

## МЕХАНІКА ҐРУНТІВ ТА ФУНДАМЕНТИ

УДК 624.138.24

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ІМПУЛЬСНОГО ПІДСИЛЕННЯ НЕСУЧИХ ОСНОВ СПОРУД ПРИ ІН'ЄКЦІЙНОМУ ЗАКРІПЛЕННІ ҐРУНТОВИХ МАСИВІВ

І. В. Коц, Н. П. Бадьора

INVESTIGATION OF TRANSIENT GAIN BEARING BASICS OF BUILDINGS  
INJECTING FIXING GROUND MASSIF

I. Kots, N. Badyora

Запропоновано новий спосіб підсилення фундаментів та несучих основ споруд, який полягає у використанні періодичного (імпульсного) тиску нагнітання і дає можливість більш ефективніше заповнювати пори та тріщини основи. Досліджено зміни розподілу тиску в різний момент часу нагнітання технологічного розчину в області фільтрації.

Для запропонованого способу наведені та обґрунтовані математичні рівняння, які дозволяють моделювати процеси переміщення струменя технологічного розчину у свердловину чи частину фундаменту, який підсилюється в залежності від тиску та часу нагнітання, а також прогнозувати зміну глибини проникнення технологічного розчину в залежності від частоти повторення гідравлічних силових імпульсів тиску нагнітання і тривалості ін'єктування порції розчину в основу фундаменту, що підсилюється.

Предложен новый способ усиления фундаментов и несущих оснований сооружений, который заключается в использовании периодического (импульсного) давления нагнетания и дает возможность более эффективно заполнять поры и трещины основы. Исследованы изменения распределения давления в разное момент времени нагнетания технологического раствора в области фильтрации.

Для предлагаемого способа приведены и обоснованы математические уравнения, которые позволяют моделировать процессы перемещения струи технологического раствора в скважину или часть фундамента, который усиливается в зависимости от давления и времени нагнетания, а также прогнозировать изменение глубины проникновения технологического раствора в зависимости от частоты повторения гидравлических силовых импульсов давления нагнетания и продолжительности инъецирования порции раствора в основание фундамента, что усиливается.

A new way to strengthen the foundations and supporting the foundations of buildings, which is to use periodic (pulsed) discharge pressure and allows for more efficient filling pores and cracks basis. The changes of pressure distribution at different time forcing technological solution in the field of filtration. In the proposed method are presented and justified mathematical equations, which can simulate the displacement process stream processing solution to a well or part of the foundation, which increases depending on the pressure and injection time and predict changes in the depth of penetration of the technological solution, depending on the repetition rate of the hydraulic power pressure pulses injection duration and injection portion of the solution based on the foundation that increases.

**Актуальність проблеми**

Довговічність житлових будинків та їхня відповідність призначенню багато в чому визначаються станом основ та фундаментів. Фундамент є найбільш складною конструкцією в моделюванні і передбаченні його функціонування в процесі зведення та особливо експлуатації будинків і споруд. Порушення нормальної роботи основ і фундаментів зустрічаються досить часто, і хоча, в переважній більшості, не відбувається повного руйнування будинків і споруд, але спостерігаються різного роду деформації, перекося, тріщини, які без усунення причин їхньої появи і невиконання в строк ремонтних робіт можуть призвести до руйнувань будівель. Для вирішення цієї проблеми використовується ін'єкційний метод цементції основ під тиском, який

має значні переваги над існуючими методами: простота, надійність отриманого результату, зручність використання, економичність.

Аналіз останніх досліджень та публікацій [1-4] показав, що процес підсилення несучих основ ін'єкцію ще не набув широкого розповсюдження в Україні і, відповідно, процеси, які пов'язані з ін'єкційним нагнітанням та закріпленням основ фундаментів будівель та споруд, досліджувались не значною мірою, або досліджувались лише окремі аспекти цих процесів. Тому виникає необхідність та доцільність в подальшому дослідженні ін'єкційного методу підсилення фундаментів споруд та процесів нагнітання технологічних розчинів у основи фундаментів при їхньому підсиленні.

