

## АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІН'ЄКЦІЙНИХ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПІДСИЛЕННЯ ҐРУНТОВИХ МАСИВІВ НЕСУЧИХ ОСНОВ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Авторами виконано аналітичне дослідження відомих методів відновлення та підсилення ґрунтових масивів несучих основ будівель і споруд. В результаті цього дослідження встановлено, що найбільш перспективним методом підвищення міцності несучих основ є ін'єктування цементного чи іншого розчину під визначеним тиском. Ін'єкційний метод підсилення ґрунтових масивів має ряд суттєвих переваг у порівнянні з іншими методами, а саме: простота виконання робіт, гарантована надійність та міцність основ, можливість використання в будь-яких геологічних умовах. Проведений аналіз показав особливі переваги нового методу закріплення ґрунтових масивів, сутність якого полягає у додатковому накладенні на стаціонарний потік скріпного розчину створених періодичних імпульсів тиску.

**Ключові слова :** цементация ґрунтових масивів, ін'єкційне нагнітання розчину, методи відновлення та підсилення ґрунтових масивів, силікатизация, смолізация, електричне закріплення ґрунтів, термічний метод.

### Abstract

The authors carried out an analytical study of known methods for the restoration and strengthening of soil massifs of the bearing bases of buildings and structures. As a result of this study, it was found that the most promising method for increasing the strength of bearing bases is the injection of a cement or other solution under a certain pressure. Injection method for strengthening of soil massifs has a number of significant advantages over other methods, namely: ease of execution of works, guaranteed reliability and durability of bases, possibility to use in any geological conditions. The analysis showed the special advantages of the new method of fastening of soil arrays, the essence of which is the additional imposing on the stationary flow of brazing solution of the created periodic pressure pulses.

**Keywords:** cementation of soil massifs, injecting injection of a solution, methods of restoration and strengthening of soil massifs, silicification, resinization, electrical fixing of soils, thermal method.

### Вступ

Досить часто виникає необхідність відновлення та підсилення ґрунтових масивів і несучих основ будівель та споруд, наприклад: при неправильному проектуванню основи; при просіданні підстилаючих шарів ґрунту; при перезволоженні просадочного ґрунту; внаслідок збільшення навантаження на фундамент при реконструкції будівлі; при довготривалій експлуатації споруд тощо [1, 2, 4-10]. Інколи повна заміна фундаменту є досить високовартісною, в більшості випадків і неможливою без повного знесення споруди, а несвоєчасний ремонт та укріплення несучих основ призводить до руйнації будівлі й об'єктів різного функціонального призначення. Таким чином, підсилення і відновлення несучих основ споруд та фундаментів будівель є актуальним і потребує подальшого детального вивчення та аналізу, пошуку і вибору оптимального варіанту методу закріплення порушеної основи.

Метою даної доповіді є проведення детального аналітичного дослідження основних методів та відповідного технологічного оснащення для відновлення та підсилення несучих основ споруд і дослідженню основних теоретичних та експериментальних результатів в даній області для пошуку оптимального варіанту закріплення порушеної структури ґрунтового масиву. На основі здійсненого аналізу передбачається розробити новий ефективний метод та технологічного обладнання для відновлення та підсилення несучих основ споруд, який надасть можливість ліквідації основних недоліків існуючих відомих технологій.

### Виклад основного матеріалу

Відновлення та підсилення ґрунтових масивів необхідне для підвищення несучої спроможності існуючого фундаменту, а також для уникнення розвитку деформації конструкції аварійного характеру. Для виконання робіт з ремонту і реконструкції фундаментів та їх основ використовують різні методи та технічні засоби відновлення та підсилення ґрунтових масивів несучих основ будівель і споруд. В залежності від технології виконання і процесів, що відбуваються в основах виділяють наступні найбільш відомі методи закріплення ґрунтових масивів та несучих основ будівель і споруд: механічний, бітумізація та глинізація ґрунтів, силікатизация, смолізация, термічний метод, електричний, цементация [1, 2, 4-10, 13].

