

УДК 624.138.24:624.138.232.1:691.535

О. П. НОВИЦЬКИЙ

Сумський національний аграрний університет

МЕТОДИ ЗАКРІПЛЕННЯ ҐРУНТІВ ЦЕМЕНТОМ

У статті описані сучасні методи закріплення ґрунтів з використанням фізико-хімічних процесів, зокрема цементації. Наведені технологічні схеми виконання робіт по виконанню ін'єктування, ступеневої цементації та бурозмішувальної цементації.

ґрунтоцемент, цементація, ін'єктування, jet-цементація, бурозмішувальна технологія

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Зведення фундаментів потребує значної частини загальних витрат на будівництво. Одним із ефективних напрямків зниження вартості фундаментобудування є покращення характеристик ґрунтів, що складають основу для фундаменту. Це можливо досягти шляхом просочування ґрунтів цементним розчином – цементацією. У результаті процесу гідратації цементу отримують матеріал доволі значної міцності – ґрунтоцемент [1, 2].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДЖЕРЕЛ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Відповідно до загальної класифікації фундаментів і штучних основ, запропонованої професором Зоценко М. Л., цементація відноситься до групи штучних основ і фундаментів, які виготовляються за допомогою фізико-хімічних процесів та підгрупи, де закріплення здійснюється нагнітанням у ґрунт в'язучих речовин [2–5].

ПОСТАНОВКА ЦІЛЕЙ

При влаштуванні штучних основ метод цементації є найбільш доступним, при цьому реалізується скріплення частинок і агрегатів ґрунту за допомогою цементу. Цементом можливо просочити більш-менш рівномірно увесь масив ґрунту, а можливо закріпити у масиві окремі його об'єми, які разом з незакріпленим ґрунтом створять єдину конструкцію більшої жорсткості, ніж незакріплений ґрунт. На сучасному етапі розвитку будівництва існує 4 основні види цементації ґрунту залежно від способу насичення ґрунту цементним розчином [2–4].

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Пропонується класифікація видів цементації з виділенням видів за способом подавання цементу в ґрунт (рис. 1).

До цементації ґрунтів слід віднести власно цементацію, коли шляхом ін'єкції цементного розчину, під тиском до 0,4 МПа, закріплюються масиви проникних ґрунтів (крупні піски, щебені, тріщинуваті скельні породи).

В останні роки науково-виробничим центром «Ін'єкт» впроваджується нова технологія, що запатентована в Україні. Інноваційність методу полягає в ін'єктуванні основи спеціальними розчинами (гелекомполімерами) через свердловини малих діаметрів під тиском до 0,8 МПа, в результаті чого в ґрунті відбувається формування масиву, що забезпечує стійкість споруди і, як наслідок, вона виводиться з аварійного стану та набуває нових характеристик.

Розчин, так званий «ГЕЛЕКОМПОЗИТ», в який входять: цемент, рідке скло і, за необхідності, хімічні добавки «Церенол С» Німецько-Польської фірми «Дейтерман», «Водостримувач-01» (РХД,

© О. П. Новицький, 2013



Рисунок 1 – Види цементації за способом подавання цементу в ґрунт.

ВС-01) виробника ООО «Моноліт – полімер» м. Київ та ін., можна використовувати для будь-яких дисперсних ґрунтів як природного походження (піски, суглинки, супісі, глина), так і техногенного характеру (насіпні ґрунти, будівельне сміття тощо).

Метод армування ґрунтового масиву, в основу якого покладено кероване ін'єктування об'ємів тужавких розчинів, ведеться за спеціально розрахованою об'ємно-планувальною схемою.

Утворені при цьому включення, в радіусі 0,5–1,5 м від ін'єктора, в процесі накачування розширюються і, за рахунок збільшення об'єму тужавкого розчину формують жорсткий армувальний каркас.

Фрагменти ґрунтового масиву, задіяні між включеннями, під тиском ін'єктуючого розчину стискуються і значно покращують свої механічні характеристики. Підсилений таким чином ґрунтовий масив являє собою нове природно-техногенне утворення.