### Постановка задачі дослідження

Задачею роботи є розробка нового методу ін'єкційного підсилення несучих основ споруд, який поєднує в собі використання постійного та динамічного тиску нагнітання розчину. Дослідження зміни розподілу тиску в різний момент часу нагнітання технологічного розчину в області фільтрації.

### Виклад основного матеріалу

Для підсилення фундаментів та несучих основ споруд ми використовуємо обладнання, яке створює періодичні імпульси тиску [5, 6] і розглядаємо пористі ґрунтові масиви та основи під фундаменти будівель, які розташовані нижче і знаходяться під тиском вище лежачих шарів та навантаження споруд. Тому відповідно результуючий тиск, що нагнітається в свердловину, буде поданий у вигляді суми постійного (статичного) та динамічного тиску.

$$P = P_{ст} + P_{дин.}, \quad (1)$$

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

Статичний тиск нагнітання скріпного технологічного розчину являє собою півсуму максимального і мінімального тиску розчину і визначається за такою формулою:

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

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

Відповідно динамічна складова тиску визначається згідно з формулою:

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

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

Якщо задатись, наприклад, значенням максимального тиску нагнітання  $P_{max} = 2,5$  МПа і мінімального тиску нагнітання  $P_{min} = 0,5$  МПа, то графік залежності тиску нагнітання розчину від часу поданий на рис. 1.

Для подальшого дослідження процесів розповсюдження імпульсного струменя технологічного рідини в товщі ґрунтового масиву були прийняті такі припущення:

- середовище в яке нагнітається розчин, є неоднорідним та пористим;
- ступінь вологості приймався для вологих ґрунтів від 0,5-0,8;
- пластичність ґрунту змінювалась в залежності від вибраного виду ґрунту, який необхідно підсилувати;
- технологічний розчин, який рухається по каналах ґрунтового масиву, приймався як лінійно-в'язка стислива рідина, що рухається стаціонарно;
- температура робочої рідини запропонованого устаткування приймалася постійною;
- тиск на злив та продуктивність насоса були незмінними, тобто незалежали від тиску в гідросистемі;
- робочий тиск в технологічному резервуарі приймався постійним.

З врахуванням прийнятих припущень для подальшого дослідження процесів підсилення фундаментів були визначені такі початкові умови.

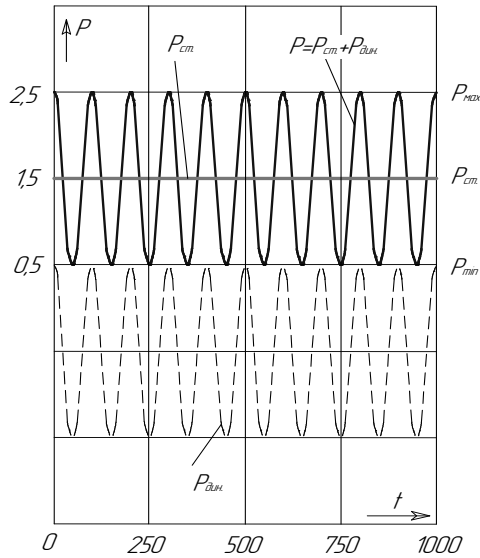


Рис. 1. Графік залежності тиску нагнітання розчину в свердловину від часу ін'єктування  
 1. У початковий момент часу ( $t=0$ ) задається розподіл тиску в області фільтрації:

$$P(x_i, t)|_{t=0} = P_0. \quad (3)$$

2. На пробурену свердловину в існуючому фундаменті, який необхідно підсилювати, задається необхідних режим тиску нагнітання.

$$P(x_i, t)|_{x_i = x_i^c} = P_c(t), \quad (4)$$

де  $P_c(t)$  – значення тиску, при якому розчин нагнітається в свердловину;  
 $x_i^c$  – координати свердловини.

