

І. В. Коц, к. т. н., проф.; Н. П. Бадьора

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦЕМЕНТАЦІЙНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ ҐРУНТІВ ІМПУЛЬСНИМ ІН'ЄКТУВАННЯМ

В статті наведено результати експериментальних досліджень підсилення несучих основ споруд із використанням динамічного тиску ін'єктування. Отримані результати підтвердили ефективність імпульсного ін'єктування і довели, що пульсаційна подача розчину сприяє збільшенню проникнення до (30%) порівняно з використанням статичного тиску ін'єктування. Виконано аналіз досліджень імпульсного ін'єктування розчинів у різні структури ґрунту та встановлено оптимальні параметри процесу.

Ключові слова: імпульсне ін'єктування розчину, несуча здатність, фундамент, радіус розповсюдження, глибина ін'єктування, динамічний тиск, частота пульсації.

Вступ

Наявність великої кількості старих будівель зумовлює необхідність постійного моніторингу несучої здатності основних конструктивних елементів цих будівель та їх основ. Як показує практика, дуже часто виникає необхідність підсилення фундаментів і несучих основ будинків і споруд. Останнім часом широкого використання набув метод підсилення несучих основ, що передбачає ін'єктування високонапірного розчину в товщу ґрунтового масиву під певним статичним тиском [1 – 3]. Цей метод має низку вагомих переваг: виключає динамічні навантаження на основу, що виникають під час влаштуванні забивних паль; його можна використовувати в будь-яких ґрунтових умовах, а також в умовах щільної забудови. На сьогодні проблема закріплення ґрунтів є актуальною і потребує подальшого дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що ін'єктування основ проводили тільки під статичним (постійним) тиском нагнітання [2 – 4], що не завжди забезпечує якісне проникнення й поширення розчину в товщі ґрунтового масиву, а як наслідок, не гарантує необхідну несучу здатність масиву.

Основна частина

Для підвищення ефективності ін'єкційного способу підсилення ґрунтових основ авторами було запропоновано спосіб використання додаткової пульсації робочого тиску, створюваної спеціальним генератором гідравлічних імпульсів, на стаціонарний потік нагнітання цементного розчину.

Для проведення експериментальних досліджень був розроблений експериментальний стенд (рис. 1) [5, 6], який працює так. Після увімкнення розчинонасоса 3 ін'єктувальний розчин під заданим тиском подається по трубопроводу і заповнює резервуар для подачі ін'єктувального розчину 1. Під дією робочого тиску, створюваного компресором 10, здійснюється подача ін'єктувального розчину через зворотний клапан по трубопроводу 2 в технологічну камеру 5, а далі по трубопроводу 12 до внутрішньої порожнини ін'єктора 11 і в пори ґрунтового матеріалу, який розташований в резервуарі 7.

Після увімкнення привідного насоса гідросистеми 8 робоча рідина під заданим тиском потрапляє в порожнину 4 гідроциліндра 13. Тиск робочої рідини зростає до певного граничного значення, на яке налаштований генератор гідравлічних імпульсів 9. Під дією сили тиску робочої рідини на ефективну площу плунжера 6 він переміщується вправо і створює додаткове навантаження на замкнутий об'єм ін'єктувального розчину, який розміщений у камері 5. У результаті цього додаткова порція ін'єктувального розчину по

трубопроводу 12 нагнітається через ін'єктор 11 в ґрунтовий масив. Після досягнення заданого критичного тиску робочої рідини в порожнині 4 відбувається спрацювання імпульсного клапана 9. При цьому тиск робочої рідини в приводній гідросистемі 8 падає, а робоча рідина віддаляється на злив. Далі процес повторюється в автоматичному режимі.

