

УДК 625,067; 624.131

*Біда С.В., к.т.н., доц., ПолтНТУ імені  
Юрія Кондратюка, м. Полтава  
Великодний Ю.Й., к.т.н., проф., ПолтНТУ  
імені Юрія Кондратюка, м. Полтава  
Ларцева І.І., к.т.н., доц., ПолтНТУ імені  
Юрія Кондратюка, м. Полтава  
Ягольник А.М., к.т.н., доц., ПолтНТУ  
імені Юрія Кондратюка, м. Полтава  
Пальцун О.А., магістрант, ПолтНТУ  
імені Юрія Кондратюка, м. Полтава*

### **ЗАКРІПЛЕННЯ СХИЛІВ ГРУНТОЦЕМЕНТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ВИГОТОВЛЕНИМИ ЗА БУРОЗМІШУВАЛЬНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ**

Показано, що одним з найбільш перспективних методів підвищення стійкості схилів є метод цементації з використанням бурозмішувальної технології. Перевагами цього методу є використання місцевого матеріалу при виготовленні ґрунтоцементних елементів, невисока вартість та мінімальні терміни виконання, можливість виготовлення у різних інженерно-геологічних умовах та на складному рельєфі.

**Ключові слова:** цементація ґрунтів, бурозмішувальна технологія, зсувонебезпечні схили, ґрунтоцементні елементи.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Майже 70 % території України складені з поверхні четвертинними відкладами, які можна віднести до лесових чи лесовидних суглинків. Такі відклади легко піддаються ерозії, розмиванню під дією постійних чи тимчасових поверхневих вод. В результаті геологічної діяльності великих річок рівнинна частина України являє собою систему декількох плато, що розділені долинами річок. В свою чергу, великі плато розділяються на менші внаслідок діяльності малих річок, джерел та тимчасових потоків води. На схилах річок, що досягають у висоту декількох десятків,

а то й сотень метрів, утворюються ідеальні умови для появи зсувів. Їх поширення значною мірою пов'язане з невиконанням заходів щодо запобігання зсувним процесам і відсутністю підрозділів з інженерного захисту територій і споруд від небезпечних інженерно-геологічних явищ [1, 2]. Швидкі темпи будівництва призвели до необхідності використовувати ділянки зі складними інженерно-геологічними умовами. Однак при проектуванні та будівництві не враховувались можливі зміни властивостей основ під час експлуатації будівель на зсувонебезпечних схилах. Останнім часом накопичення вологи у ґрунті та зсувоутворення прийняло характер екологічного лиха. Зсувні процеси викликають руйнування будівель і споруд, руйнування цілих районів та промислових забудов.

Подальші дослідження, спрямовані на вивчення стійкості схилів, проводяться в межах комплексної програми протизсувних заходів, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 22 вересня 2004 року №1256, інд. 33.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існуючі методи закріплення схилів трудомісткі та мають багато недоліків. Так закріплення з використанням забивних паль неможливе внаслідок дії динамічного навантаження, а обладнання для вдавлення паль настільки громіздке, що використання його у стиснених умовах схилу майже завжди неможливе. Влаштування бурунабивних паль потребує спеціального обладнання та високої кваліфікації виконавців, адже роботи проводяться нижче рівня ґрунтових вод з використанням обсадних труб. Також часто виникають проблеми з бетонуванням стовбура паль нижче рівня ґрунтових вод. Закріплення схилів шляхом улаштування підпірних стінок неглибокого закладання не досягає потрібного результату, особливо з урахуванням довантаження схилів будівлями. Підсилення ґрунтів нагнітанням в'язучих речовин (силікатизація, смолізація, бітумізація тощо) може призвести до екологічних проблем, обумовлених введенням токсичних сполук та до

проблем пов'язаних з отриманням однорідності закріпленого масиву. Враховуючи вищесказане необхідно звернути увагу на методи підвищення ґрунтів шляхом цементації – закріплення ґрунтів та гірських порід шляхом нагнітання в пустоти, тріщини та пори рідкого цементного розчину чи суспензії [3, 4]. Отриманий в результаті такого процесу ґрунтоцемент являє собою складну багатофазну систему, яка містить ґрунт, що має полідисперсний та полімінеральний склад, цемент, який з'єднує частинки ґрунту в моноліт, та за необхідності різні домішки. Відомі способи цементації можна класифікувати за різними ознаками, наприклад за способом подавання цементу в ґрунт, способами перемішування тощо [5].

