

УДК 625. 02

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ УКРІПЛЕННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА***Д.т.н., проф. Петренко В.Д., асп. Святко І.О., асп. Ямпольський Д.О.**Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка .В.Лазаряна*

**Вступ.** У випадку, коли основа характеризується високим ступенем стисливості та недостатньою несучою здатністю доцільно використовувати штучне покращення властивостей ґрунтів або повну заміну ґрунтів основ. Влаштування штучних основ у складних інженерно-геологічних умовах дозволяє знизити витрати на будівництво, попередити можливе виникнення деформацій в результаті нерівномірних осідань та збільшити терміни експлуатації.

**Мета.** Порівняння і пошук оптимальних методів підсилення та стабілізації земляного полотна для використання в складних інженерно-геологічних умовах, а саме при наявності слабких ґрунтів, а також проведення аналізу класичних та сучасних методів укріплення основ земляного полотна.

**Результати аналізу.** В результаті проведеного аналізу визначено, що один з найбільш ефективних способів укріплення земляного полотна є спосіб струминної цементації. Його широкому впровадженню заважає маловивченість фізики процесу, недостатня інформація про взаємозв'язки параметрів технології з конкретними інженерно-геологічними умовами, відсутність методик проектування, що дозволяють визначати технологічні параметри з необхідним рівнем надійності.

**Висновки.** Порівняння використання різних технологій для укріплення земляного полотна дає можливість зробити висновок про те, що технологія струминної цементації є прогресивною, але головним її недоліком є недостатнє обґрунтування параметрів для застосування в різних інженерно-геологічних умовах.

**ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ**

Введення швидкісного руху поїздів, як пріоритетного вектору розвитку Укрзалізниці, вимагає покращення стану колійного господарства. Для перетворення України на потужну транзитну державу виникає необхідність побудови нових залізничних колій, підвищення пропускної здатності існуючих залізничних ліній, а також збільшення частки залізничного транспорту в перевезеннях, що висуває підвищені вимоги до якості складових елементів колії, зокрема до земляного полотна [1,2].

**Методи укріплення земляного полотна.** На земляне полотно і розташований під ним ґрунт впливають статичні і динамічні навантаження. Вплив статичних навантажень відомий, динамічні навантаження, що викликають додаткові напруження в земляному полотні і в ґрунті, залежать від різних впливів, таких як вид ґрунту та його шаруватість, тип рухомого складу і його стан, швидкість руху потягів тощо.

До несучих шарів земляного полотна висувають певні вимоги по відношенню до розмірів, виду ґрунту, його щільності, вологості та фільтраційної здатності [3]. При цьому слід віддавати перевагу полотну і ґрунту, що має достатню несучу здатність. Для цього існують методи проведення робіт з суцільним динамічним контролем ущільнення, що дозволяє виявити дефектні місця.

При спорудженні нового полотна на етапі вибору траси можна оминати ділянки з нестабільними ґрунтами. У випадку неможливості уникнення слабких основ необхідно провести ряд заходів з укріплення основ насипу. В деяких випадках за геотехнічними і будівельними умовами слід споруджувати пробні ділянки, а іноді проводити натурні досліді.

Інакше виглядає ситуація при реконструкції ліній, земляне полотно яких було споруджено більш ніж 100 років назад. Таке полотно вже не може сприймати високі навантаження внаслідок незадовільної несучої здатності, недостатнього дренажу, низької щільності шарів земляного полотна і підстилаючих ґрунтів.

Роботи з уточнення вимог до земляного полотна проводяться відповідно до високошвидкісних ліній і націлені на встановлення параметрів земляних споруд у відповідності з динамічними показниками, а також на мінімізацію витрат при невисоких швидкостях. Геотехнічні вимоги повинні бути модифіковані таким чином, щоб навіть при максимальних навантаженнях земляні споруди працювали безвідмовно.

Способи покращення основ можна поділити на декілька принципово різних груп:

1. Конструктивні методи – влаштування піщаних подушок, кам'яних, піщано-гравійних відсипок, влаштування шпунтового огородження, армування ґрунтів – використовуються при підсиленні мулів, торфів, насипних ґрунтів, слабких піщаних і зв'язних ґрунтів.

Конструктивні методи засновані на обмеженні розвитку деформацій в зоні впливу споруди в будь-якому напрямку. Загальною перевагою конструктивних методів є можливість їх застосування в будь-яких умовах, оскільки вони не пов'язані з поліпшенням характеристик ґрунтів. Недоліком – значна трудомісткість.