Експериментальне дослідження проводилося на трьох типах ґрунтових основ: пісок, супісок та суглинок. Фізико-механічні характеристики ґрунтових основ такі:

а) для піску: питома вага ґрунту – $18,1 \text{ кН/м}^3$; коефіцієнт фільтрації – $9,0 \text{ м/добу}$; модуль деформації – $15,3 \text{ МПа}$; питоме щеплення – $8,1 \text{ кПа}$; кут внутрішнього тертя – $27,8 \text{ град}$;

б) для супіску: питома вага ґрунту – $18,6 \text{ кН/м}^3$; коефіцієнт фільтрації – $0,48 \text{ м/добу}$; модуль деформації – $12,5 \text{ МПа}$; питоме щеплення – $19,2 \text{ кПа}$; кут внутрішнього тертя – $25,3 \text{ град}$;

в) для суглинку: питома вага ґрунту – $19,4 \text{ кН/м}^3$; коефіцієнт фільтрації – $0,04 \text{ м/добу}$; модуль деформації – $9,5 \text{ МПа}$; питоме щеплення – $26,8 \text{ кПа}$; кут внутрішнього тертя – $18,2 \text{ град}$.

Як ін'єктувальний розчин використовували цементний розчин з водоцементним відношенням В:Ц=1. Під час проведення експериментальних досліджень робочий тиск варіювався від $0,2$ до $0,4 \text{ кГс/см}^2$, частота повторення гідравлічних імпульсів тиску змінювалася від 5 до 10 Гц . Окрім того, змінювався об'єм розчину, який нагнітали в ґрунт.