Напірна цементация (гідралічний розрив порід), коли цементний розчин при великому тиску розриває непроникні для нього ґрунти, заповнює розриви, при цьому утворюється локальна мережа цементних заповнень у вигляді коріння, яка армує певний масив ґрунту.

Струменеву цементацию (JET GROUTING) – основу на використанні енергії високонапірного струменя (35–70 МПа), який одночасно руйнує і перемішує ґрунт з цементним розчином у режимі *mix-in-place* (перемішування на місці), після тужавіння суміші утворюється окремий ґрунтоцементний елемент з достатньо високими механічними властивостями відносно ґрунту. Схема струменевої цементації зображена на рис. 2.

Процес виготовлення ґрунтоцементних елементів за технологією Jet grouting:

- 1) буріння лідерної свердловини діаметром 112–132 мм (прямий хід);
- 2) піднімання бурової колони з обертанням та одночасною подачею струменя цементного розчину під тиском до 700 атм (зворотній хід);
- 3) занурення в утворений ґрунтоцемент армувального елемента.

Розрізняють 3 методи виробництва палів за технологією JET GROUTING [7]:

– JET-1 (одноструменева технологія). У цій технології використовуються два компоненти: вода та цемент. Технологія надзвичайно проста і вимагає лише спеціалізовану технологічну лінію з застосуванням насоса високого тиску для перекачування цементного розчину. Діаметри палів, виготовлених за допомогою JET-1, коливаються від 0,5 до 0,8 м.

– JET-2 (двоструменева технологія). Для цієї технології необхідний буровий інструмент, який має два незалежних канали для подачі по одному з них водоцементного розчину, а по другому повітряного струменя під тиском 0,6–1,2 МПа. Відбувається складання двох кінетичних енергій: водоцементного розчину і повітряного струменя. При цьому повітряний струмінь створює у ґрунті додаткову кавітацію, що сприяє кращому перемішуванню розчину та зруйнованого ґрунту. Діаметр палів в цьому випадку може досягати 0,8–1,5 м.

– JET-3 (триструменева технологія). При JET-3 необхідно мати буровий інструмент з трьома незалежними каналами. В цьому випадку в ґрунт подається на додаток до вищевказаних струменів за

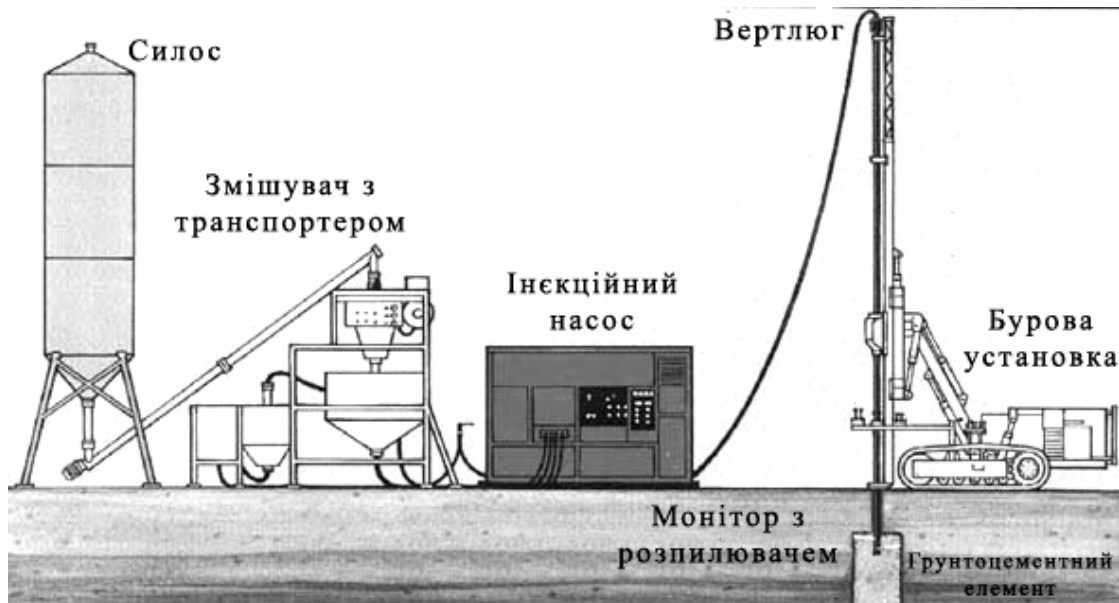


Рисунок 2 – Схема струменевої цементації ґрунтів.

