

## ГЛИБИННЕ ЗАКРІПЛЕННЯ ГРУНТІВ В ПЕРІОД ПЕРЕДБУДІВЕЛЬНОЇ ПІДГОТОВКИ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ ГЕОТЕХНОЛОГІЙ

*Шарабуряк І.М., зр. ПЦБ-608 м(н).  
Науковий керівник – к.т.н. доц. Пивонос В.М.*

**В статті розглядаються деякі із методів закріплення ґрунтів основ (укріплення мінеральними в'язучими матеріалами, укріплення комплексними методами) лежачих в основі сучасних геотехнологій.**

Велика частина основ фундаментів в масовому промисловому і громадському будівництві представлена в покривних шарах дисперсними, глинистими ґрунтами. Ці ґрунти відрізняються великою змінністю своїх властивостей в залежності від дій природних і техногенних факторів. Укріплення дисперсних ґрунтів із наданням їм необхідних будівельних властивостей має велике практичне значення. Будівництво на таких ґрунтах підвищує експлуатаційні характеристики будівель і споруд.

Апробовано багато методів закріплення ґрунтів, що відрізняються визначеними специфічними особливостями по технологіям виконання і по ефективності дії на ґрунт.

Розглянемо два методи:

- Закріплення ґрунтів мінеральними в'язучими матеріалами, цементами, вапном, силікатами (рідким склом);
- Закріплення ґрунтів комплексними методами на основі застосування органічних і мінеральних в'язучих із гранулометричними добавками і органічних в'язучих з активними добавками.

Закріплення глинистих ґрунтів цементами може виконуватись, як в ґрунтах природного складання, так і в ґрунтах із порушеною структурою.

В ґрунтах природнього складання для покращення їх будівельних властивостей через спеціальні ін'єктори нагнітається в ґрунт цементна пульпа. При кристалізації цементного каменя виходить ґрунтоцементний масив із підвищеними міцнісними характеристиками. На закріплення ґрунтів цементами, важливий вплив надає їх хіміко-мінералогічний склад, генезис, склад і властивості ґрунтів. Введення в ґрунто-цементну суміш деяких добавок направлено впливає на процеси цементації ґрунтів.

Наприклад введення милонафта як відмічає В.М.Безрук [1], сприяє утворенню із продуктами гідроліза цементу гідрофобних речовин, що заповнюють пори, що надає ґрунтам підвищену водонепроникність.

Для глибинного закріплення лесовидних суглинків цементами широко використовуються бурозмішувальний спосіб для улаштування цементоґрунтових паль, що полягають у рихленні буровим робочим органом ґрунта на задану глибину і подальшому ін'єкціюванні цементної пульпи через порожнину в буровому снаряді із перемішуванням цементоґрунтової суміші. При дії цементоґрунта утворюється стовбур (паль) із закріпленого ґрунта. Слід відмітити що терміни твердіння цементоґрунта більша 28 діб, нормованих для бетону.

Перспективною технологією для закріплення слабких водонасичених глинистих ґрунтів є технологія Jet Groutig – це струменева технологія що полягає у використанні енергії високо напірного струменя цементного молока (розчину) руйнування і одночасного перемішування із цементним в'язучим в режимі перемішування на місці. Діаметр закріплень ґрунтоцементної колони залежить від властивості ґрунта і технологічних параметрів ( робочого тиску при подачі цементного молока, розходу, швидкості обертання струменя і швидкості підняття із свердловини бурового інструмента). Метод характеризується підвищеними витратами цементу і відсутністю надійної інженерної методики визначення діаметру закріплюваного ґрунта ( при закріпленні масива ґрунта – це не істотно). Також необхідна доробка пристроїв, що перешкоджають викиду на поверхню в'язучого складу. Термін “дозрівання” ґрунтоцементу більш тривалий і досягає до 90 діб. Метод ефективний при передбудівельним закріпленні ґрунтів.

Існує технологія Dry Jet Method, здійснювана за допомогою бурозмішувального обладнання внаслідок якого в попередньо розрихлений слабкий ґрунт вводиться сухе в'язуче. Ця технологія широко застосовується в Японії. В'язучий склад вводиться за допомогою подачі його повітрям через спеціальні повітряні сопла бурового робочого органа. Можливе також застосування бурового інструмента що дозволяє вводити в'язучі в замішаному водою стані. Для даної технології японськими геотехнічними фірмами створені серійно випускаєми бурові установки. Контроль за витримкою технологічних параметрів здійснюється із застосуванням ЄВМ і мікропроцесорної техніки. По вказаній технології бурозмішувальним методом [2] виготовляються ґрунтобетонні палі діаметром до 1.0 м. і глибиною до 35.0 м. Поміж виготовлення паль цей метод

використовується для улаштування заглиблених конструкцій типу “стіна в ґрунті” із одночасним бурінням 2-4 буровими штангами.