**Постановка завдання.** З урахуванням рельєфу, інженерно-геологічних умов, обмеженого простору для маневру техніки та інших вказаних особливостей будівництва на схилах постало питання про розробку технології закріплення схилів ґрунтоцементом, яка б з одного боку дозволяла закріпити ґрунтовий масив зсувонебезпечного схилу з мінімальними затратами та порушенням навколишнього середовища, а з іншого – забезпечити надійність його експлуатації.

**Виклад основного матеріалу.** При підсиленні ґрунтів одним із найбільш ефективних є метод цементації, при якому за допомогою цементу відбувається скріплення частинок і агрегатів ґрунту. Цементом можна просочити більш-менш рівномірно увесь масив ґрунту, а можна закріпити окремі його об'єми, які разом з незакріпленим ґрунтом створять єдину конструкцію більшої жорсткості ніж незакріплений ґрунт.

Однією з найважливіших характеристик ґрунтоцементу з точки зору його конструктивної роботи є механічна міцність та її зростання з часом. Дослідження показують, що міцність ґрунтоцементу, як і бетону, зростає в часі й такий процес може тривати роками [6]. Найбільш швидке зростання міцності спостерігається у початковий період. Підвищення температури й вологості

середовища значно прискорює процес тужавіння ґрунтоцементу. При зберіганні ґрунтоцементу у воді спостерігається більш інтенсивне зростання міцності. Це свідчить про те, що найбільш сприятливим для тужавіння ґрунтоцементу слід вважати його знаходження у водонасичених ґрунтах [7].

Міцність ґрунтоцементу, як і бетону, залежить від кількості цементу, фізико-механічних властивостей ґрунту (заповнювачів для бетону) та цементного каменю. Збільшення кількості цементу підвищує щільність ґрунтоцементу, у свою чергу збільшення щільності приводить до підвищення його міцності.

В залежності від способу подачі цементного розчину в ґрунт і його перемішування існують різні технології отримання ґрунтоцементного матеріалу:

- ін'єкційна цементація представляє собою заповнення порожнин та тріщин в ґрунтах цементними та цементно-глинистими розчинами, які з часом перетворюються у твердий цементний чи цементно-глинистий камінь. Ін'єкційні розчини вводяться до ґрунту через пробурені свердловини;

- струминна цементація (одно-, дво- та трикомпонентна) – метод закріплення ґрунтів, заснований на одночасному руйнуванні та перемішуванні ґрунту високонапірним струменем цементного розчину в режимі “min-in-place” (перемішування на місці). Після твердіння розчину утворюється новий матеріал – ґрунтоцемент (ґрунтобетон), який має вищі механічні характеристики порівняно з ґрунтом;

- струминно-змішувальна цементація – полягає у тому, що діаметр закріплюваної колони в ґрунті чітко забезпечується механічним шляхом, а однорідність матеріалу та кінцева міцність – напірним струменем цементного розчину. Інколи струминно-змішувальною називають таку технологію виготовлення ґрунтоцементних елементів, яка полягає у механічному перемішуванні та додатковій гідромоніторній розробці як периметру створюваного об'єкта, так і додатковому перемішуванні ґрунтоцементної суміші.

При цьому застосовується спеціальне струминно-змішувальне долото, яке дозволяє проводити заглиблення та підйом робочого інструменту без зміни напрямку обертання;

– бурозмішувальна цементация – за допомогою спеціального обладнання у певному об'ємі масиву основи виконується розпушування ґрунту без його виймання з масиву. Паралельно у розпушений ґрунт нагнітається водоцементна суспензія і виконується перемішування ґрунтоцементної суміші. Внаслідок тужавіння суміші в основі утворюється міцний циліндричний ґрунтоцементний елемент, який не розмокає у водному середовищі. Такі елементи досить легко створити також і нижче рівня ґрунтових вод.

Оскільки бурозмішувальний спосіб не пов'язаний з коефіцієнтом фільтрації ґрунтів, то він практично може бути використаний для закріплення всіх видів піщаних та глинистих порід. Дана технологія закріплення полягає у механічному перемішуванні ґрунту з цементним розчином без його виймання на поверхню. З допомогою бурозмішувального способу виготовляються циліндричні ґрунтоцементні елементи діаметром до 1000 мм.

Для закріплення ґрунту за бурозмішувальною технологією необхідно мати наступний комплект обладнання: бурову установку, розчинозмішувач, розчинонасосне обладнання (рис. 1). Виконання робіт по закріпленню ґрунту бурозмішувальним способом складається з двох основних операцій:

1 – приготування закріплюючого водоцементного розчину;

2 – власне закріплення шляхом нагнітання цементного розчину в ґрунт та перемішування його з останнім за допомогою бурозмішувача.