JET-2 третій струмінь води під тиском 20–30 МПа. Як і попередньо, виконується складання всіх трьох кінетичних енергій. У цьому випадку палі можуть досягати 1,2–2,5 м в діаметрі.

Суттєвим недоліком струменевої технології є те, що при руйнуванні ґрунтів, особливо глинистих, частина цементного розчину зостається за межами тіла палі. Ця частина розчину виходить на поверхню у вигляді ґрунтоцементної пульпи. На виготовлення палі витрачається лише біля половини загальних витрат цементу. Влаштування за бурозмішувальною технологією одного м³ палі з ґрунтоцементу М75 потребує 250 кг портландцементу М400. При аналогічних умовах за струменевою технологією необхідно 500 кг цементу на 1 м³ палі. Позитивною якістю струменевої технології є її висока продуктивність, тому що з її допомогою за одну зміну у суглинку можливо виготовити до 100 п/м палі діаметром 500 мм. За бурозмішувальною технологією палі з вказаними характеристиками можливо виготовити лише 50 п/м. Справа впровадження струменевої технології виготовлення ґрунтоцементних палі ускладнюється ще тим, що таке обладнання взагалі не виготовляється в Україні. Воно достатньо складне, має особливі умови використання з причини необхідності досягнення високих тисків (до 70 МПа).

З вказаних вище причин в Україні зараз набуває розповсюдження, розроблена ще на початку ХХ сторіччя, бурозмішувальна технологія влаштування пальових фундаментів [1, 6].

Бурозмішувальна технологія з частковим виїманням ґрунту (рис. 3). Суть бурозмішувальної технології полягає у тому, що за допомогою бурових станків, які забезпечують буріння у стиснених умовах під будь-яким кутом нахилу, пробурюють лідерну свердловину. Коли свердловина досягає проектною відмітки, зворотнім обертанням шнеку висуваються додаткові ножі більшого діаметра і виконується розпушування ґрунту. У зону руйнування крізь вертлюг, яким оснащено буровий станок, розчинонасосом нагнітають водоцементний розчин, який бурозмішувачем ретельно перемішується із пухким ґрунтом. Розпушування ґрунту, подавання цементного розчину і розмішування його з ґрунтом виконується за всією товщею основи, що закріплюється. Після тужавіння суміші утворюється міцний ґрунтоцементний елемент діаметром, що дорівнює діаметру ножів, який не розмокає у водному середовищі.

Процес виготовлення ґрунтоцементних елементів за цією технологією показано на рис. 3.

Буріння свердловини починається з першого шнека, який обладнано наконечником для руйнування ґрунту та розкладними ножами для розширення свердловини і змішування ґрунтобетону. У ньому також влаштовані отвори для подавання розчину до свердловини (рис. 3а). Проектна глибина свердловини досягається поступовим нарощуванням шнеків, які з'єднуються між собою спеціальними муфтами. У процесі буріння певна частина ґрунту шнеками подається на поверхню і видаляється від свердловини (рис. 3б). При досягненні проектною глибини свердловини шнек починає обертатися у зворотному напрямку, при цьому розкриваються розкладні ножі. При піднятті шнеків ножі

