

## **ВПЛИВ ДИНАМІЧНОГО ТИСКУ ІН'ЄКТУВАННЯ НА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РОЗЧИНУ В ТОВЩІ ҐРУНТОВОГО МАСИВУ ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ ЗАКРІПЛЕННІ НЕСУЧИХ ОСНОВ ФУНДАМЕНТІВ**

*Розглянуто вплив динамічного тиску ін'єктування на радіус розповсюдження розчину в ґрунтовому масиві. На основі проведених експериментальних досліджень побудовано залежності зміни основних параметрів запропонованого устаткування на формування зони підсиленого ґрунту.*

**Ключові слова:** *підсилення фундаментів, ґрунтові основи, радіус розповсюдження розчину, динамічний тиск ін'єктування, проникність розчину.*

*Н.П. Бадёра, аспирант*

*И.В. Коц, к.т.н., доцент*

*Винницкий национальный технический университет*

## **ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ИНЪЕКТИРОВАНИЯ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАСТВОРОВ В МАССИВЕ ГРУНТА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ УСИЛЕНИИ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ**

*Рассмотрено влияние динамического давления инъектирования на радиус распространения раствора в грунтовом массиве. На основе проведённых экспериментальных исследований получены графические зависимости изменения основных параметров предложенного оборудования на формирование зоны усиления грунта.*

**Ключевые слова:** *усиление фундаментов, основание, радиус распространения раствора, динамическое давление инъектирования, проницаемость раствора.*

*N.P. Badyora, postgraduate student*

*I.V. Kots, Ph.D.*

*Vinnitsa National Technical University*

## **EFFECT OF DYNAMIC PRESSURE INJECTION FOR DISTRIBUTION SOLUTIONS IN SOIL MASS FOR PULSE AMPLIFICATION OF FOUNDATIONS**

*The article, the influence of dynamic pressure injection by the radius of distribution in the soil solution of the soil mass. On the basis of experimental studies, the dependences of the main parameters of the proposed changes on the formation of heavy equipment of the soil mass.*

**Keywords:** *strengthening the foundations, the base, the radius distribution of the solution, the dynamic pressure of the injection, the penetration of the solution.*

### **Вступ.**

Часто виникає необхідність зміцнення ґрунтових основ для ліквідації просадочних властивостей ґрунту, призначення чиреконструкції зведених об'єктів, усунення наслідків відмов та аварій основ у процесі експлуатації будівель і споруд призначених властивостей ґрунту.

Насьогоднішній день існує багато способів підсилення фундаментів та ґрунтових основ: укріплення кладки, підсилення підшви фундаменту, влаштування підспорудюючої фундаментної плити, заглиблення фундаментів, використання пальтощо [1].

Останнім часом широко розповсюдження набув метод підсилення несучих основ споруд ін'єкцією високонапірного скріпного розчину під певним тиском. Цей метод має ряд вагомих переваг: технічна простота, зручність використання та надійність отриманого результату. Тому виникає необхідність подальшого дослідження процесів, які протікають при ін'єктуванні скріпних розчинів у ґрунти, а саме дослідження впливу параметрів ін'єкційного устаткування на розповсюдження розчину при підсиленні основи ґрунтового масиву.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій** показав, що підсилення ґрунтових основ та фундаментів ін'єкційним способом здійснюється переважно при статичному тиску нагнітання, що не завжди забезпечує якісне просочення розповсюдження скріпного розчину в товщі ґрунтового масиву, що, зрештою, не гарантує досягнення необхідної стійкості цього масиву та потребує застосування ще більшого тиску ін'єктування [3,10,11].

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Дослідженнями розповсюдження скріпних розчинів у товщі ґрунтового масиву при підсиленні фундаментів та несучих основ споруд займалися такі вчені й науковці, як: Мааг, Адамович, Камбефор, Каранфілов, Марголін, Хейфелі та інші. Кожний із зазначених авторів отримав аналітичні та графічні залежності з визначення радіуса розповсюдження розчинів в ґрунтовому масиві [2 – 7], але одержані залежності базуються в основному на емпіричних підходах та мають ряд вагомих недоліків, а саме: не враховують сили тертя, що виникають між стінками ґрунтового масиву та розчином; не враховують криволінійність і характер розташування пор і тріщин у ґрунті; базуються на використанні статичного тиску нагнітання. Тому виникає необхідність у подальшому дослідженні динамічних процесів розповсюдження розчинів у товщі ґрунтової основи.