Для нагнітання у ґрунт водоцементного розчину можуть застосовуватися будівельні діафрагмові розчинонасоси, бурові (грязьові) плунжерні, які розвивають тиск не менше 0,5 – 0,7 МПа. Рівномірний розподіл розчину досягається фіксованим зануренням бурозмішувача (2-20 мм на один оберт) та його дозованою подачею.

В залежності від інженерно-геологічних умов, закріплюваності ґрунтів, їх температури та глибини закріплення може бути обраний один з трьох технологічних варіантів: нагнітання цементного розчину при зануренні бурозмішувача (1), при його підйомі (2) чи в процесі всього технологічного циклу перемішування ґрунту, тобто як при зануренні, так і при підйомі робочого органу (3).

1) Технологічний варіант нагнітання цементного розчину «зверху вниз» рекомендується:

- при виконанні робіт без проміжних стиковальних бурильних труб;

- при відносно невеликій глибині закріплення (до 10 м);

- при низькій активності ґрунту (початок тужавіння ґрунтоцементної суміші більше двох годин).

2) Нагнітання цементного розчину «знизу вгору» рекомендується:

- при значній глибині закріплення (більше 10 м) та великій кількості стикових бурильних труб;

- при високій активності ґрунту (початок тужавіння ґрунтоцементної маси менше двох годин).

3) Нагнітання цементного розчину в процесі всього технологічного циклу можна рекомендувати:

- при наявності важкопрохідних ліній та прошарків ґрунту;

- для зменшення вірогідності забруднення ґрунтом вихідних отворів бурозмішувача;

- при роботі з розчинонасосом низької потужності.

Розпушування ґрунту, подавання цементного розчину і розмішування його з ґрунтом виконується за всією довжиною ґрунтоцементного елемента (колони, палі).

У результаті проведення закріплення ґрунту цементацияю за бурозмішувальною технологією в масиві утворюються окремі ґрунтоцементні елементи (колони, палі) заданого діаметру (рис. 2), які мають підвищені характеристики міцності та деформативності в порівнянні з природним ґрунтом.

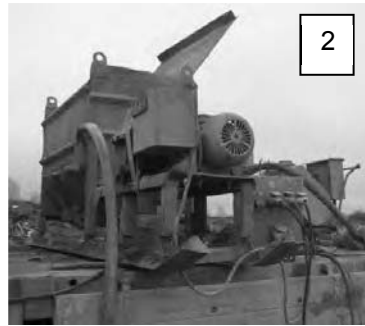


Рис. 1. Комплект обладнання для влаштування ґрунтоцементних елементів за бурозмішувальною технологією

Рис. 2. Готовий ґрунтоцементний елемент в масиві ґрунту, влаштований за бурозмішувальною технологією

До загальних переваг бурозмішувальної технології виготовлення ґрунтоцементних паль можна віднести: низький рівень шуму та вібрації при їх влаштуванні; можливість виготовлення та ефективної експлуатації у водонасичених, просадочних ґрунтах та при обмеженому робочому просторі; легке варіювання діаметром паль шляхом збільшення діаметру ріжучих інструментів; висока мобільність комплексу необхідних машин та механізмів для виготовлення паль, що задовольнить щільні графіки сучасного будівництва; на якість виготовленого ґрунтоцементу не впливають погодні фактори; немає необхідності у регулярному постачанні заповнювачів для суміші.

Для бурозмішувального способу закріплення ґрунтів слід застосовувати портландцементи з домішками і без марки не нижче 300, а при наявності сульфатної агресії сульфатостійкі портландцементи з домішками і без марки не нижче 400.

Витрати цементу на влаштування  $1 \text{ м}^3$  ґрунтоцементного елемента складають 200 – 300 кг. Для запобігання забруднення технологічних ліній цементний розчин повинен бути очищений від включень розмірами більше 3 мм. Вода для приготування розчину не повинна містити шкідливі домішки у кількості, яка негативно впливає на

процеси твердіння ґрунтоцементної суміші.

Допускається при експериментальному та техніко-економічному обґрунтуванні застосовувати різні модифікуючі домішки, які забезпечують покращення характеристик ґрунтоцементу (підвищення міцності, морозостійкості, корозійної стійкості тощо) та домішок, які стабілізують чи пластифікують розчин цементу, що нагнітається в ґрунт.

