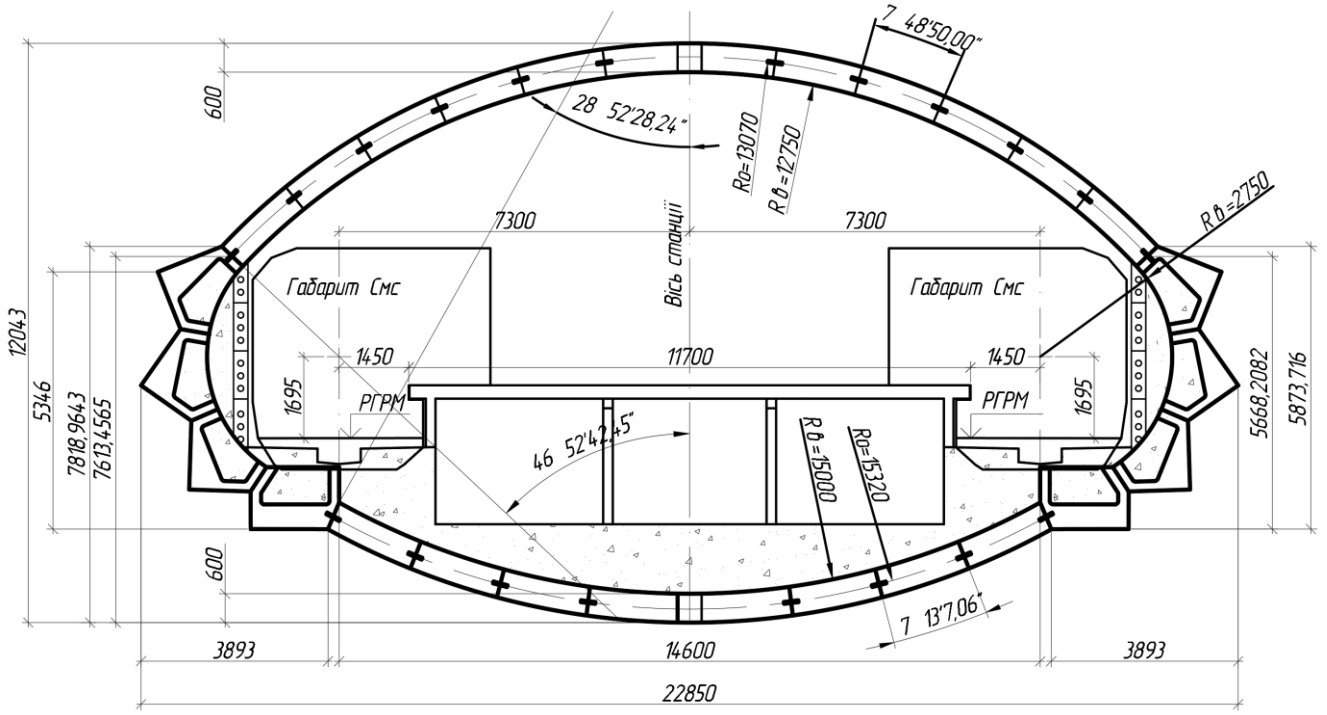

Рисунок 3 – Конструкція станції (2й варіант)