**Постановка завдань дослідження.** Завдання полягає в установленні впливу динамічного тиску імпульсного ін'єктування на процес підсилення несучих основ споруд; дослідженні експериментальним шляхом показників впливу частоти повторюваності імпульсів подачі розчину на радіус його розповсюдження.

**Основний матеріал і результат.** Для досягнення поставленої мети був спроектований та змонтований експериментальний стенд, зображений на рис. 1.



*Рис. 1. Загальний вигляд експериментального стенда*

До складу експериментального стенда входить металевий короб 5, заповнений пористим ґрунтовим матеріалом, який попередньо ущільнюється. Зверху короб 5 закривається сталевією кришкою, на якій з нижньої сторони встановлений ін'єктор, занурений у товщу насипного пористого ґрунтового матеріалу і внутрішня порожнина якого зовнішнім трубопроводом 4 сполучена з напірною порожниною розподільного колектора 3. Напірна порожнина розподільного колектора 3 розділена проміжною герметичною мембраною. До напірної порожнини з однієї сторони подається під визначеним статичним тиском скріпний розчин – цементна суміш, а з іншої – робоча рідина під періодично змінюваним тиском, максимальну величину, амплітуду та частоту повторюваності створюють за допомогою зовнішнього силового гідропривода, керованого спеціальним генератором імпульсів тиску – імпульсним клапаном 6. Періодична зміна силового навантаження на проміжну герметичну мембрану зумовлює її коливання і призводить до аналогічної періодичної зміни тиску й у середовищі цементного розчину, який через зворотний клапан витісняється до ін'єктора, зануреного у товщу насипного пористого ґрунтового матеріалу. На виході з напірної порожнини розподільного колектора 3 встановлено давач тиску для реєстрації динаміки періодичної зміни тиску в цементній суміші, яка витісняється до внутрішньої

порожнини ін'єктора. Крім того, напірна порожнина розподільного колектора 3 з іншої сторони через зворотний клапан трубопроводом 2 сполучена з герметичним резервуаром 1, котрий попередньо заповнюється готовою цементною сумішшю. Для створення статичного тиску при напірній подачі цементної суміші до трубопроводу 2 до верхньої кришки резервуара 1 приєднаний трубопровід від зовнішнього компресора. Під дією тиску стисненого повітря, яке нагнітається від цього компресора, відбувається безперервне витіснення цементної суміші під певним визначеним статичним тиском до трубопроводу 2 і далі через зворотний клапан до напірної порожнини розподільного колектора 3, а також до ін'єктора.

Для вимірювання параметрів досліджуваного процесу імпульсного підсилення ґрунтового масиву застосовувалася така вимірювальна та реєструвальна апаратура і прилади: АЦП фірми «L-CARD» типу E-14-140; частотний перетворювач «Altivar 28» Telemecanique типу ATV28HU29N4 (1,5 кВт/2HP, 380/500 В); блок живлення фірми «Sanken Electronic» типу SKS-150-24; давач тиску фірми «Метронік» типу «Карат» – ДИ; манометр 22 типу ОБМ-160, верхня межа – 1,6 МПа, діаметр шкали – 160 мм, клас точності – 1,6.

Ін'єктування суміші здійснюється з використанням динамічного тиску ін'єктування, що створюється устаткуванням [8, 9], і являє собою суму статичного й динамічного тиску ін'єктування та визначається згідно з формулами (1) – (3)

$$P = P_{ст} + P_{дин.}, \quad (1)$$

де  $P_{ст}$  і  $P_{дин.}$  – статична та динамічна складові тиску нагнітання, відповідно;

$$P_{ст.} = (P_{max} + P_{min}) / 2, \quad (2)$$

де  $P_{max}$  і  $P_{min}$  – значення максимального та мінімального тиску нагнітання розчину при імпульсному підсиленні основ;

$$P_{дин.} = 0,5 P_{ст} \cos(\omega t), \quad (3)$$

де  $\omega$  – частота повторення гідравлічних імпульсів тиску;  $t$  – час нагнітання.

