

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»

Кашталер Андрій Степанович

УДК 624.1

**УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ЗАКРІПЛЕННЯ  
ГРУНТОВОГО МАСИВУ ПРИ БУДІВНИЦТВІ  
ПЕРЕГІННОГО ТУНЕЛЮ МЕТРОПОЛІТЕНУ**

Спеціальність 184 Гірництво (Геотехнічне і міське підземне  
будівництво)

Автореферат  
магістерської дисертації (за професійним спрямуванням)

Київ 2018

Дисертація є рукопис.

Робота виконана на кафедрі геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник	кандидат технічних наук <b>Стовпник Станіслав Миколайович,</b> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», завідувач кафедри геоінженерії
Рецензент	

Захист відбудеться «\_\_\_» грудня 2018 року о \_\_\_ годині на засіданні ЕК кафедри геоінженерії у «КПІ ім Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ-56, вул Борщагівська, 115, ауд.511.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Актуальним для тунелів мілкового закладення є закріплення слабких водонасичених ґрунтів в їх основах за допомогою різних хімічних реагентів. У зв'язку з цим прийнято широко використовувати хімічне армування ґрунтів на основі бурозмішувальної технології. Її суть полягає у тому, що в ґрунтах пробурюють свердловини, в які занурюються ін'єктори з монітором, що обертається, через які здійснюється нагнітання в'язучих у вигляді суміші цементу, рідкого скла і інших компонентів. Це забезпечує утворення ґрунтоцементних або ґрунтосилікатних конструкцій, які суттєво укріплюють ґрунтові масиви, збільшуючи їх міцнісні характеристики. Досвід будівництва та експлуатації підземних об'єктів підтвердив позитивні аспекти освоєння підземного простору, що свідчить про високий рівень його економічної доцільності. Відповідно - освоєння підземного простору в Україні є загальнодержавною справою, її ресурсом і стратегією, важливим напрямком економічної політики розвитку держави в нових умовах, що має велике соціальне значення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано на кафедрі геоінженерії «КПІ ім. Ігоря Сікорського» відповідно до плану наукових досліджень кафедри і є складовою частиною НДР.

### **Мета та задачі дослідження.**

Метою роботи є удосконалення способу закріплення ґрунтового масиву при будівництві перегінного тунелю метрополітену.

Вказана мета досягається вирішенням наступних задач:

- вивчити та проаналізувати існуючі методи закріплення ґрунтових масивів;
- проаналізувати фізико-механічні властивості ґрунтових масивів до і після закріплення;

- розробити просторову математичну модель процесу формування контуру закріпленої зони з обробкою тунелю з врахуванням виникаючих характерних зон деформацій

*Предмет дослідження* – процеси зміцнення масиву вологонасиченого ґрунту, що вміщує перегінний тунель, який знаходиться в основі гірничотехнічної споруди, підданої зміцненню методом ХЗ.

*Об'єкт дослідження* є існуючі способи закріплення ґрунтового масиву при будівництві перегінного тунелю метрополітену.

**Методи дослідження.** При вирішенні поставлених в роботі завдань використано наступні методи досліджень: метод аналізу та узагальнення відомих результатів практичного досвіду при закріпленні ґрунтового масиву при будівництві перегінного тунелю метрополітену.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в наступному:

- обґрунтовано удосконалення способу закріплення ґрунтового масиву під час будівництва перегінного тунелю метрополітену хімічним закріпленням.

- надано рекомендації до реалізації відповідно до техніко-економічного обґрунтування.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати та положення дисертаційної магістерської роботи, які виносяться на захист, отримані автором самостійно.