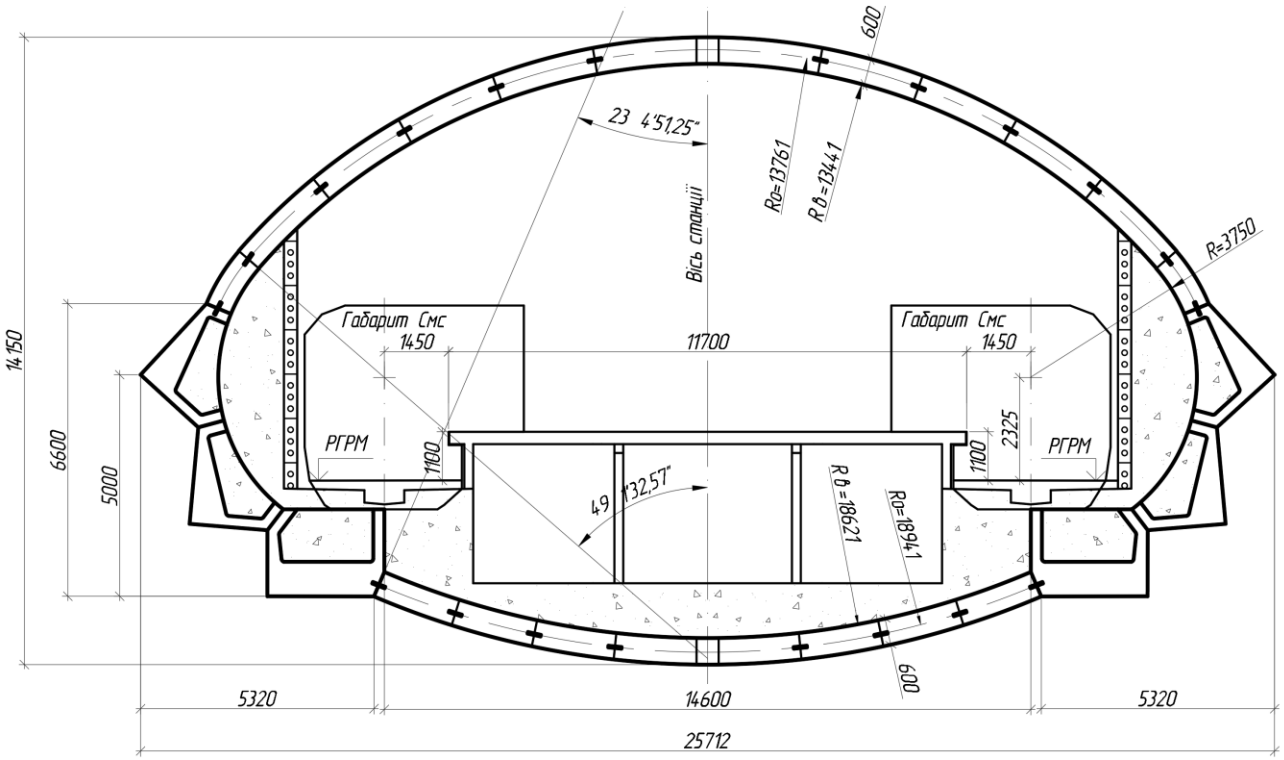

Рисунок 3 – Конструкція станції

Техніко-економічне порівняння варіантів конструкції обробки станції метрополітену доцільно проводити у вигляді таблиці.

Таблиця 1 – Об’єми основних будівельно-монтажних робіт по спорудженню станції

№ п/п	Найменування	Одиниця виміру	Об’єм		
			Варіант №1	Варіант №2	Варіант №3
1	Монолітний бетон В25	$м^3$	24,5	-«-	-«-
2	Збірний залізобетон гладких блоків В35	$м^3$	13,9	12,2	13,3
3	Збірний залізобетон ребристих блоків В45	$м^3$	-«-	4,7	5,75
4	Розробка породи відбійними молотками (f=1)	$м^3$	54,0	68,3	126,6
5	Розробка породи (f=1) при прохідці механізованим комплексом	$м^3$	35,6	-«-	-«-
6	Розробка породи екскаватором (f=1)	$м^3$	73,8	81,0	65,0

Таблиця 2 – Вартість основних будівельно-монтажних робіт по спорудженню станції

Найменування	Вартість, USD/$м^3$
Монолітний бетон В25	30
Збірний залізобетон гладких блоків В35	180
Збірний залізобетон ребристих блоків В45	220
Розробка породи (f=1) відбійними молотками	20
Розробка породи при прохідці механізованим комплексом (f=1)	15
Розробка породи екскаватором (f=1)	12