Механічний спосіб зміцнення ґрунтів передбачає влаштування ґрунтових подушок і ґрунтових паль, ущіль-

нення котками, трамбівками. Переваги та недоліки механічного методу підвищення будівельних властивостей ґрунтових масивів детально представлені у наступних публікаціях [3].

Методи бітумізації та глинізації ґрунтів зазвичай застосовують для зменшення водопроникності і створення протифільтраційних завіс. Бітумізацію виконують шляхом нагнітання в ґрунт розплавленого бітуму або холодної бітумної емульсії [4]. Глінізація полягає в зануренні у ґрунт ін'єкторів і подачі водної суспензії бетонованої глини з вмістом монтмориллоніту не менше 60%. Глинисті частинки утворюють гель, який заповнює пори у піску і забезпечує зниження водопроникності основи майже у 10 разів. Слід зауважати, що цим методам властиві недоліки, а саме: створення тільки протифільтраційної завіси, яка зовсім незначно впливає на збільшення несучої здатності, складність технологічного процесу, яка обумовлена використанням великої кількості різноманітних технічних засобів. Таким чином, ці методи не набули широкого розповсюдження, так як не забезпечують необхідної несучої здатності пошкоджених несучих основ фундаментів будівель і споруд.

Досить великого розповсюдження в останній час отримав метод силікатизації ґрунтів, що полягає у поступовому нагнітанні в ґрунт розчину силікату натрію (рідке скло). Для закріплення ґрунтів використовують однорозчинний та дворозчинний способи силікатизації. Однорозчинний спосіб використовують в тих випадках, коли в склад ґрунтів входять солі, які виконують роль затверджувача, тобто заміняють рідке скло. Процес закріплення виконується відбувається практично миттєво, міцність набувається досить швидко. Дворозчинним способом силікатизації закріплюють піщані ґрунти. Цей спосіб полягає у послідовному нагнітанні в ґрунт розчинів силікату натрію та хлористого кальцію. Гель, який утворюється в результаті реакції надає ґрунту значну міцність та стійкість основи [5 – 8]. Основними недоліками цього методу є обмеження використання за коефіцієнтом фільтрації, обмежений тиск ін'єкування до 0,4 МПа, так як використання більшого тиску призводить до руйнування структури ґрунту, а також відносно висока вартість реагентів та процесу виконання робіт. Також слід відмітити, що при закріпленні ґрунтів для кожної місцевості необхідний індивідуальний підбір складу розчину, питомої ваги та інших параметрів. При силікатизації ґрунтів відмічається нерівномірність, неоднорідність закріпленого ґрунтового масиву, що значно впливає на несучу здатність та стабільність основи.

Метод смолізації ґрунтів полягає у введенні в ґрунт високомолекулярних органічних сполук типу карбомідних, фенолформальдегідних та інших синтетичних смол у суміші з затверджувачами (кислотами, кислими солями). Враховуючи те, що цей метод має ряд вагомих переваг таких, як: простота виконання робіт, можливість використання методу при реконструкції споруд, відносно висока міцність закріпленої ґрунтової основи. Слід також відмітити значні недоліки цього методу, а саме: високу вартість процесу; проблеми, що пов'язані з отриманням однорідності закріпленого масиву; екологічні проблеми, що обумовлені введенням токсичних сполук.

Термічний метод полягає у випалі ґрунтів розпеченими газами, які подаються в товщу ґрунту разом з повітрям через жароміцні труби в пробурених свердловинах. Глибина закріпленої товщі ґрунту досягає 20 м. Цей метод застосовують для лесових ґрунтів, неводонасичених глинистих ґрунтів. Сутність термічного закріплення полягає в перетворенні структурних зв'язків у ґрунті під впливом високих температур. У результаті закріплення усуваються просадні властивості ґрунтів, зростають їхня міцність і водостійкість. Оскільки для створення високої температури використовують газ, то в Україні даний метод не застосовується внаслідок його високої вартості. Крім того, даний метод має недоліки обумовлені значною тривалістю та вибуховістю, обмеженим терміном роботи укріпленого ґрунтового масиву при підвищенні вологості ґрунту, підвищення правил техніки безпеки при виконанні робіт.