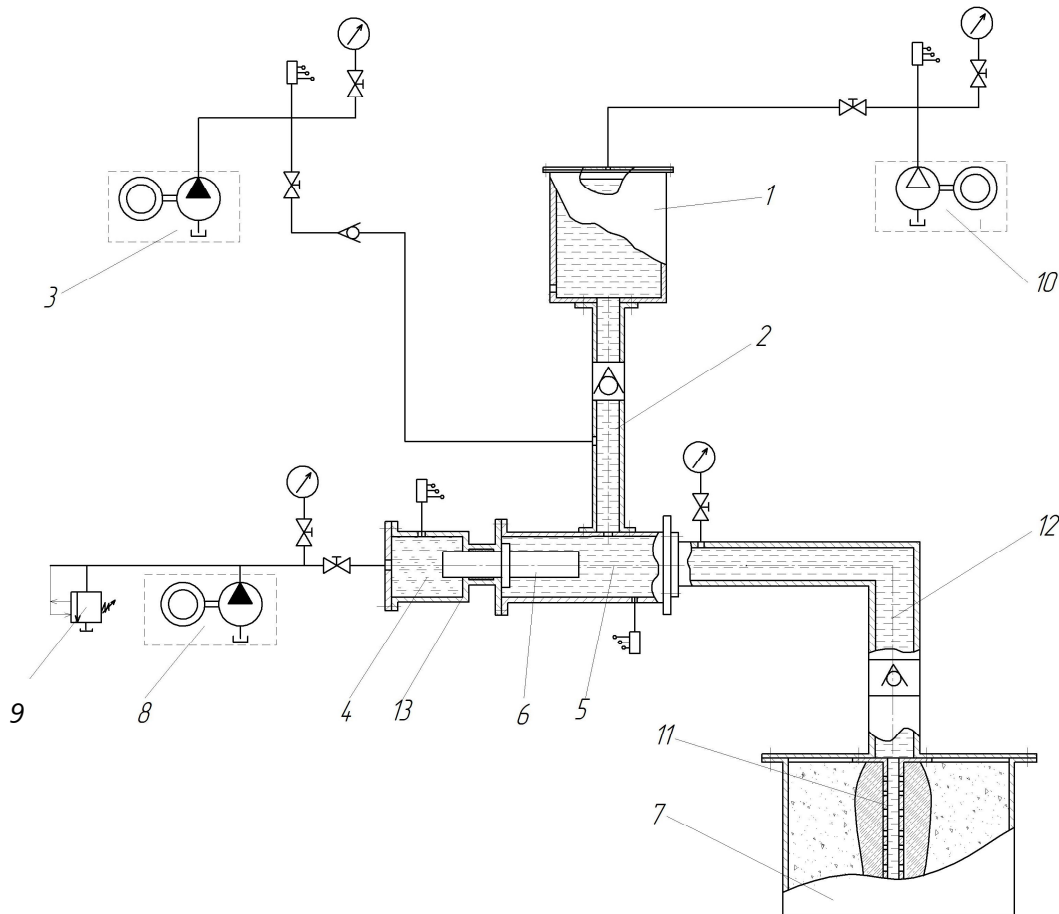


Рис. 1. Загальний вигляд експериментального стенду зі складовими вузлами: 1 – резервуар для подачі ін'єктувального розчину; 2, 12 – трубопроводи; 3 – розчинонасос; 4 – робоча камера; 5 – технологічна камера; 6 – плунжер; 7 – резервуар, заповнений пористим ґрунтовим матеріалом; 8 – гідропривідна станція; 9 – імпульсний клапан; 10 – компресор; 11 – ін'єктор; 13 – гідроциліндр



Рис. 2. Визначення радіуса розповсюдження розчину отриманого експериментального зразка за тиску нагнітання $p = 0,3 \text{ кГс/см}^2$ з частотою пульсації 10 Гц

Дослідження проводили у два етапи [7]. На першому етапі нагнітання розчину здійснювалося під постійним (статичним) тиском. Отримані зразки представлено на рис. 3, в). На другому етапі на стаціонарний потік розчину накладали періодичні імпульси тиску. Експериментальні зразки представлено на рис. 3 а), б). У процесі проведення експериментів усі отримані зразки мали міцну суцільну структуру.

Як видно з рис. 3, найкращу проникність розчину спостерігаємо за частоти пульсації 10 Гц. Це можна пояснити тим, що за рахунок використання гідравлічних імпульсів тиску в потоці цементного розчину зменшуються сили тертя між ґрунтовою основою та цементним розчином, що сприяє збільшенню площі розтікання розчину і збільшенню радіуса його розповсюдження. Унаслідок цього збільшується несуча здатність насиченого ґрунту. Імпульсне ін'єктування дозволяє нагнітати в 1,8 – 2,2 рази більше цементного розчину порівняно з традиційним статичним ін'єктуванням.



Рис. 3. Отримані експериментальні зразки: а) за частоти пульсації 10 Гц; б) за частоти пульсації 5 Гц; в) за постійного тиску ін'єктування

Порівняльна таблиця зміни радіуса розповсюдження розчину під час різних режимів ін'єктування

Тиск ін'єктування	Статичне ін'єктування	Імпульсне ін'єктування $\omega=5$ Гц	Імпульсне ін'єктування $\omega=10$ Гц
пісок			
$p=0,2$ кгс/см ²	64 мм	84 мм	108 мм
$p=0,3$ кгс/см ²	78 мм	96 мм	118 мм
$p=0,4$ кгс/см ²	86 мм	106 мм	124 мм
супісок			
$p=0,2$ кгс/см ²	53 мм	74 мм	92 мм
$p=0,3$ кгс/см ²	62 мм	88 мм	102 мм
$p=0,4$ кгс/см ²	70 мм	93 мм	110 мм
суглинок			
$p=0,2$ кгс/см ²	29 мм	40 мм	56 мм
$p=0,3$ кгс/см ²	34 мм	46 мм	64 мм
$p=0,4$ кгс/см ²	38 мм	53 мм	74 мм

Після проведення експериментальних досліджень визначили радіус розповсюдження розчину за різних режимів ін'єктування (рис. 3). Результати зміни радіуса розповсюдження представлено в таблиці 1. Як видно із запропонованої таблиці, під час використання імпульсного ін'єктування за частоти пульсації 5 Гц можна збільшити радіус розтікання розчину в середньому на 25 – 30%, а за частоти пульсації 10 Гц радіус збільшується в середньому на 35 – 40%. Варіюючи частоту пульсації цементного розчину, можна прогнозувати забезпечення необхідного радіусу розтікання в ґрунтовій основі.