Таблиця 3 – Вартість основних будівельно-монтажних робіт по спорудженню станції

Найменування	Одиниці виміру	Вартість		
		Варіант №1	Варіант №2	Варіант №3
Монолітний бетон В25	USD	735,0	-«-	-«-
Збірний залізобетон гладких блоків В35	-«-	2502,0	2196,0	2394,0
Збірний залізобетон ребристих блоків В45	-«-	-«-	1034,0	1177,0
Розробка породи (f=1) відбійними молотками	-«-	1080,0	1366,0	2532,0
Розробка породи (f=1) при прохідці механізованим комплексом	-«-	534,0	-«-	-«-
Розробка породи (f=1) екскаватором	-«-	885,6	972,0	780
Усього вартість	USD	5736,6	5568,0	6883,0

На підставі техніко-економічного аналізу варіантів за укрупненими показниками, що подані в таблицях 1, 2, 3, прийнято за рекомендований варіант 3.

В третьому розділі було розроблено організацію будівництва станції метрополітену, в якій враховувалися загальні положення, щодо самої організації, детально розроблено організацію для будівельного майданчику та гірничого комплексу. Також було визначено необхідність будівельних матеріалів, конструкцій та вузлів.

Результатом розрахунків визначено, що для спорудження станції необхідно 399 кілець оправи, для підплатформеної стіни 1870шт. блоків розміром 0,4х0,2х3 м, для колійних стін 306 блоків висотою 3,5 м, водовідвідних зонтів – 422 шт, для улаштування колії необхідно 638,4 м^3 бетону. Проведені розрахунки допомагають в цілому зорієнтуватися на потреби матеріалів при спорудженні станції.

Будівництво тунельних споруд вважається одним із найскладніших видів будівельних робіт, що пояснюється стиснутою площею виїмки та виконанням робіт в умовах дії гірського та гідростатичного тиску з боку ґрунтового масиву. За цих умов організація будівництва тунелів повинна бути спрямована на чітку та організовану роботу, суворе дотримання технології виконання всіх операцій, неухильне дотримання вимог охорони праці. [6, 7, 8, 9].

Враховуючи попередні висновки, в магістерській роботі пропонується наступний спосіб будівництва станційних тунелів із застосуванням тимчасового кріплення виробок залежно від стану порід масиву, що оточує виробки.

На рис. 4 показана послідовність прокладання тунелів станції з поділом робіт на наступні етапи.

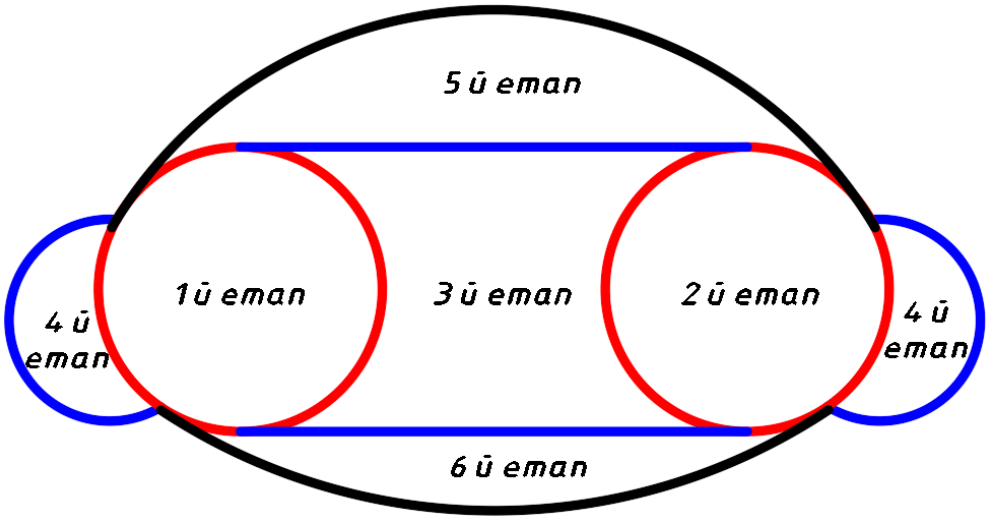

Рисунок 4 – Порядок розробки ґрунту при проходці станційного тунелю

Будівельний майданчик використовується для організації будівельно-монтажних робіт зі зведення об’єкта (рис. 5).