При проведенні експериментальних досліджень використовувалися три типи ґрунтів: пісок, супісок та суглинок. Варіювання тиску ін'єктувальної цементної суміші відбувалося в межах від 0,1 до 0,4 МПа, частота повторення гідравлічних імпульсів тиску коливалась у межах від 5 до 20 Гц, а об'єм скріпного розчину, що витісняється у ґрунтовий масив за один імпульс, змінювався від 10 до 30 дм<sup>3</sup> (рис. 2).

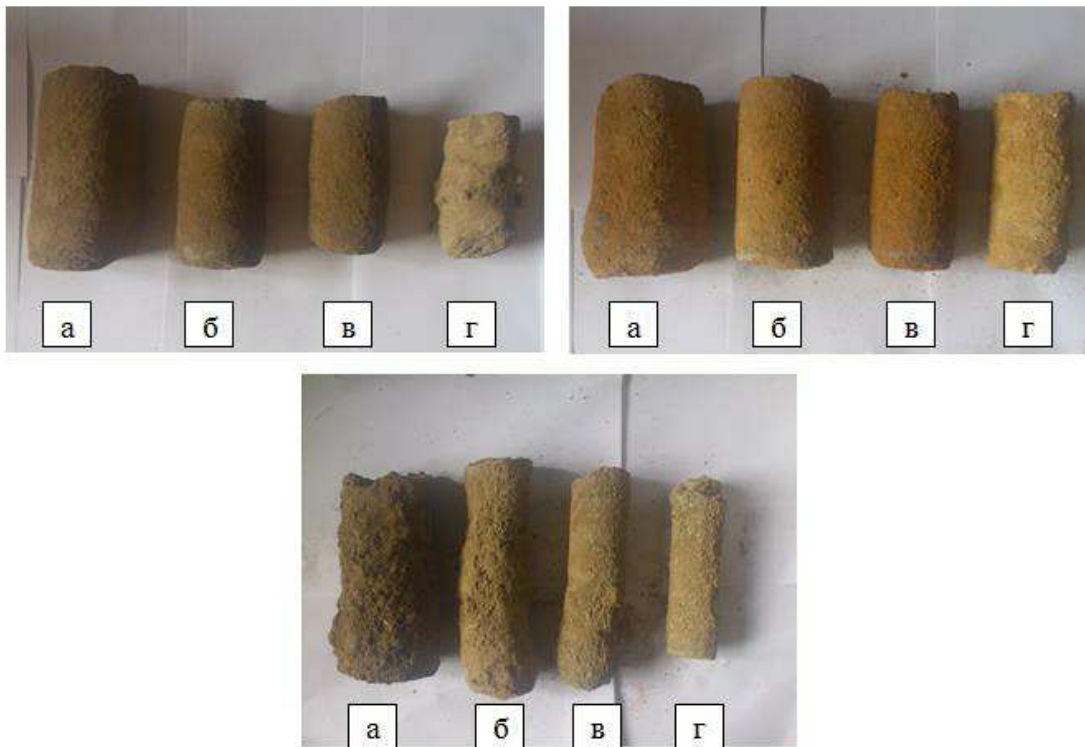


Рис. 2. Типові експериментальні зразки, отримані при імпульсному нагнітанні скріпного розчину із частотою пульсації тиску: а) 15 Гц; б) 10 Гц; в) 5 Гц; г) при статичному нагнітанні (без пульсації)

Типові експериментальні зразки, одержані в результаті проведення експериментальних досліджень для піску, супіску та суглинок, наведено на рис. 3 – 5.