На основі експериментальних досліджень побудовано графіки зміни радіуса розповсюдження розчину від тиску ін'єктування (рис. 4 – 6). Як видно із запропонованих графіків, максимальний радіус поширення розчину спостерігаємо за частоти пульсації 10 Гц при всіх значеннях зміни тиску. На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що зі збільшенням частоти пульсації збільшується проникність розчинів і збільшується площа їх розтікання. За умови практичного використання імпульсного ін'єктування слід пам'ятати, що частоту пульсації розчину можна збільшувати лише до певного граничного значення, за якого спостерігатимуть подальший гідророзрив пористого середовища.

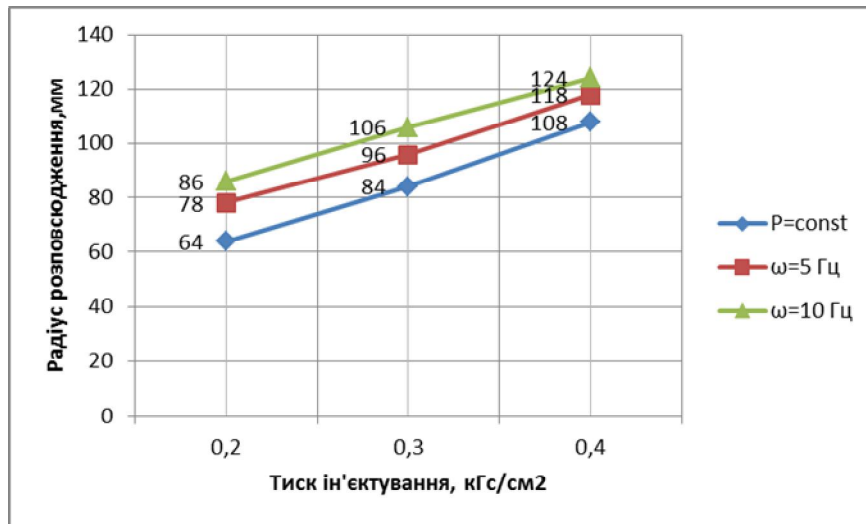


Рис. 4. Графік залежності зміни радіуса розповсюдження розчину від динамічного тиску ін'єктування для піску

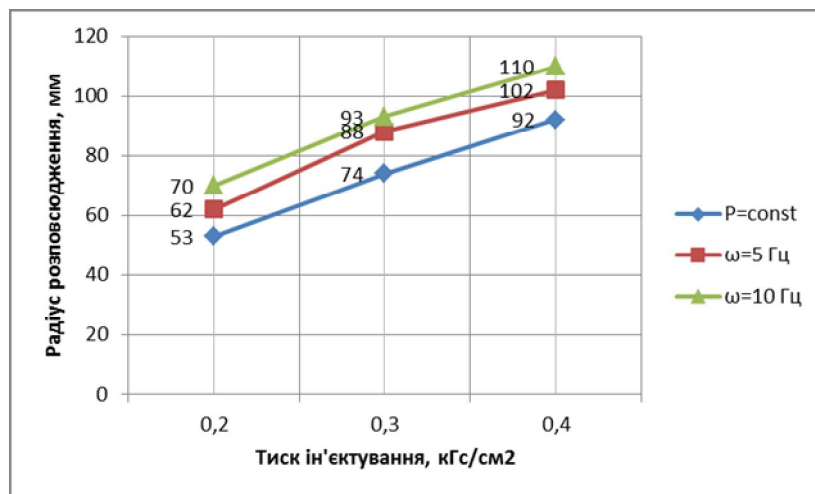


Рис. 5. Графік залежності зміни радіуса розповсюдження розчину від динамічного тиску ін'єктування для супіску