Електричним методом закріплюють вологі глинисті ґрунти та водонасичені піски. Метод полягає у використуванні ефекту електроосмосу, для чого через ґрунт пропускають постійний електричний струм з напруженістю поля 0,5-1 В/см і щільністю 1-5 А/кв.м. Суть процесу полягає в тому, що внаслідок міграції під дією електричного поля іонів солей багатовалентних металів здійснюється коагуляція глинистих частинок. При цьому глина осушується, ущільнюється і втрачає здатність до пучення. До недоліків цього методу слід віднести низьку ефективність, що обумовлена малими діаметрами закріплення ґрунту, висока вартість та проблеми пов'язані з безпекою проведення робіт.

Найбільш широкого розповсюдження здобув метод цементації ґрунтів, який окрім створення протифільтраційної завіси забезпечує високу несучу здатність укріпленого ґрунтового масиву, причому, вартість у рівнянні з іншими методами є незначною. Цементация є нешкідливою у порівнянні із смолізацією, а також відносно більш проста у використанні та безпечна. Якщо більш детально зупинитися на методі цементації, то залежно від способу подачі ін'єктуемого розчину у ґрунт виділяють наступні його види: цементацию під високим тиском, що використовується для порід із коефіцієнтом фільтрації більше 50 м/добу; ін'єкування при тиску нагнітання 0,1...0,8 МПа через свердловини малих діаметрів з використанням тампонів, що переміщуються по ін'єктору або з використанням манжетної технології; ін'єкування з використанням високого тиску з гідророзривом порід [6-10], коли цементний розчин руйнує структуру ґрунту з подальшим його перемішуванням, ущільненням та армуванням. Цей метод використовують для закріплення ґрунтових основ, як вище, так і нижче рівня ґрунтових вод.

Відомі три основних схеми підсилення ґрунтів із використанням ін'єкційного методу [10]:

– схема нагнітання “зверху вниз”;

- схема ін'єктування “знизу вверх” (циркуляційна технологія);
- горизонтальне ін'єктування або ін'єктування під кутом.

Основними перевагами ін'єкційного методу цементації є можливість підсилення основи нижче рівня ґрунтових вод, використання в будь-яких геологічних умовах, можливість створення протифільтраційної завіси з одночасним підсиленням ґрунту, технічна простота та безпечність використання, екологічність, а також слід зауважити, що цей метод має досить велику область застосування та значні перспективи використання у порівнянні із іншими методами. На основі проведеного аналізу можна стверджувати, що метод цементації є достатньо універсальним, економічним та безпечним, а тому нами для подальшого дослідження був запропонований новий ефективний метод імпульсного ін'єктування ґрунтів, який передбачає накладання на стаціонарний потік розчину додатково створених періодичних імпульсів тиску за допомогою спеціального розробленого у ВНТУ технологічного устаткування [11 – 13]. Це надає можливість зменшити сили тертя між ґрунтовим середовищем та технологічним розчином в результаті зменшення в'язкості розчину при дії на потік імпульсної складової і, як наслідок, збільшити глибину проникнення розчину та збільшити радіус розповсюдження його в товщі ґрунтового масиву. В результаті якісного заповнення пор і каналів в ґрунтовому масиві та суттєвого збільшення об'єму несучої основи досягаються її необхідні параметри при відновленні та підсиленні пошкоджених фундаментів будівель і споруд.

### **Висновки**

1. Здійснено огляд існуючих методів відновлення на підсилення фізико-механічних властивостей ґрунтових масивів. Для кожного методу проаналізовано його переваги та недоліки. В результаті проведеного огляду встановлено, що найбільш перспективним методом підвищення міцності несучих основ є ін'єктування цементного розчину під тиском.

2. Ін'єкційний метод закріплення ґрунтових масивів має ряд значних переваг у порівнянні з іншими методами, а саме: простота виконання робіт, гарантована надійність та міцність основ, можливість використання в будь-яких геологічних умовах.

