

ENGINEERING SCIENCES

COMPARISON OF MODERN METHODS OF FOUNDATIONS STRENGTHENING

ПОРІВНЯННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПІДСИЛЕННЯ ОСНОВ

Serhii Bida¹

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-354-5-31>

В наш час все частіше виникає необхідність використовувати слабкі ґрунти як основу для будівель та споруд. Однак використання їх у якості основ без підсилення (закріплення) практично неможливе. Закріплення ґрунтів виконують різними методами – термічною обробкою, з використанням силікатизації або ін'єкційної, струминної, струминно-змішувальної чи бурозмішувальної цементації.

Термічне закріплення лесовидних ґрунтів включає такі процеси: буріння свердловин діаметром 100–200 мм на необхідну глибину верстатами обертальної, ударної або шнекової дії; монтаж затвору з камерою згоряння, арматурою для керування подачею палива і повітря; герметизації свердловин; установки живильних агрегатів; збирання і перевірки систем трубопроводів; випалювання ґрунту; демонтажу систем і тампонування свердловин місцевим ґрунтом.

Рідке паливо і повітря подають у свердловину під тиском 0,015–0,05 МПа. Під час випалювання температуру в свердловині контролюють оптичними пірометрами, а у випалюваному ґрунті – термопарами з гальванометрами. Температура свердловини повинна бути не більше 1000 °С. Гаряче повітря проходить крізь ґрунт і випалює його, завдяки чому ґрунт стає водостійким. Герметизацію свердловин постійно контролюють, заміряючи в них тиск газів. Метод термічного закріплення не набув поширення у практиці будівництва через те, що має велику енергоємність.

До методів підвищення властивостей ґрунту можна віднести хімічне закріплення, яке досягається нагнітанням у пори ґрунту цементних розчинів (цементация), силікатних розчинів (силікатизация), синтетичних смол (смолізация). За допомогою цього методу закріплення можна підвищити міцність та водонепроникність ґрунтів, позбавити їх просадочних властивостей.

¹ Poltava State Agrarian University, Ukraine

Закріплення ґрунтів силікатизацією при однорозчинному методі виконують шляхом нагнітання в ґрунт розчину рідкого скла необхідної концентрації або ж гелетвірної суміші з розчину рідкого скла і фосфорної кислоти, а також з розчину рідкого скла, сірчаної кислоти і сірчано-кислого глинозему.

Дворозчинний метод силікатизації полягає в тому, що в ґрунт почергово нагнітають під тиском рідке скло (силікат натрію Na_2SiO_3) і розчин хлористого кальцію CaCl_2 необхідної концентрації. Розчини вступають у реакцію і утворюють гель кремнієвої кислоти $n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$, що має властивість обволікати зерна ґрунту і при твердінні зв'язувати їх у моноліт. При використанні дворозчинного методу закріплення ґрунтів кожен розчин послідовно нагнітають окремим насосом.

Технологія робіт з електросилікатизації ґрунтів включає забивання ін'єкторів, нагнітання в них розчинів і одночасного пропускання постійного електричного струму через ін'єктори і закріплювані ґрунти. Ін'єктори забивають пакетами по п'ять штук в один ряд. У пакеті один ін'єктор є нульовим (нейтральним), два середніх – анодами, а два крайніх – катодами. Після забивання пакету виконують всі приєднання до розчинопроводів і електричних кіл, а потім в усі ін'єктори, крім крайніх, нагнітають закріплюючий розчин.

Зміцнення ґрунтів методом смолізації виконують шляхом нагнітання гелетвірної суміші, що роблять з розчину карбамідної смоли і розчину соляної кислоти за технологією, аналогічною технології силікатизації ґрунтів. Однак ні силікатизація, ні смолізація широкого впровадження не набули, що пов'язано не лише зі складністю виконання робіт, а і з негативним впливом на навколишнє середовище.

Цементация – це закріплення ґрунтів та гірських порід шляхом нагнітання в порожнини, тріщини та пори рідкого цементного розчину чи суспензії. Цементация відноситься до хімічного закріплення ґрунту, оскільки заснована на хімічному процесі взаємодії цементних розчинів з ґрунтом.

Відомі такі види цементации за способом подавання цементу в ґрунт:

- цементация ін'єкційна;
- струминна цементация (одно-, дво- та трикомпонентна);
- струминно-змішувальна цементация;
- бурозмішувальна цементация (з частковим вийманням та без виймання ґрунту при бурінні).