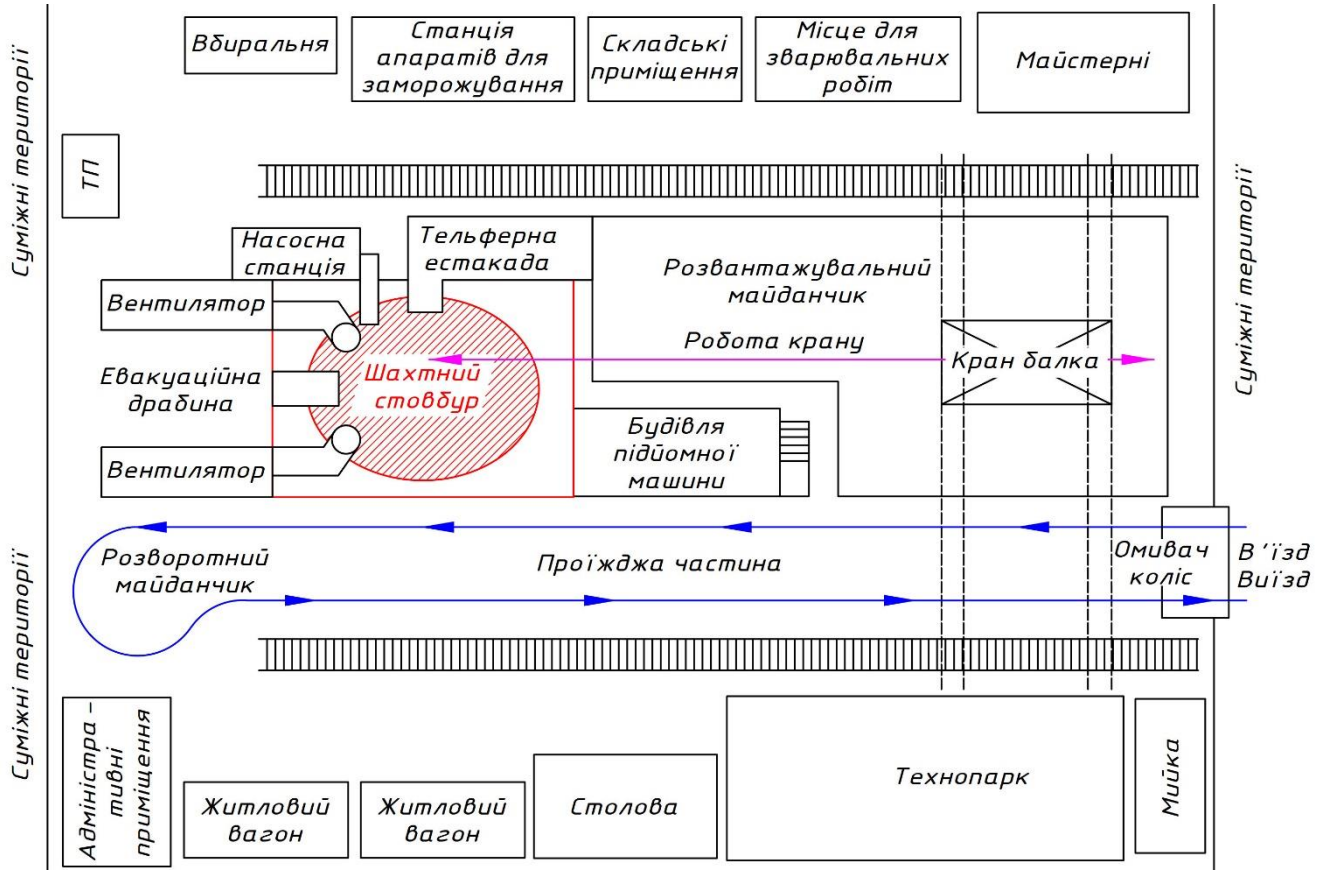

Рисунок 5 – Схема будівельного майданчика

В четвертому розділі запропоновано стартап-проєкт, ідея якого полягає у впровадженні нового конструктивного підходу до влаштування станції метрополітену склепінчастого типу. Враховуючи комплекс робіт який необхідно буде надавати з виконання відповідних проєктних розрахунків та математичних моделей. В подальшому ідея має можливість масштабуватися шляхом суміжних варіантів використання нових технологій.