До буро змішувальних технологій слід віднести технологію “Turbojet” розробка фірми “Soil-Mec” [3]. В цій технології об’єднані переваги буро змішувальної і струменевої технологій. Характерні особливості заключаються в тому, що діаметр закріплювальної колони (ствола) жорстко забезпечується механічним шляхом, а однорідність складу ґрунтоцементу і кінцева міцність – високонадійним струменем цементного розчину. Формування стовбура може виконуватись при подачі бурового робочого органу вниз із насиченням закріплюючого складу, так і насиченням при піднятті робочого органу. Слабкий ґрунт, закріплений бурозмішувальним методом може отримувати міцність від 30 до 90 кг/см<sup>2</sup>.

Цементний розчин що застосовується при глибинному закріпленні складається із цементу і суглинка в окремих випадках включає добавки по масі у % див. табл. 1.

Таблиця 1. Показники цементних розчинів

| Склад суміші  | Ма са, % | Водоцементне відношення, В/Ц | Стабільність через 2г, г/см <sup>3</sup> | Набухання зразка глинистого ґрунта у фільтраті розчину, % |
|---|----------|------------------------------|--|---|
| Цемент 100<br>Суглинок 50                                       | 1        | 0,20                         | 80                                       | 30  |
| Цемент 100<br>Суглинок 50<br>Вапно 2                            | 1        | 0,30                         | 46                                       | 42  |
| Цемент 100<br>Суглинок 50<br>N <sub>2</sub> Si O <sub>3</sub> 2 | 1        | 0,31                         | 48                                       | 32  |
| Цемент 100<br>Суглинок 50<br>Сульфат алюмінію                   | 1        | 0,32                         | 51                                       | 32  |

При введенні у вихідний цементний розчин добавок вапна до 2 % у виді вапняного молока ( по даним практичних досліджень) збільшується міцність цементного розчину і зменшуються розмокаючі впливи на оточуючі глинисті ґрунти див. табл. 1 і 2. Оброблені вапняним розчином глинисті ґрунти знижують гідратацію і пептизацію глинистих частинок, а також набухання і випучування.

Таблиця 2. Розмокання зразків на приладі Знаменського-Хаустова

| Склад суміші, %                              | В'язкість суспензії по ВП-5, с | Час розмокання зразка, мин. |
|--|--------------------------------|-----------------------------|
| Цемент 100<br>Вода 100                       | 18,5                           | 15                          |
| Цемент 100<br>Вода 100<br>Вапно 1            | 19                             | 21                          |
| Цемент 100<br>Вода 100<br>Вапно 2            | 19,5                           | 26                          |
| Цемент 100<br>Вода 100<br>Рідке скло 1       | 20                             | 20                          |
| Цемент 100<br>Вода 100<br>Сульфат алюмінію 1 | 19,0                           | 19,5                        |

Вапно може вводиться в ґрунт у виді гашеного вапна  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (“пушонка”), вапняне тісто у виді негашеної  $\text{CaO}$  (мелена “кипілка”). При обробці ґрунтів вапном проходять наступні фізико-хімічні процеси:

- Просочування вихідного ґрунта колоїдно роздробленим ґрунтом оксидом кальція;
- ущільнення і кристалізація гідрату оксиду кальція із утворенням жорстких структурних зв'язків між ґрунтовими частинками і агрегатами;
- поглинання тонко дисперсною колоїдною частиною ґрунта іонів кальцію і згортання в міцні агрегати;
- часткова карбонізація гідрату оксиду кальцію із утворенням жорстких структурних зв'язків із вуглекислого вапна (кальциту);
- утворення силікатів кальцію при взаємодії гідратів оксиду кальцію із рухливими формами кремнієвої кислоти;

Вапняне тісто значно збільшує час твердіння. При вапнуванні ґрунтів велику роль грає вологість замішування. По И.В. Егорову оптимальна вологість ґрунтів визначається із виразу:

$W_0 = W_{\text{опт}} + 1,5 D$ , де  $W_{\text{опт}}$  - оптимальна вологість ґрунту, визначається стандартним методом;  $D$  - кількість вапна.