Особливо потрібно відзначити універсальність такого методу, адже варіюючи відстань між ґрунтоцементними елементами та їх розмірами можна виконати закріплення ґрунтів практично у будь-яких інженерно-геологічних умовах [8]. Досвід закріплення ґрунтів показав його конкурентноспроможність у насипних, просадочних, слабких ґрунтах, а також у піщаних ґрунтах при різноманітному розміщенні рівня ґрунтових вод. Так, при проектуванні багатоповерхового житлового будинку у м. Полтава по Першотравневого проспекту, 15—17, для закріплення зсувонебезпечного схилу було розроблено такий варіант протизсувних заходів: дві підпірні стінки у п'ять та чотири ряди буронабивних паль. Закріплення ґрунтів за бурозмішувальною технологією з утворенням контрбанкетів дозволило зменшити кількість рядів буронабивних паль до двох (рис. 3).

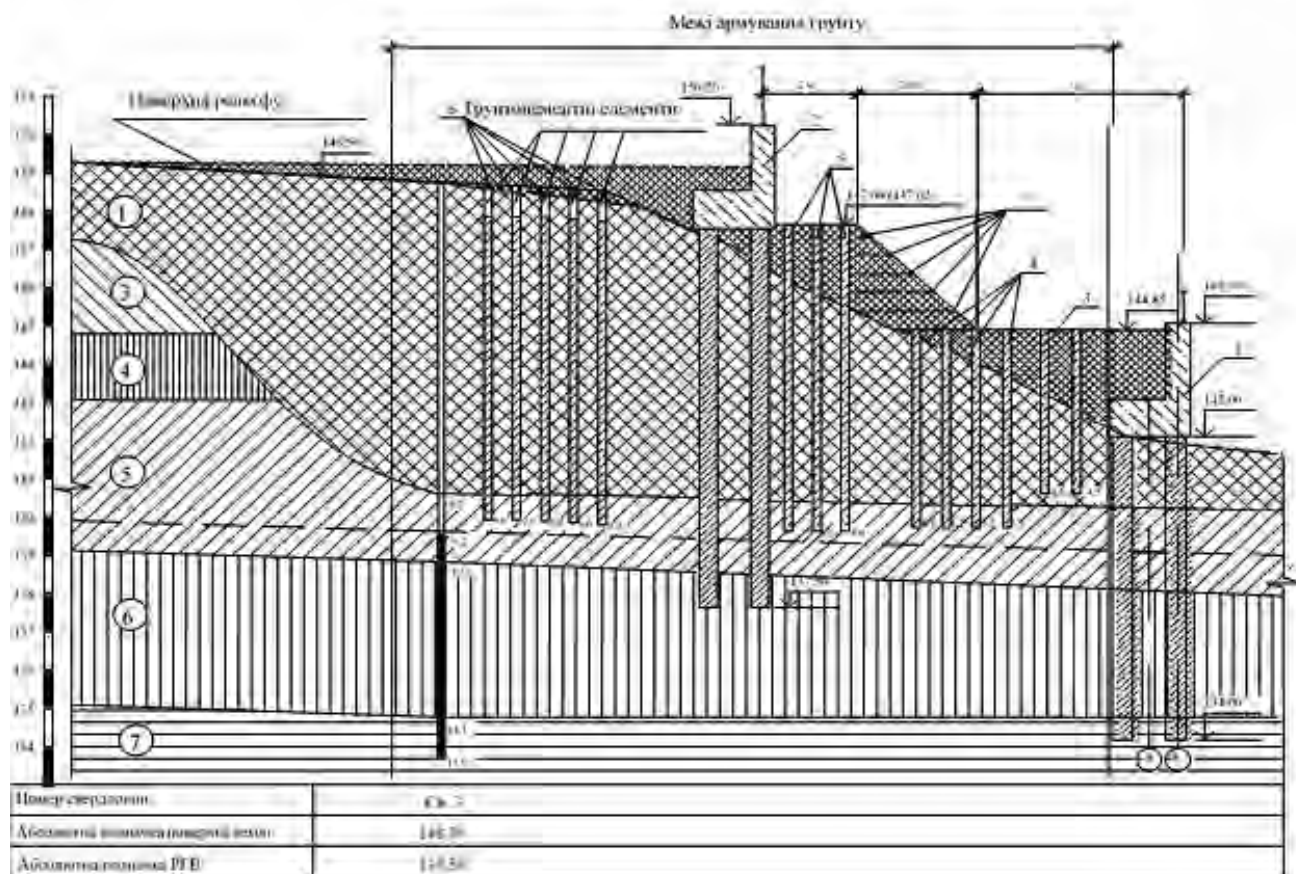


Рис. 3. Інженерно-геологічний розріз із протизсувними заходами: 1 – нижня підпірна стіна; 2 – верхня підпірна стіна; 3, 4, 5 – вертикальні ґрунтоцементні закріплюючі елементи; 7 – геотекстиль