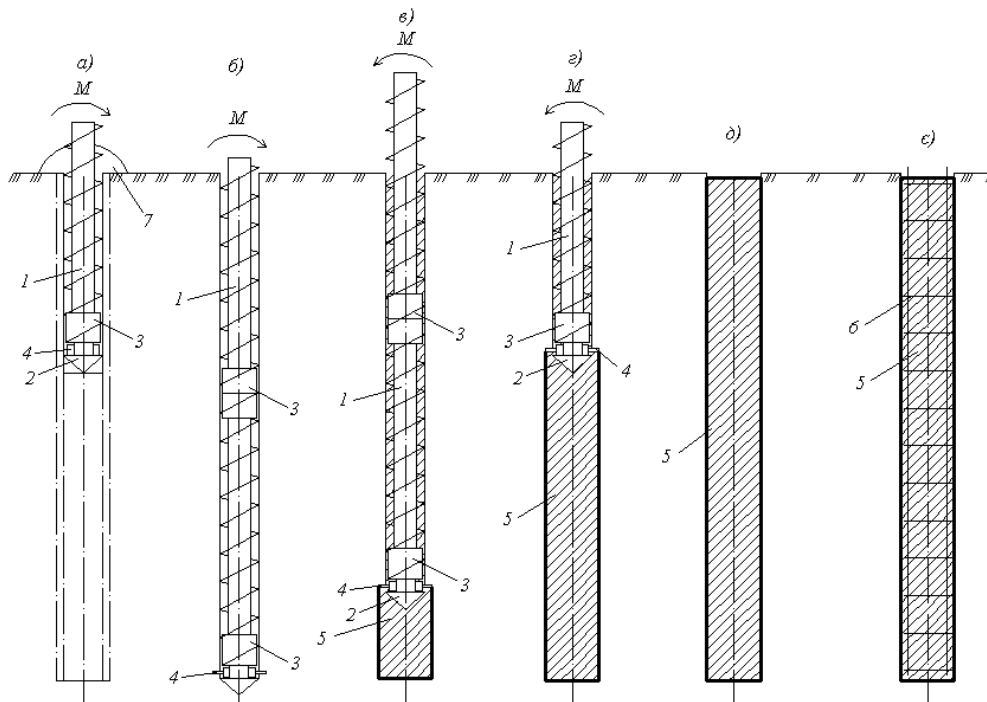


Рисунок 3 – Технологічна схема влаштування ґрунтоцементних паль з частковим вийманням ґрунту: а) буріння свердловини першим шнеком; б) буріння з нарощуванням шнеків; в) перший прохід шнека з розчином; г) перемішування ґрунтоцементу на ділянці; д) палі з перемішаним ґрунтобетоном; е) занурення арматурного каркаса у ґрунтобетон: 1 – шнеки; 2 – наконечник; 3 – муфта з’єднання; 4 – розкладні ножі; 5 – ґрунтобетон; 6 – арматурний каркас; 7 – ґрунт.

починають різати ґрунт в зоні діаметром 200 мм. У цей час крізь вертлюг від розчинонасосу починає подаватися цементний розчин, який змішується з ґрунтом (рис. 3в). За висотою одного шнека перемішування можна проводити кілька разів для досягнення більшої однорідності ґрунтоцементу. Після цього верхній шнек видаляється і попередні операції повторюються на наступній ділянці. Таким чином, поступовим видаленням шнеків досягається заповнення усієї свердловини ґрунтоцементом (рис. 3г). На рис. 3д показано готовий ґрунтоцементний елемент армування ґрунтів. При необхідності у свіжий ґрунтоцемент вставляється арматурний каркас за допомогою гідравліки чи вібрації (рис. 3е).

Виготовлення ґрунтоцементних елементів (паль) з частковим вийманням ґрунту проводилося за допомогою комплексу обладнання (рис. 4), до складу якого входили:

- буровий станок УЗБ-12, модернізований тим, що замість двигуна внутрішнього згорання встановлено електродвигун; шнеки діаметром 80 мм виготовлено з каналами і отворами для подавання розчину; для з’єднання шнеків з розчинонасосом передбачено напірні шланги та вертлюг;
- розчиномішалка для приготування розчину, марки РН-90, об’ємом 90 л;
- розчинонасос для нагнітання розчину до свердловини, марки СО-49, тиск насосу 1,5 МПа.