**Апробація результатів дисертаційної роботи.** Основні положення магістерської дисертації доповідалися на міжнародній науково-технічній конференції: Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих вчених «Перспективи розвитку будівельних технологій»(м. Дніпро, Україна, 2017 р);

## **Структура і обсяг дисертації.**

Магістерська дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, який містить найменувань. Основний текст викладено на 101 сторінках друкованого тексту, містить 26 рисунків, 10 таблиць.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обгрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет досліджень, наведено методи проведення досліджень, показано практичне значення отриманих в дисертації результатів, наведено дані про впровадження результатів роботи, їх апробацію.

**У першому розділі** проаналізовано сучасний стан досліджень конструктивних рішень закріплення ґрунтів, розглянуто теоретичні дослідження методу закріплення ґрунтів та фундаментів.

Проведено аналіз існуючих нормативних документів

1) ДБН А.3.1-5-2016 організація будівельного виробництва Спорудження тунелів необхідно здійснювати згідно затверджених проектів організації будівництва і виконання робіт, розроблених відповідно до ДБН А.3.1-5. З урахуванням специфіки підземного будівництва споруд метрополітену, окрім наведеної в ДБН А.3.1-5.

2) ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009 Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Виконання вимірювань, розрахунків та контроль точності геометричних параметрів.

3) Геодезично-маркшейдерські роботи. Дані вимоги щодо проведення геодезично-маркшейдерських робіт поширюються на будівництво нових, розширення, реконструкцію і технічне переоснащення діючих ліній і споруд метрополітену. Слід також враховувати положення СНиП 3.01.03.

#### 4) Спорудження несучих опор тунелів

При спорудженні збірних залізобетонних опор тунелів, а також монолітних бетонних і залізобетонних опор, крім правил цього розділу, слід виконувати правила, встановлені СНиП 3.03.01 «Несущие и ограждающие конструкции».

**У другому розділі** розглянуто інженерно-геодезичні та інженерно-геологічні умови будівництва з конструкторськими рішеннями тунелів мілкового закладання. Наведені основні та допоміжні роботи для підготовчого та основного періодів будівництва.

У підставі геологічного розрізів по лініях 1-1, 11-11 і 111-111 лежать алювіальні відкладення заплавної тераси р. Дніпро. Вони представлені дрібнозернистими пісками з лінзами суглинків (до 2 м) і супісків (до 1.0 м). На алювії розташовується шар намитого ґрунту потужністю від 2.0 до 5.0 м, представлений дрібнозернистими пісками середньої щільності з прошарками супісного матеріалу. Між намитим і алювіальним піском розташовується шар рослинного ґрунту потужністю до 0.6 м. Алювіальна товща літологічно неоднорідна: верхня частина, що примикає до намитого піску, представлена дрібнозернистими пісками з домішкою пилоподібного (пелітового) матеріалу.

Ґрунтові води алювіальних відкладень є частиною гідродинамічної системи з руслом р. Дніпро. Рівень ґрунтових вод на ділянці робіт залежить від рівня в Дніпрі, атмосферних опадів і втрат водонесущих магістралей. Рівень ґрунтових вод змінюється не суттєво. Вони знаходяться на глибинах від 3.5 до

5.0 м. Підйом ґрунтових вод на період паводку може перевищувати нормальний рівень на 3 м, досягаючи абсолютної позначки 96 м. Ґрунтові води неагресивні.

Було проведено розрахунок по ширині тріщин у стадії експлуатації. Знаходимо максимальний момент від всіх навантажень при коефіцієнті.

Момент від дій постійних та тимчасових навантажень на половину прольоту панелі:

$$M_{tot} = \frac{1}{2} \cdot \frac{248.77 \cdot 5.3^2}{8} = 436.75 \text{кНм};$$

Від постійних навантажень:

$$M_c = \frac{1}{2} \cdot \frac{219.6 \cdot 5.3^2}{8} = 385.5 \text{кНм}.$$

У зв'язку з появою можливості виникнення тріщини при виготовленні уточнюємо реакції  $R_2$ :

$$R_2 = \theta \cdot P_2' = 0.35 \cdot 528.6 = 185.01 \text{кН}.$$

$$a_{crc} = \varphi_l \cdot \eta \cdot \delta \cdot b \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot d = 0.715 \cdot 1 \cdot 2.253 \cdot 1.45 \cdot \frac{783.06}{19 \cdot 10^4} \cdot 27.07 = 0.26 \text{мм} \leq \left[ a_{crc} \right] = 0.3 \text{мм}$$

Умова виконується. Конструкція ребристої панелі тріщиностійка та розкриття тріщин при дотримуванні нормативних умов експлуатації споруди безпечні.