Таким чином, можна зробити наступні **ВИСНОВКИ:**

1. Метод закріплення ґрунтів ґрунтоцементними елементами, влаштованими за бурозмішувальною технологією, є одним із найбільш ефективних і дозволяє виконати роботи в складних, стиснених умовах зсувонебезпечних схилів.

2. Бурозмішувальна технологія дозволяє проводити закріплення водонасичених, просадочних та інших ґрунтів з особливими властивостями, що особливо важливо при освоєнні територій зі складними інженерно-геологічними особливостями.

3. Ґрунтоцементні елементи, влаштовані за бурозмішувальною технологією, не втрачають міцності під впливом ґрунтових вод та інших факторів, а навпаки з часом міцність ґрунтоцементу зростає, що забезпечує надійність та довговічність експлуатації влаштованих конструкцій.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Артеменко, Т. К. Оползни в сложных инженерно-геологических и техногенных условиях / Т. К. Артеменко, С. А. Бычков // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – 2003. – Вип. 12. – С. 3 – 7.
2. Біда, С. В. Особливості виникнення та розвитку зсувних процесів на схилах, складених лесовими відкладами / С. В. Біда, О. В. Куц, К. В. Підрійко // Вісник Дніпропетровського університету. Сер.: Геологія. Географія. – 2014. – Вип. 16, т. 22. – №3/2. – С. 162–167.
3. Аскалов, В. В. Классификация химических способов закрепления грунтов в основании зданий и сооружений / В. В. Аскалов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1966. – № 6. – С. 24–25.
4. Токин, А. Н. Фундаменты из цементогрунта [Текст] / А. Н. Токин. – М.: Стройиздат, 1984. – 183 с.

5. Петраш Р. В. Спільна робота ґрунту та елементів армування, які виготовлені за бурозмішувальною технологією : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.23.02 «Основи та фундаменти» / Р. В. Петраш. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – 20 с.

6. Ларцева, І. І. Визначення характеристик міцності ґрунтів, закріплених вертикальними ґрунтоцементними елементами [Текст] / І. І. Ларцева // Світ геотехніки. – 2012. – №1(33). – С. 21–26

7. Великодний Ю.Й. Використання ґрунтоцементу, виготовленого за бурозмішувальною технологією, для влаштування протифільтраційних завіс / Ю. Й. Великодний, М. Л. Зоценко, С. В. Біда, А. М. Ягольник, І. І. Ларцева // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – 2010. – Вип. 20. – С. 11–16.

8. Ларцева І. І. Будівництво об'єктів гірничо-збагачувального комбінату на ґрунтах, закріплених з використанням бурозмішувальної технології / І. І. Ларцева, Л. І. Рожковська // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – 2012. – Вип. 4 (34). – Том 1. – С. 165–170.

#### АННОТАЦИЯ

Показано, что одним из наиболее перспективных методов повышения устойчивости склонов является метод цементации с использованием бурсмесительной технологии. Преимуществами этого метода являются использование местного

материала при изготовлении ґрунтоцементных элементов, невысокая стоимость и минимальные сроки выполнения, возможность изготовления в разных инженерно-геологических условиях и на сложном рельефе.

Ключевые слова: цементация ґрунтов, бурсмесительная технология, оползнеопасные склоны, ґрунтоцементные элементы.

#### ANNOTATION

In an entry, it has been testified that the cementation method based on boring and mixing technology is one of the most advanced methods of improving slope stability. Among the benefits of this method, there are the usage of loose fragments in the production of ground-cement elements, moderate and low cost, minimum period of accomplishment. The installation of ground-cement elements does not require specially designed hardware, and, by changing the distance between them and by resizing them it becomes possible to make soil densification under almost any geotechnical conditions. Another benefit of this technology is the opportunity for soil densification on composite (rugged) topography under the conditions of tight working space, the establishment of ground-cement elements on unsaturated soil samples and collapsible soils. In such a case, the amount of noise and vibration level of devices is minimum, and the necessary set of vehicles and machinery has high mobility.

Keywords: ground cementation, boring and mixing technology, ground-cement elements, a slope at the risk of landslides.