Суть бурозмішувальної технології без виймання ґрунту полягає у тому, що у процесі буріння свердловини спеціальною буровою насадкою розпушується природний ґрунт без виймання його із свердловини. У зону руйнування через вертлюг, яким оснащено буровий станок, розчинонасосом нагнітають водоцементну суспензію, яка робочим органом ретельно перемішується із пухким ґрунтом. Розпушування ґрунту, подавання цементного розчину і розмішування його з ґрунтом виконується за всією довжиною ґрунтоцементної палі. Після тужавіння суміші утворюється міцний ґрунтоцементний елемент, який не розмокає у водному середовищі.

Бурозмішувальна технологія без виймання ґрунту (рис. 5).

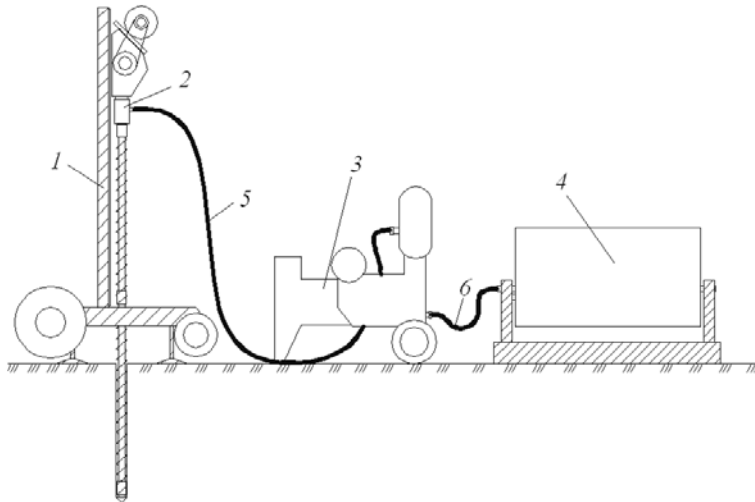


Рисунок 4 – Комплект обладнання для влаштування ґрунтоцементних елементів: 1 – буровий станок; 2 – вертлюг; 3 – розчинонасос; 4 – розчиномішалка; 5 – шланг для подавання розчину через вертлюг до свердловини; 6 – шланг для подавання розчину з мішалки до насосу.