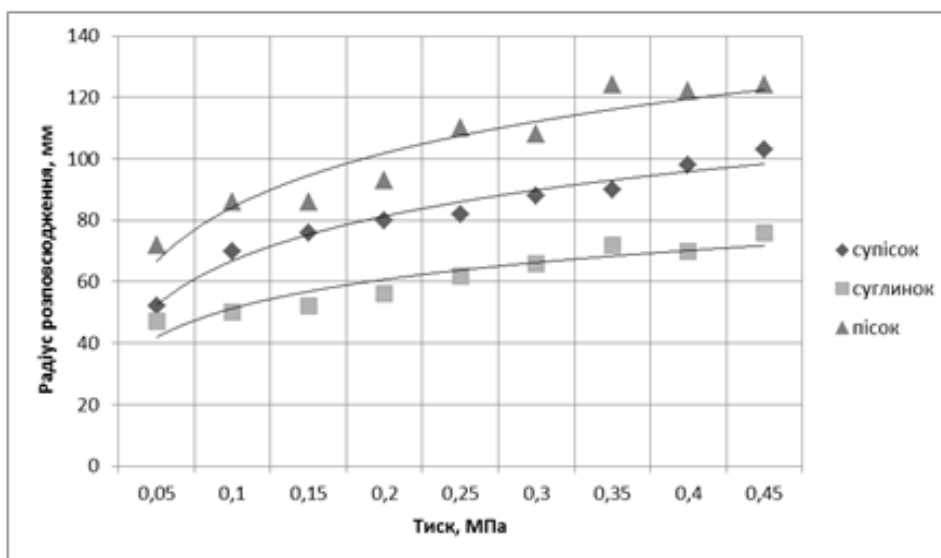


Рис. 3. Графічні залежності зміни радіуса розповсюдження скріпного розчину від тиску його нагнітання

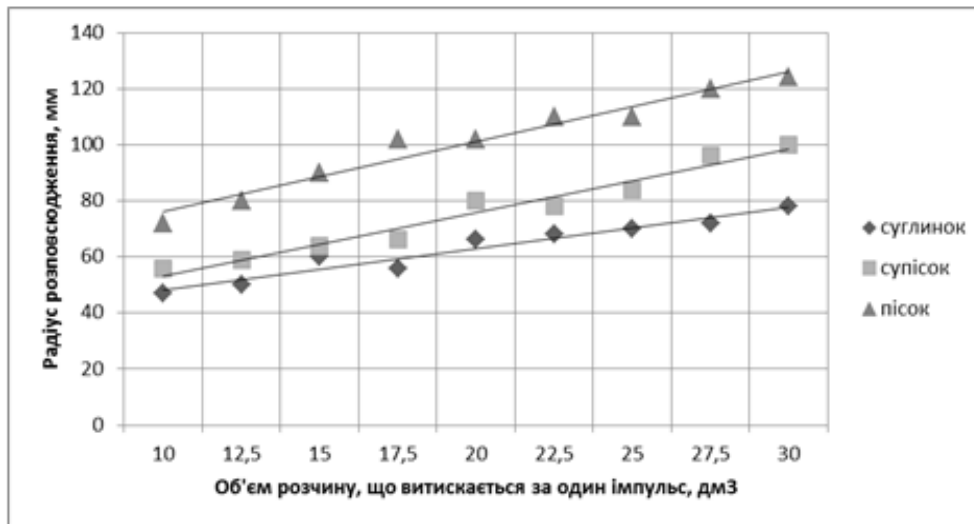


Рис. 4. Графічні залежності зміни радіуса розповсюдження скріпного розчину від його об'єму, що витискається за один імпульс

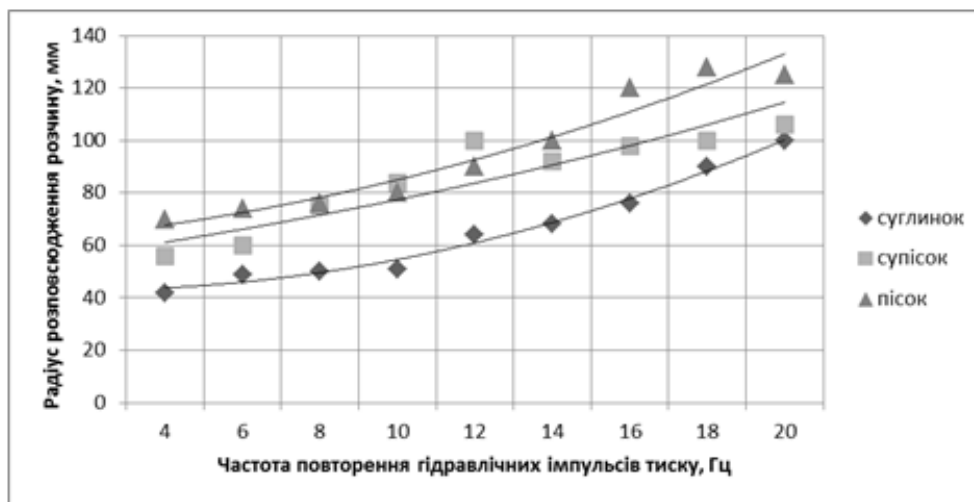


Рис. 5. Графічні залежності зміни радіуса розповсюдження скріпного розчину від частоти повторення гідравлічних імпульсів тиску