Ін'єкційна цементация (традиційна технологія ін'єкційного закріплення ґрунтів) 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.

Для цементації застосовуються ін'єкційні розчини: цементний (Ц); цементно-піщано-глинистий (ЦПГ); цементно-піщаний (ЦП); цементно-глинистий (ЦГ). В кожному окремому випадку необхідно обирати як склад розчину, так і його водоцементне відношення (В/Ц), яке може змінюватися від 1 до 0,4. З досвіду відомо, що економічні ЦПГ розчини містять в 1 м³: цементу 100–250 кг, піску 900–1500 кг, глинистого матеріалу 300–400 кг, води 400–700 л. Щільність розчинів, як правило, знаходиться в межах 1,6–1,85 кг/дм³.

Струминна цементація (англ. jet-grouting) – метод закріплення ґрунтів, який ґрунтується 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 високі механічні характеристики порівняно з ґрунтом. Струминна технологія вже протягом десятків років широко застосовується у ряді держав для вирішення різних геотехнічних задач. За кордоном цей метод отримав назву High Pressure Injection (HPI).

При виконанні робіт по закріпленню практично всіх типів ґрунтів застосовується та чи інша з трьох технологічних схем влаштування ґрунтоцементних елементів (ГЦЕ):

- однокомпонентна (JET-1) передбачає розмивання ґрунту струменем цементного розчину тиском порядку 70 МПа. Радіус утворених ґрунтоцементних стовпів становить 0,5 – 0,8 м;

- двокомпонентна (JET-2), при якій розмивання ґрунту здійснюється струменем цементного розчину під захистом струменя повітря, тобто подача струменя розчину здійснюється одночасно з подачею концентрично розташованого з ним струменя стиснутого повітря. Така технологія дозволяє збільшити радіус впливу руйнуючого струменя до 1 – 1,5 м від сопла;

- трикомпонентна (JET-3), яка полягає у розмиванні ґрунту струменем води під захистом струменя повітря, та заповненні розмитої порожнини цементно-піщаним розчином.

За допомогою струминної технології улаштовують вертикальні циліндричні ґрунтоцементні елементи діаметром до 2000 мм. Діаметр отриманої ґрунтоцементної колони залежить від властивостей ґрунту і технологічних параметрів: тиску, витрат, швидкостей обертання струменя та підйому зі свердловини бурового пристрою тощо.

Розмивання проводиться цементним розчином з В/Ц = 0,9 – 1; витрати цементу на влаштування 1 м³ ґрунтоцементного елемента складають 300–500 кг.

Основними перевагами струминної цементації ґрунтів є: висока швидкість робіт за рахунок малого діаметру буріння свердловин

(112–132 мм); закріплення великого діапазону ґрунтів; відсутність динамічних впливів; можливість виконання робіт у стиснених умовах. Проте струминна технологія має й ряд недоліків, основними з яких є: небезпека локальних деформацій ґрунту в процесі тимчасового розмивання ґрунтового масиву до набору міцності; висока вартість та матеріалоемність; підвищена небезпека при роботі з високим тиском.

Струминно-змішувальна цементация 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'єкту, 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 закріплення застосовується переважно в мулистих та інших слабких глинистих ґрунтах текучої консистенції. Оскільки бурозмішувальний спосіб не пов'язаний з коефіцієнтом фільтрації ґрунтів, то він практично може бути використаний для закріплення всіх видів піщаних та глинистих порід. Ця 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.

Цемент вводиться до ґрунту у вигляді водноцементного розчину, консистенція якого визначається водоцементним відношенням (В/Ц), що представляє собою відношення маси води до маси цементу. Влаштування ґрунтоцементних елементів за бурозмішувальною технологією відбувається при нагнітання цементного розчину при $V/C = 0,6 - 1$. Витрати цементу на влаштування 1 м^3 ґрунтоцементного елемента складають 200–300 кг.

Проаналізувавши переваги та недоліки запропонованих вище методик підсилення слабких основ можна зробити висновок, що найбільш раціональним буде використання цементации ґрунту за бурозмішувальною технологією, так як цей метод має цілий ряд значних переваг. Головними з них є високі водостійкі та водонепроникні властивості. При цементации ґрунтів, в результаті з'єднання частинок і агрегатів ґрунту цементом, виникає штучне структурне зчеплення. ґрунтоцементні елементи, влаштовані за бурозмішувальною технологією, разом з незакріпленим ґрунтом утворюють єдиний масив ґрунту з поліпшеними механічними характеристиками.