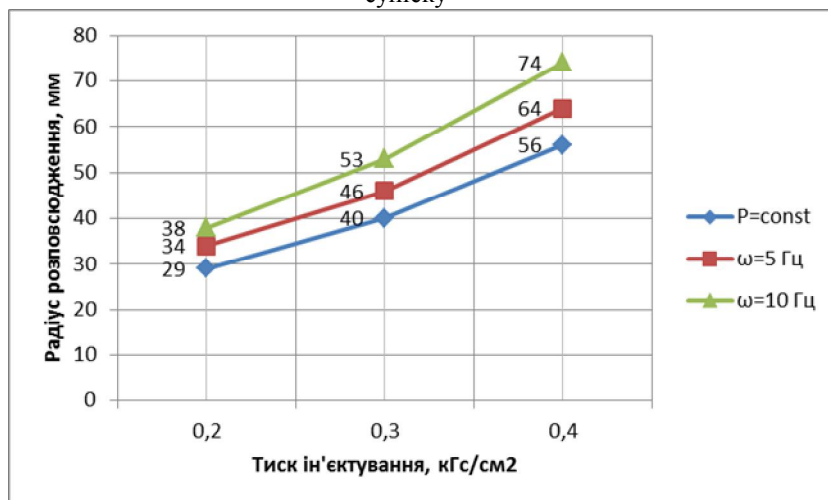


Рис. 6. Графік залежності зміни радіуса розповсюдження розчину від динамічного тиску ін'єктування для суглинку

Висновок

1. Проведено експериментальну перевірку функціонування запропонованого гідроімпульсного обладнання, кількісне і якісне оцінювання параметрів та характеристик нагнітання технологічних розчинів в ґрунтовий масив, які підтвердили ефективність запропонованого обладнання.

2. Зіставлення результатів експериментальних досліджень, яке проводили відповідно до аналізу отриманих тіл заповнення (рис. 2, 3), показало, що імпульсне нагнітання ін'єктувальних розчинів у масив більш ефективне порівняно зі статичним, причому за умови збільшення частоти пульсації розчину збільшується його поширення в товщі ґрунтового масиву. Зрештою, під час практичного застосування це може гарантувати високу міцність ґрунтового масиву й значну несучу здатність основи.

3. Експериментальні дослідження показали, що імпульсне ін'єктування дозволяє в 1,8 – 2,2 рази нагнати більше цементного розчину порівняно зі статичним. При цьому спостерігають збільшення радіуса розповсюдження розчину в середньому на 30 – 40% порівняно з традиційним статичним ін'єктуванням, що суттєво впливає на стійкість і несучу здатність основи, що закріплюється.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.

2. Зоценко М. Л. Використання методу електрохімічного закріплення ґрунту при підсиленні основ і фундаментів у процесі реконструкції будівель і споруд. / М. Л. Зоценко, Ю. В. Алпатов // Будівельні конструкції. – 2007. – Вип. 57. – С. 367 – 374.

3. Головкин С. И. Теория и практика усиления грунтовых оснований методом высоконапорной цементации: Монография. / Головкин С. И. – Днепропетровск: Пороги, 2010. – 247 с.

4. Ланис А. Л. Упрочнение грунтов методом напорных инъекций / А. Л. Ланис, В. И. Пусков, М. Я. Крицкий, В. Ф. Скоркин // Строительные конструкции. – 2004. - №61, т. 2. - С. 53 – 58.

5. Пат. № 79358 У Україна, МПК⁸ Е 02 D 3/12, Е 02 D 5/42. Ін'єкційний спосіб укріплення ґрунтів / Коц І. В., Бадьора Н. П.; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u 2012 09822 ; заявл. 14.08.12 ; опубл. 25.04.13, Бюл. № 8.

6. Патент № 81613 Україна, МПК⁸ Е 02 D 5/46. Ін'єктор для закріплення несучих основ споруд / Коц І. В., Бадьора Н. П.; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201214112 ; заявл. 11.12.12 ; опубл. 10.07.13. Бюл. № 13.

7. Експериментальне дослідження процесу імпульсного нагнітання сумішей в ґрунтовий масив : (Сборник материалов международной научно-практической конференции "Научный потенциал мира") [Електронний ресурс] / Н. П. Бадьора, І. В. Коц // Научный потенциал мира. Строительство и архитектура – 2011. – том 2. – с. 71 – 73.: – Режим доступу : http://www.rusnauka.com/27_NNM_2011/Stroitelstvo/3_93298.doc.htm.

Коц Іван Васильович – к. т. н., професор кафедри теплогазопостачання.

Бадьора Наталя Петрівна – аспірант кафедри теплогазопостачання.
Вінницький національний технічний університет.