## Організація робіт

Основний принцип організації робіт при відкритому способі робіт полягає в забезпеченні комплексного будівельного циклу, при якому повністю виключаються взаємні перешкоди при виконанні окремих технологічних процесів.

Будівельний цикл починається з підготовчих робіт, які передбачають залежно від місцевих умов знесення будівель і інших будов, що потрапляють в зону будівництва, вирубку і пересадку зелених насаджень, розчищення і планування території, влаштування автодоріг і тимчасових водовідвідних каналів, посилення фундаментів будівель, близько розташованих до котлованів, перекладку або підвіску підземних комунікацій, штучне зниження ґрунтових вод або заморожування слабких водонасичених ґрунтів.

### При хімічному закріпленні ґрунтів

Роботи виконуються по маркшейдерським вісям та позначкам пере початком робіт необхідно розробити контрольні траншеї глибиною до 1,2 м. Ін'єкційні роботи проводяться одночасно двома установками через ін'єкційні свердловини зовнішніх рядів (по відношенню до тунелів). По закінченні робіт по зовнішнім рядам свердловин приступають до робіт на внутрішніх рядах свердловин також двома установками (№1, №2) одночасно з визначеним інтервалом.

**Третій розділ** присвячений обґрунтуванню зони взаємодії «тунель-ґрунтовий масив».

Враховуючи гідрогеологічні умови в районі будівництва, тобто, нестійкість механічних властивостей ґрунту в районі проведення робіт, високу динаміку підземних вод, їх досить високий рівень в районі пролягання тунелів метро, і динаміку в залежності від погодних умов, рішенням проблеми є закріплення



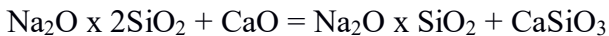
грунту уздовж стінок тунелів, з метою виключення їх просідання за механізмом , методом тампонажу.

Виходячи з гідрогеологічних умов пропонованої ділянки робіт пропонується закріплення ґрунту проводити шляхом силікатизації.

Для скорочення термінів схоплювання цементних розчинів додають прискорювачі схоплювання і активні домішки  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $n\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{AlCl}_3$ . Найкращий з них  $\text{CaCl}_2$ , що додається в кількості 1 - 2,2% від ваги цементу; він скорочує терміни схоплювання в 2 - 2,5 рази і збільшує міцність цементного каменю в перші дні його твердіння.

При додаванні розчинного скла до води, що йде на зачиннення цементу, його терміни схоплювання сильно скорочуються (див. Таблиця 3.4).

Крім того, проходить ще одна реакція, між рідким склом і вапном, що знаходиться в цементі с утворенням силікату кальцію:



У цементі міститься три види силікатів кальцію:  $\text{CaSiO}_3$ ,

Залежно від їх співвідношення, цементи мають різні властивості, зокрема, час схоплювання. Чим більше в цементі трьохкальцієвого силікату, тим менше час схоплювання. Саме тому синтез трьохкальцієвого силікату при додаванні в цементний розчин рідкого скла збільшує його зміст і, відповідно, скорочує час схоплювання.