У розділі також виконано маркетинговий аналіз стартап-проєкту, в якому визначено загальний напрямок впровадження та сектор використання запропонованих послуг. Проведено аналіз ринкових можливостей, щодо реалізації проєкту в існуючих умовах, враховуючи можливості конкурентів та порівняння їхніх основних переваг і недоліків. Також розроблено стратегії ринкового впровадження.

Через збільшення попиту у великих містах на підземне будівництво та розвиток метрополітенів, а також забудова підземного простору і особливо в місцях зі складними інженерно-геологічними умовами, вимагає розробки нових і вдосконалення існуючих технологій їх будівництва.

За результатами теоретичних досліджень було проведено оцінку об’ємів та вартості будівельних конструкцій для спорудження склепінчастої станції метрополітену, розглянуто 3 варіанти та вибрано найдоцільніший для влаштування при існуючих умовах. При цьому було проаналізовано деформації ґрунтів при закладанні різних типів під дією вібраційних та силових навантежень на конструкції.

Ідея проєкту полягає у наданні послуг з розрахункових визначень станції метрополітену на її міцнісні парамети, надання пропозицій, щодо підвищення міцнісних характеристик, забезпечення надійності та довговічності несучих залізобетонних конструкцій підземних споруд з врахуванням досліджених конструкцій станції метрополітену. Опис стартап-проекту та ідеї наведено в таблиці 4

Таблиця 4 – Опис стартап-проєкту та ідеї

Опис ідеї	Напрямки застосування	Користь для замовника
Використання нового конструктивного рішення для склепінчастої станції метрополітену	Комерційний – надання послуг з розрахункових визначень конструкцій станцій метрополітену: - проведення розрахункових робіт, для визначення типів конструкції; - моделювання та проєктування станції.	- Отримання обґрунтування обґрунтованих конструктивних рішень станції метрополітену. - Сучасне використання моделювання, розрахунків, проєктування;

Основний перелік ринкових можливостей та загроз побудовано на базі аналізу існуючих факторів можливостей та загроз у маркетинговому середовищі. Відповідно ринкові можливості та загрози є результатами впливів різних факторів, в залежності від яких, ще не є повністю реалізованою на існуючому ринку.

Таблиця 4.13 – SWOT - аналіз для стартап-проєкту

Сильні сторони	Слабкі сторони
- Ефективність - Економічність - Надійність - Якість - Сучасність	- Терміни адаптації на ринку - Нова технологія
Можливості	**Загрози**
- Підвищення ефективності - Вдосконалення технологій - Гнучкість впроваджувальних умов - Застосування нових методів	- Економічна нестабільність - Наявність похибок - Існуюча конкуренція - Переконання споживачів

На базі складеного SWOT-аналізу розробляються можливі альтернативні шляхи для впровадження продукту на існуючому ринку з врахуванням його поведінки та переліком заходів реакції на ту чи іншу ситуацію.

ВИСНОВОК

У роботі було проведено аналіз вітчизняного та світового досвіду в якому розглядаються поняття, визначення, історичні довідки та перспективи розвитку будівництва метрополітенів, переважно в Києві. Також було виконано аналіз існуючих проблем комплексного освоєння підземного простору, інженерно-геологічних умов, нормативно-правової бази для проєктування та будівництва станцій метрополітену.

Базуючись на проведеному аналізі геологічних умов, та тенденцій розвитку будівництва було проведено вибір типу конструкцій станції для її спорудження, проаналізовано характеристику деформувань при будівництві колонної та склепінчастої станції, проведено розрахунки параметрів станції, обґрунтування конструкуцій станції метрополітену та пораховано об’єми з вартістю основних будівельно-монтажних робіт для спорудження станції.