3. На основі проведеного аналізу авторами запропонований новий метод та відповідне технологічне устаткування для закріплення ґрунтових масивів, який полягає у накладенні на стаціонарний потік рідини додатково створених періодичних імпульсів тиску, що дозволяє зменшити сили зовнішнього тертя (між ґрунтовим середовищем та розчином) та внутрішнього тертя, зменшити в'язкість розчину і, як наслідок, збільшити проникність та збільшити радіус розповсюдження розчину в ґрунтовому масиві.

### **Список використаних джерел**

1. Усиление оснований и фундаментов существующих сооружений. Режим доступа : <http://www.stroitelstvo-new.ru/fundament/usilenie.shtml>
2. Ремонт аварийных фундаментов. Режим доступа до електронного ресурсу : <http://www.zs-z.ru/zagorodnoe-stroitelstvo/fundament/remont-avarijnyix-fundamentov.html>
3. Технологічні процеси зворотної засипки та ущільнення ґрунтів. Режим доступа до електронного ресурсу : <http://helpiks.org/3-57054.html>
4. Аскалов В.В. Классификация химических способов закрепления грунтов в основании зданий и сооружений / В.В. Аскалов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М., 1966. – № 6. – С. 24-25.
5. Баранов Н.Н. Инъектирование грунтов при глубоком фундаментостроении / Н.Н. Баранов // Строительство и архитектура Белоруссии. – Минск, 1981. – № 4. – С. 36-37.
6. Богомолов В. А. Метод высоконапорной инъекции связных грунтов при устройстве и усилении оснований и фундаментов: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.23.02 «Основания и фундаменты» / В. А. Богомолов. – Пермь, 2002. – 18 с.
7. Головка С.И. Теоретические и практические аспекты проблемы закрепления оснований методом высоконапорной инъекции растворов / С.И. Головка // Новини науки Придніпров'я. Серія: Інженерні дисципліни. – 2004. – № 2. – С. 83-87.
8. Ланис А.Л. Упрочнение грунтов методом напорных инъекций / А.Л. Ланис, В.И. Пусков, М.Я. Крицкий, В.Ф. Скоркин // Строительные конструкции. – К.: НИИСК, 2004. – №61, т.2. – С. 53-58.
9. Писанко В.П. Уплотнение грунтового основания методом высоконапорного инъектирования с нагнетанием смесей по заданным траекториям / В.П. Писанко, М.Л. Нуждин // Реконструкция исторических городов и геотехническое строительство: сборник научных трудов. - СПб., 2003. – С. 361-364.
10. Головка С.И. Теория и практика усиления грунтовых оснований методом высоконапорной цементации : монография / С.И. Головка. - Днепропетровск : Пороги, 2010. – 247 с.
11. Бадьора Н.П. Експериментальне дослідження процесу імпульсного нагнітання сумішей в ґрунтовий масив / Н.П. Бадьора, Коц І.В // Сборник материалов международной научно-практической конференции "Научный потенциал мира", том 2 , 2011–с.71-73.[Електронний ресурс]:–Режим доступа. [http://www.ukrnauka.ru/NNM/27-10-2011\\_A4\\_tom-22.pdf](http://www.ukrnauka.ru/NNM/27-10-2011_A4_tom-22.pdf)

12. Пат. № 63266 Україна, МПК8 E02B 3/00, E21B 43/16, E21B 20/00. Установка для нагнітання будівельних розчинів в ґрунтовий масив / Коц І. В., Бадьора Н. П. ; заявник і власник патента Вінницький національний технічний університет. - № u201100502 ; заявл. 17.01.2011 ; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19.

13. Н.П. Бадьора. Порівняльний аналіз методів відновлення та підсилення ґрунтових масивів несучих основ споруд / Бадьора Н.П., Коц І.В. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – № 4. – С. 61-64.

*Андрій Анатолійович Трубаєнко* – аспірант, кафедра інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail : **trubaenko@ukr.net**;

*Іван Васильович Коц* – канд. техн. наук, професор кафедри інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail : **ivvkots@ukr.net**;

*Andriy A. Trubaenko* – Postgraduate student of the Chair of engineering systems in construction, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : **trubaenko@ukr.net**;

*Ivan V. Kots* – Ph.D. (Eng.), Professor of the Chair of engineering systems in construction, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : **ivvkots@ukr.net**;