Таблиця 3.4 - Вплив домішки розчинного скла на терміни схоплювання цементу

Домішка розчинного скла в% від маси цементу	Початок схоплювання (годину - хв)	Кінець схоплювання (годину - хв)

Про характер впливу розчинного скла на міцність, можна судити з Таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Вплив домішок розчинного скла на міцність в % (Для цементно-піщаного розчину пропорції 1: 3 і В / Ц = 0.58)

Вік вдобі	Домішка розчинного скла				

Рідке скло, як прискорювач твердіння цементів, знаходить застосування в тих випадках, коли отримати високу початкову міцність важливіше, ніж високу в подальшу, 28-ми добову

**У четвертому розділі** були проведені лабораторні дослідження і наведено формування розрахункової схеми за допомогою програмного комплексу Plaxis, Midas.

Програмний продукт PLAXIS являє собою пакет прикладних обчислювальних програм для звичайно - елементного аналізу напружено - деформованого стану системи основа - фундамент – споруда в умовах плоскої і осесиметричній задачах.

**П'ятий розділ** роботи присвячений техніко-економічному обґрунтуванню з рекомендаціями до впровадження (стартап проекту). При будівництві перегінного тунелю метрополітену удосконаленим хімічним способом закріплення економічний ефект склав 16%.

## ВИСНОВКИ

Магістерська є науково-дослідною роботою, в якій теоретично обґрунтовано механізм формування міцністних властивостей прилеглого ґрунтового масиву при виконанні хімічного закріплення з урахуванням фізико-механічних властивостей оброблюваних середовищ і досягнуто вирішення актуальної науково-практичної проблеми формування несучої здатності основ тунелю у піщаних ґрунтах за рахунок застосування прогресивного методу додаткового ущільнення, який дозволяє використати потенційну несучу здатність ґрунтового масиву, що суттєво підвищує техніко-експлуатаційні параметри зведених за цим методом підземних споруд. Результати теоретичних і експериментальних досліджень дозволили встановити залежність основних параметрів процесів формування прилеглих ґрунтових від фізико-механічних властивостей середовищ і геометричних параметрів тунелю.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Стовпник С.М, Кашталер А.С. Розробка способу захисту ґрунтового масиву від розмивання навколо підземного

тунелю/ Стовпник С.М, А.С. Кашталер А.С / «Перспективи розвитку будівельних технологій» матеріали 11-ї міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених, Дніпро, 2018.

2. Стовпник С.М, Кашталер А.С. Розробка способу захисту ґрунтового масиву від розмивання навколо підземного тунелю/ Стовпник С.М, А.С. Кашталер А.С / «Перспективи розвитку гірничої справи раціонального використання природних ресурсів» матеріали 5-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених, Житомир, 2018.

3. Кашталер А.С. Удосконалення способу закріплення ґрунтового масиву при будівництві перегінного тунелю метрополітену/ « 1 Науково-технічна конференція магістрів ІЕЕ», Київ, 2018.

## АНОТАЦІЯ

**Кашталер А.С. Удосконалення способу закріплення ґрунтового масиву при будівництві будівництві перегінного тунелю метрополітену. – рукопис.**

Магістерська дисертація за спеціальністю 184 гірництво (Геотехнічне і міське підземне будівництво). – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2018.

*Розглянуто способи закріплення способі закріплення ґрунтового масиву при будівництві перегінного тунелю. В роботі запропоновано ефективний метод закріплення прилеглих ґрунтових масивів через низькі параметри міцності цих порід, особливо у волого насиченому стані.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА. хімічне закріплення, тунель, закріплення ґрунтових масивів, геотехнічні властивості.

## SUMMARY

Kashtaler A.S. Improvement of the method of fastening of a soil mass during the construction of construction of a transverse tunnel of the underground. - a manuscript.

Master's dissertation on specialty 184 Mining (Geotechnical and urban underground construction). - National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2018.

*The methods of fixing the method of fixing the soil mass during the construction of the distillation tunnel are considered. The paper proposes an effective method of fixing the adjacent soil massifs through low strength parameters of these rocks, especially in water-saturated state.*

KEYWORD. chemical fixation, tunnel, consolidation of soil layers, geotechnical properties.