Показано вирішення проблем комплексного освоєння підземного простору та наведено розробку з впровадженням нових ресурсозберігаючих і техногенно-безпечних технологій будівництва метрополітенів і тунелів.

Після визначення конструктивних параметрів склепінчастої станції, було розглянуто та описано організацію будівництва, з поетапним виконанням будівельних робіт. Організація будівництва включила в себе планування будівельного майданчику, розробку ґрунтів та визначення кількості будівельних матеріалів.

Було розроблено стартап-проєкт з впровадження нової технології будівництва склепінчастої станції метрополітену. Технологія вимагає врахування ґрунтових умов будівництва шляхом проведення розрахунку та моделювання деформаційних впливів на конструкції станції. В стартап-проєкті було визначено цілі, етапи та обґрунтовано ідеї самого проєкту з визначенням загальних напрямків його розвитку. Проведено аналіз конкурентного середовища та ринкових можливостей реалізації стартап-проєкту.

АНОТАЦІЯ

Проведено аналіз існуючих геологічних умов для будівництва станцій метрополітену та запропоновано три варіанти конструктивних рішень які були обраховані та визначено кращий варіант для улаштування. Станція метрополітену та її конструкції піддаються різним зовнішнім навантаженням під дією ґрунтових мас, які впливають на зміщення самої конструкції. В залежності від геологічних умов можуть відбуватися різні переміщення різних типів конструкуцій. В залежності від прийнятих проєктних рішень можна вивести кращий варіант для використання його на будівництві. Рішення проблеми полягає у пошуку кращої конструкції яка буде відповідати за якісними показниками та економічно доцільною.

Ключові слова: метрополітен, станція метрополітену, будівництво, геологічні умови.

ANNOTATION

An analysis of the existing geological conditions for the construction of metro stations was carried out and three options for constructive solutions were proposed, which were calculated and the best option for the arrangement was determined. The subway station and its structures are subjected to various external loads under the action of soil masses, which affect the displacement of the structure itself. Depending on the geological conditions, different types of constructions may move differently. Depending on the project decisions taken, it is possible to derive the best option for its use in construction. The solution to the problem is to find a better design that will meet the quality indicators and is economically feasible.

Key words: metro, metro station, construction, geological conditions.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ АВТОРЕФЕРАТУ

1. The 17 global goals. Unaited Nation. Retriewed form: https://www.globalgoals.org/goals/.

2. Офіційний сайт "Київський метрополітен" / Розвиток метрополітену – важлива складова Стратегії розвитку міста Києва до 2025 року. Режим доступу: http://metro.kyiv.ua/node/2222.

3. Офіційний сайт "Київський метрополітен" / Історія метро - від першої ідеї до першої черги. Режим доступу: http://metro.kyiv.ua/node/110.

4. Стратегічний план розвитку Комунального підприємства "Київський метрополітен" на середньостроковий перідо з 2020 до 2022 року. Київ – 52с.

5. Розпорядження Кабінету Міністрів України.Про схвалення Концепції Державної цільової програми будівництва та розвитку мережі метрополітенів на період до 2020 року. Документ 1361-2011-р, Прийняття від 28.12.2011. Режим доступу: . https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1361-2011-%D1%80#Text.

6. Власов, С. Н. Строительство метрополитенов [Текст] / под ред. С.Н. Власова. - Москва : Транспорт, 1987. - 278 с.

7. Калиничев, В. П. Метрополитеньї [Текст] / В. П. Калиничев. - Москва : Транспорт, 1988. - 280 с.

8. Петренко В.І. Досвід освоєння підземного простору державною корпорацією «Укрметротоннельбуд». / Зб. наук. праць НДАУ. - Дніпропетровськ: НДАУ, 1997. - С. 125-128.

9. Федунець, Б. І. Будівництво великогабаритних тунелів у мегаполісі [Текст] / Б. І. Федунець, Є. В. Петренко // Метро та тунелі, 2002. - № 2. - С. 23-25.

10. Стартап-проект. Рекомендації до виконання розділу магістерської дисертації «Розроблення стартап-проекту» Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 50 с. [Електронний ресурс]: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27914.