2. Механічні методи:

– поверхневе ущільнення – ущільнення ґрунтів укатуванням, віброплитою, важкими трамбівками, - використовуються при рихлих піщаних і макропористих ґрунтах, свіжеукладених насипних і зв'язних ґрунтах;

- глибинне ущільнення – ущільнення ґрунтів вапняними та ґрунтовими сваями, пневмопробійниками, розкатуванням свердловин, обтиск ґрунтів статичними навантаженнями з улаштуванням вертикальних дренажів, ущільнення динамічними впливами, попереднє замочування, ущільнення водопониженням – використовуються при макропористих просадочних ґрунтах, пілувато-глинистих ґрунтах, торфах, рихлих піщаних ґрунтах, слабких сильностискуємих ґрунтах.

Механічні методи покращення основ пов'язані з ущільненням ґрунтів і отриманням властивостей, які б гарантували стійкість і допустимого осадку споруд, що будуть будуватися.

Для зміцнення слабких глинистих, рихлих піщаних ґрунтів, насипних і просадочних ґрунтів використовується поверхнєве або глибинне ущільнення. При поверхнєвому ущільненні в межах деформуємого масиву основи або її частини, вплив ущільненням відбувається з поверхні ґрунту. При глибинному ущільненні – в межах всієї товщини рихлих ґрунтів основи вплив ущільненням відбувається по всій глибині масиву або по частині.

### 3. Фізико-хімічні методи:

- температурні – термічне закріплення і заморожування ґрунтів – використовуються при макропористих просадочних і інших зв'язних ґрунтах, структурно-нестійких водонасичених ґрунтах;

- ін'єкційні – цементація, силікатизація, закріплення ґрунтів синтетичними смолами – використовуються при гравелистих і крупних пісках, макропористих просадочних ґрунтах;

- електрохімічні – електросилікатизація, електроосмос, електрохімічне закріплення – використовуються при слабких пілувато-глинистих ґрунтах;

- струменеві технології, напірні ін'єкції, високонапірні ін'єкції – які порушують цілісність ґрунтів (розривні).

Фізико-механічні методи засновані на використанні спеціальної обробки ґрунтів і супроводжуються штучним перетворенням їх властивостей. В ґрунті при цьому відбуваються незворотні процеси зміни структури зв'язків між окремими частинками, в результаті чого зростає міцність ґрунту, зменшується його стискуємість і водонепроникність.

З кінця 50-х років для зміцнення слабких ґрунтів використовуються методи напірних ін'єкцій. При технології гідророзриву тиск нагнітання значно перевищує структурну міцність ґрунту. На сьогодні існують різновиди даної технології, які дозволяють зміцнювати будь-які ґрунти за допомогою багатьох розчинів.

Тиск ін'єктування сягає 0,05...50 МПа високошвидкісними струменями цементного розчину, які обертаються, що, на відміну від цементації, дозволяє розчину поширюватись крізь тріщини в ґрунтового масиві. Розчин розповсюджується по поверхням найменшого опору в послаблені зони ґрунту, порушуючи його суцільність у вигляді щілеподібних розривів, які наповнюються розчином ін'єктування. Оточуючий ґрунт ущільнюється і відбувається покращення його властивостей. Несуча здатність та жорсткість зміцненої основи збільшуються завдяки ефекту армування ґрунтового масиву лінками, які утворились з розчину, який було ін'єктовано, і міцність якого часом тільки підвищується.

Для ін'єктування використовуються розчини гребодисперсного складу на основі цементного в'язучого. В літературі є відомості про підбір тверднучих розчинів для зміцнення ґрунтів та дослідження про вплив гранулометричного і мінералогічного складу, змісту цементу і різних домішок на межу міцності і час твердіння розчинів [4]. У той же час відсутні дані про підбір складу розчину і його властивостей для ін'єктування розчину в

режимі розриву структурної міцності залежно від проектних значень характеристик зміцнюваного ґрунтового масиву.

Підбір суміші ін'єкційних розчинів проводять в лабораторних умовах. Визначається співвідношення різних складових, що входять в розчин. Такі дослідження слід проводити для кожного конкретного випадку окремо. Наприклад, зміна будь-яких складових розчину може повністю перетворити дану суміш. У цьому випадку доводиться коригувати або навіть замінювати її склад.