При введенні у водонасичений ґрунт негашеного меленого вапна відбуваються процеси гасіння із виділенням тепла (екзотермічна реакція):  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O}_R + 155 \text{ ккал}$ .

Гідрат оксиду кальцію виділяється в тонкодисперсному стані. Гасіння 1кг. вапна приводить до виділення 277 ккал. при чому об'єм збільшується в 2 – 3,5 рази. При додачі хлориду кальцію утворюється з'єднання типу цементу Сорреля:  $n\text{CaO} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Введення солей натрію також збільшує міцність вапняних ґрунтів. Вільна вода в межах формованого стовбура використовується на гасіння негашеного вапна, при цьому підсушуються оточуючі ґрунти, які в подальшому переходять в більш щільний стан. Хімічні добавки (рідке скло 2%, хлорид кальцію 0,5-1,5%) прискорює набір міцності ґрунтів, оброблених вапном.

Починаючи із 30х років минулого століття отримав розвиток метод силікатизації ґрунтів. Великий внесок в розвиток методів силікатизації вклали Б.А. Ржаницын і В.В. Аскалонов [4], розроблені і технічно обґрунтовані 2-х розчинний спосіб силікатизації для пісчаних і глинистих ґрунтів і 1- розчинний для закріплення лесових пилувато-глинистих ґрунтів. Силікатизація заключається у взаємодії рідкого скла із ґрунтом у результаті утворюється гель кремнекислоти, твердіючий із часом (особливо при присутності каталізаторів, наприклад хлориду кальцію). Затверділий гель зв'язує частини ґрунта між собою. Ряд досліджень показує, що під впливом дії води в деяких випадках міцність закріплених силікатизацією ґрунтів декілька понижується.

### Загальні висновки

1. Закріплення ґрунтів може виконуватись:

а) *ін'єкційним закріпленням* ґрунтів природного складання за допомогою нагнітанням в закріплювальний масив під тиском закріплюючих реагентів у виді розчинів або газів;

б) *бурозмішувальними методами* що реалізуються із порушенням природного стану ґрунтів механічним або гідравлічним перемішуванням із цементними або іншими зв'язуючими розчинами і добавками;

2. Кожен із способів закріплення має визначену область застосування, залежну від видів ґрунтів і їх фізико-механічних характеристик;
3. Техніко-економічна ефективність вибраного до застосування метода закріплення оцінюється по загальним і приведеним затратам.

### Література

1. Безрук В.М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве catalog v1.chtb-sa.ru/.../ukreplenie-gruntov-v-dorozhnom-i-a..... "Транспорт", М. : 1971г. 246с.
2. Грунтоцементные сваи по технологии "Джет граутинг" (Jet Grouting) [ww.geostroy.ru](http://ww.geostroy.ru) > Технологии
3. Применение технологии Jet Grouting в различных областях ... [dolomit-РК.ru/useful/premenenie\\_jet\\_grouting\\_v\\_stroitelstve/](http://dolomit-РК.ru/useful/premenenie_jet_grouting_v_stroitelstve/).
4. Ржаницын Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. – М: "Стройиздат", 1986г, 263с.

УДК 624.131.38

## ВЕЛИЧИНА СТРУКТУРНОЙ ПРОЧНОСТИ ГРУНТА В ОСНОВАНИИ ФУНДАМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Шароварский Е.В., гр. ЗПГС-606М; Нестеренко М. С., гр. ПГС-608М.*

*Научный руководитель – д.т.н., проф. Тугаенко Ю.Ф.,  
консультанты – к.т.н., доц., Логинова Л.А., к.т.н., доц., Ткалич А.П.*

Во многих аналитических методах расчета деформаций основания глубина сжимаемой толщи определяется условно, по соотношению напряжений. Предложено определять границу сжимаемой толщи по величине структурной прочности природного грунта. Ее значение можно определить по результатам полевых испытаний грунтов сваями и наблюдениями за деформациями грунтов в основании фундаментной плиты.

Расчет деформаций основания фундаментов производится с использованием существующего нормативного метода с применением теории упругости. Полученные результаты не всегда совпадают с величинами осадок при полевых исследованиях. Для низкопористых грунтов эти расчеты приемлемы, а для высокопористых осадки в несколько раз ниже. Глубина зоны деформируемого грунта, наоборот, в несколько раз выше. Для повышения точности расчетов, глубину