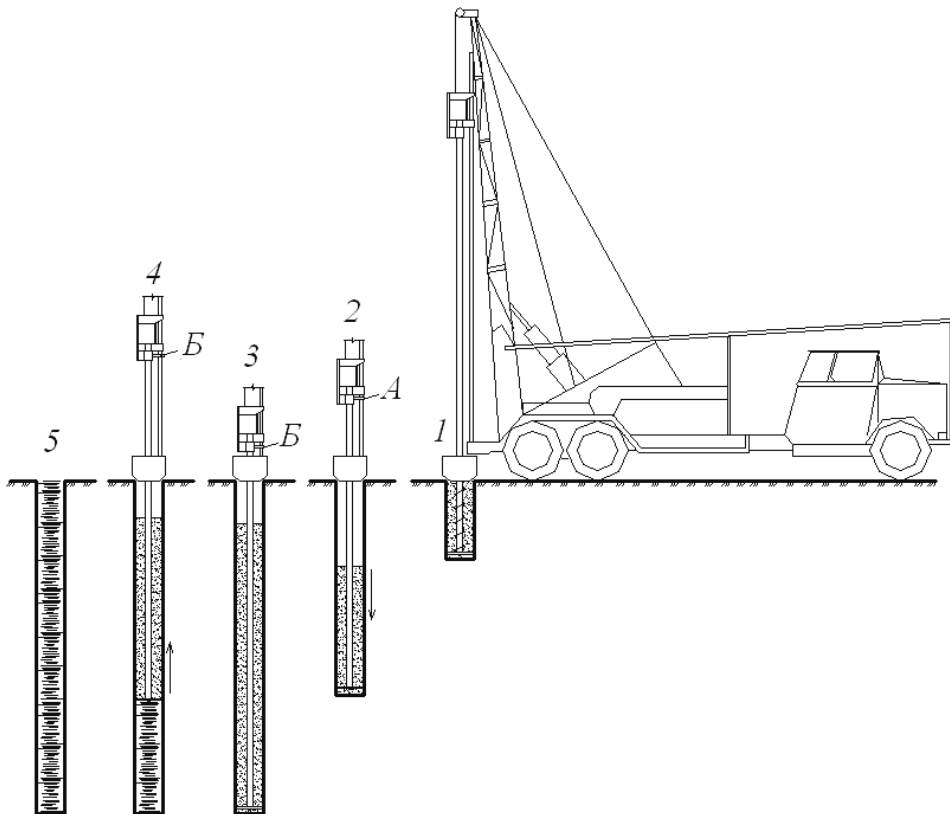


Рисунок 5 – Технологічна схема влаштування ґрунтоцементних паль в лесових ґрунтах: 1 – влаштування прямка; 2 – заглиблення бурозмішувача та перевід ґрунту в текучий стан; 3 – порожнина заповнена ґрунтом текучої консистенції; 4 – піднімання бурозмішувача та подача водоцементного розчину; 5 – готова паля: А – вода; Б – розчин.

ВИСНОВКИ

Технології цементації значно впливають на покращення механічних характеристик ґрунту. На сьогоднішній день існують 4 основні технології виконання цементації. Зважаючи на їх особливості,

можна стверджувати про необхідність економічного обґрунтування використання певних технологій для конкретних геологічних умов будівельного майданчика. Певну перевагу мають ін'єктування та бурозмішувальна технології, враховуючи те, що необхідне обладнання виготовляється в Україні або в межах СНД.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зоценко, М. Л. Ґрунтоцементні основи та фундаменти [Текст] / М. Л. Зоценко // Будівельні конструкції. – 2011. – № 75. – С. 447–457.
2. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти [Текст] / М. Л. Зоценко, В. І. Коваенко, А. В. Яковлев [та ін.]. – Видання друге, перероблене і доповнене. – Полтава : ПНТУ, 2004. – 568 с. : іл.
3. Ржаницин, Б. А. Химическое закрепление грунтов в строительстве [Текст] / Б. А. Ржаницин. – Москва : Стройиздат, 1986. – 264 с.
4. Безрук, В. М. Технология и механизация укрепления грунтов в дорожном строительстве [Текст] / В. М. Безрук. – Москва : Транспорт, 1976. – 232 с.
5. Токин, А. Н. Фундаменти из цементогрунта [Текст] / А. Н. Токин. – Москва : Стройиздат, 1984. – 182 с.
6. Bruce, Donald A. An Introduction to the Deep Soil Mixing Methods as Used in Geotechnical Applications [Текст] / Donald A. Bruce. – Virginia : U.S. Department of Commerce National Technical Information Service Springfield, 2000. – 143 с. – FHWA-RD-99-138.
7. Крисан, К. В. Дослідження напружено-деформованого стану ґрунтового масиву, армованого ґрунтоцементними елементами, що виготовляються по струминно-змішувальній методиці [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02 / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. – Полтава: ПНТУ, 2010. – 23 с.

Отримано 03.04.2013

А. П. НОВИЦКИЙ
МЕТОДИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ЦЕМЕНТАЦИЕЙ
Сумской национальной аграрный университет

В статье описаны современные методы закрепления грунтов с использованием физико-химических процессов, в частности цементации. Приведены технологические схемы выполнения работ по инъектированию, струйной цементации и буросмешивальной цементации.
грунтоцемент, цементация, инъектирование, jet-цементация, буросмешивальная технология

ALEXANDER NOVITSKIY
CEMENTATION METHODS OF SOIL FIXING
Sumy National Agrarian University

This article describes the modern methods of soil fixing using physical-chemical processes, namely cementation. It provides technological schemes of jet-grouting, injecting works and deep soil mixing method.
soil-cement, cementation, injecting works, jet-grouting, deep soil mixing method