В ґрунт розчин подають через спеціальний ін'єкційний монітор. Даний монітор має отвір для подачі матеріалу в нижній частині, допоміжні трубопроводи і пристрій для занурення монітору в свердловину в своїй верхній частині, та спеціальні сопла на бічних поверхнях.

Умовно процес струминної цементації можна розділити на наступні етапи:

- буріння лідерної свердловини до проектної відмітки із зануренням в неї монітору;
- повільне піднімання бурової колони з одночасним обертанням монітору, крізь який відбувається подача розчину.

Після даних операцій замість свердловини отримуємо стовп з ґрунторозчину. Змінюючи співвідношення параметрів ін'єктування можливо отримати різноманітні форми укріпленого масиву.

При використанні методу в зв'язних ґрунтах, які є непроникними для розчину, що нагнітається, утворюються тріщини гідророзриву, за якими відбувається неконтрольоване його поширення, яке не завжди призводить до очікуваного ефекту. Створення вертикальних і горизонтальних екранів дозволяє обмежити обсяг поширення розчину і цим знизити ймовірність його виходу за межі зміцнюваного масиву. Надання контуру широко застосовується в ряді модифікацій методу і захищено патентами [5,6].

На сьогодні є відомості про використання даного методу в різних ґрунтових умовах (піски, супіски, суглинки, глини, насипні, заторфовані ґрунти). У той же час відсутні конкретні дані про поширення розчину, який нагнітається в ґрунтах та зміну його властивостей після виконаних робіт.

Основним недоліком методу високонапірної цементації є недостатній обсяг рекомендацій з вибору параметрів технологічного процесу.

### **Висновки**

Посилення земляного полотна за допомогою напірної ін'єкції розчину є універсальним і відносно недорогим методом, який виявився доцільним та ефективним на багатьох об'єктах в різних країнах. Устаткування і технологія виробництва робіт апробовані на об'єктах в різних інженерно-геологічних умовах.

Основною перевагою використання ін'єкційних методів для стабілізації основ земляного полотна залізниць, що експлуатуються в порівнянні з традиційними заходами є можливість виконання робіт без будь-яких обмежень руху поїздів.

Серед розглянутих ін'єкційних методів зміцнення ґрунтів напірна ін'єкція має ряд переваг:

1) висока швидкість спорудження ґрунтоцементних паль та можливість роботи в обмежених умовах - поблизу існуючих споруд, на укосах тощо. У цьому випадку на об'єкті встановлюється тільки малогабаритна бурова установка, а весь ін'єкційний комплекс розташовується на більш зручному віддаленому майданчику;

2) маленький діаметр лідерної свердловини дозволяє, наприклад, при посиленні земляного полотна виготовляти палі діаметром 500-1500 мм через отвір діаметром до 112 мм;

3) широкі межі інженерно-геологічних умов використання методу, в тому числі незалежність від проникності ґрунтів; метод дозволяє зміцнювати слабкі і обводнені ґрунти, де використання інших способів з тих чи інших причин ускладнене;

4) екологічна чистота матеріалів, які використовуються для приготування розчину (цемент, глина, пісок);

5) виробництво робіт не вимагає спеціального високотехнологічного обладнання.

### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Закон України Про Комплексну програму утвердження України як транзитної держави у 2002-2010 роках [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/3022-14>
2. Законопроект України «Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки» від 16 грудня 2009 р. № 1390 [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1390>
3. ЦП-0138. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України/ Е.І.Даніленко, В.О.Яковлев, А.М.Орловський та інші. – К.: НКТБ колійного господарства Укрзалізниці, 2006.- 56 с.
4. Камбефор А. Инъекция грунтов. Принципы и методы. М.: Энергия, 1971. 336 с.
5. Патент 2133795 Способ закрепления грунта/ А.М. Голованов, В.И. Пашков; Авт. А.М. Голованов, В.И. Пашков, В.И. Сергеев. - Заявл. 03.12.97 № 97120673/03; Опубл. 27.07.99 Бюл. № 21
6. Патент 2103441 Способ закрепления грунта/ А.М. Голованов, В.И. Пашков; А.М. Голованов, В.И. Пашков, В.И. Сергеев. - Заявл. 07.06.96 № 96111630/03; Опубл. 27.01.98 Бюл. №3.
7. Грицьк В.И. Возможные деформации земляного полотна: Учебное иллюстрированное пособие для студентов вузов, техникумов и колледжей железнодорожного транспорта. М.: Маршрут, 2003. 64 с.