У результаті експериментальних досліджень, що проводилися за відомими методиками математичного планування експериментів, було побудовано графічні залежності зміни основних параметрів процесу ін'єктування від проникності (радіуса розповсюдження) скріпного розчину в товщі ґрунтового масиву, що зображені на рис. 3 – 5, а також отримано рівняння регресії. Після математичного оброблення цих аналітичних залежностей було встановлено, що максимальний радіус розповсюдження скріпного розчину повинен спостерігатися при тисковій нагнітання 0,4 МПа і частоті повторюваності імпульсів 18 Гц, що й було практично підтверджено.

**Висновки.** Експериментально перевірено гіпотезу збільшення радіуса розповсюдження скріпного розчину при використанні динамічного тиску ін'єктування. Установлено, що при збільшенні частоти пульсації розчину

збільшується радіус розповсюдження суміші в товщі ґрунтового масиву. Побудовано графічні залежності зміни основних параметрів ін'єктуючого устаткування на радіус розповсюдження розчинів у товщі ґрунтового масиву при їхньому посиленні, а також було встановлено найбільш раціональні параметри, які збігаються з результатами, отриманими на підставі проведення досліджень. Інтенсифікація проникності скріпного розчину в ґрунтовий масив досягається в результаті суттєвого зменшення сил гідравлічного тертя, а також зменшення в'язкості розчину, що відбувається під впливом періодично повторюваних гідравлічних імпульсів тиску, які додатково накладаються на статичний тиск нагнітання.

#### Література

1. *Методы усиления оснований и фундаментов [электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.drillings.su/metodi.html>.*
2. Гончарова, Л.В. *Основы искусственного улучшения грунтов / Л.В. Гончарова. – М.: Изд-во Московского университета, 1973. – 376 с.*
3. Бабаскин, Ю.Г. *Укрепление грунтов инъектированием при ремонте автомобильных дорог / Ю.Г. Бабаскин; под. ред. И.И. Леоновича. – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – 177 с.*
4. Камбефор, А. *Инъекция грунтов. Принципы и методы / А. Камбефор; [пер. с фр. Р.В.Казаковой, В.Б.Хейфица]. – М.: Энергия, 1971. – 333 с.*
5. Каранфилов, Т.С. *Определения величины радиуса закрепления грунтов при постоянном коэффициенте фильтрации // Гидротехническое строительство. –1951. – М. – №1. – С.39–42.*
6. Марголин, В.М. *Исследование распространения растворов вокруг одиночных инъекторов при химическом закреплении грунтов: дис. на соискание ученой степени к.т.н. / В.М. Марголин. – М., 1969. – 182 с.*
7. Юшкин, В.Ф. *Разработка экспериментально-теоретических основ и технических средств для создания систем вибродеформационного мониторинга геомеханического состояния породных массивов блочно-иерархического строения: дис. на соискание ученой степени д.т.н. / В.Ф. Юшкин. – Новосибирск, 2009. – 386 с.*
8. Патент на корисну модель № 48147U Україна, МПК<sub>8</sub> E02D 3/00, E21B 43/16, E21D 20/00. *Пристрій для імпульсного нагнітання сумішей в ґрунт основ фундаментів / Коц І.В., Петрусь В.В., Бадьора Н.П., Дрончак В.О.; заявник і власник патента Вінницький національний технічний університет. – № и200909024; заявл. 31.08.2009; опубл. 10.03.2010, Бюл. № 5.*
9. Патент на корисну модель № 81613 U Україна, МПК<sub>8</sub> E02D 5/46. *Ін'єктор для закріплення несучих основ споруд / І.В. Коц, Н.П. Бадьора; заявник і власник патента Вінницький національний технічний університет. – № и201214112; заявл. 11.12.2012; опубл. 10.07.2013, Бюл. № 13.*
10. 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.*
11. *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.*

Надійшла до редакції 25.09.2013

©Н.П. Бадьора, І.В. Коц