3. Тиск на межі області фільтрації (умови непроникності) на контакті з бічними поверхнями свердловини:

$$P(x_i, t)|_{\Gamma} = P_{\Gamma}, \quad (5)$$

де  $\Gamma$  – межа області фільтрації;  
 $P_{\Gamma}$  – тиск на межі області фільтрації.

Вихідна система рівнянь, що характеризує розповсюдження та рух технологічного розчину при підсиленні несучих основ споруд, з врахуванням прийнятих припущень може бути записана у вигляді рівнянь (6)-(8):

$$\rho_1 \frac{\partial w_i}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\mu}{a_0} \cdot n_{30} \cdot (1 - n_{30}) \cdot w_i + \rho_2 \cdot g_i, \quad (6)$$

де  $a_0$  – коефіцієнт пропорційності протидії середовища;  
 $w_i$  – середня швидкість струменя технологічного розчину;  
 $P$  – загальний тиск нагнітання;  
 $n_{30}$  – початкова пористість середовища [7];  
 $t$  – час нагнітання розчину;  
 $g_i$  – компоненти сили тяжіння;  
 $\mu$  – динамічна в'язкість рідини;  
 $\rho$  – густина рідкої фази;  
 $x_i$  – вісь координат.

$$\frac{\partial n_{30}}{\partial t} + \beta_2 \cdot n_{30} \frac{\partial P}{\partial t} - \alpha \cdot n_{30} \frac{\partial T}{\partial t} + n_{30} \frac{\partial w_i}{\partial x_i} = 0, \quad (7)$$

$\alpha$  – коефіцієнт об'ємного розширення;  
 $\beta$  – ізотермічна стисливість.

$$n_{\text{з0}} C_1 \frac{\partial T}{\partial t} = n_{\text{з0}} \cdot D \cdot \Delta \cdot T + n_{\text{з0}} \cdot \alpha \cdot T_0 \frac{\partial P}{\partial t}, \quad (8)$$

де  $C_1$  – питома теплоємність;  
 $D$  – коефіцієнт теплопровідності.

Розв'язання даної системи рівнянь за допомогою сучасних програмних пакетів MathLAB дозволяє моделювати процеси розповсюдження імпульсного струменя технологічного розчину в товщі підсиленого фундаменту чи ґрунтового масиву. А також прогнозувати зміну глибини проникнення технологічного розчину в залежності від частоти повторення гідравлічних силових імпульсів тиску нагнітання і тривалості ін'єктування порції розчину в основу фундаменту, що підсилюється.

### Висновки

- В статті запропоновано новий спосіб підсилення фундаментів та несучих основ споруд, який полягає у використанні періодичного (імпульсного) тиску нагнітання і дає можливість більш ефективно заповнювати пори та тріщини основи. Для запропонованого способу наведені та обґрунтовані математичні рівняння, які дозволяють моделювати процеси переміщення струменя технологічного розчину у свердловину чи частину фундаменту, який підсилюється в залежності від тиску та часу нагнітання.

### Використана література

1. Ланис А. Л. Использование метода напорной инъекции при усилении земляного полотна железных дорог : автореф. дис. на соискание ученой степени к.т.н.: спец. 05.22.06 «Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог» / Ланис Алексей Леонидович. – Москва, 2009. – 24 с.
2. Ржаницын Б. А. Химическое закрепление грунтов в строительстве / Ржаницын Б. А. – М.: Стройиздат, 1986. – 264 с.
3. Назаревич Б. Л. Технологія влаштування горизонтальної гідроізоляції в будівлях старої забудови : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к.т.н.: спец. 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» / Назаревич Богдан Леонідович – Вінниця, 2008. – 24 с.
4. Головки С. І. Теоретичні засади закріплення основ будівель та споруд ін'єкцією розчинів під високим тиском : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня. д.т.н.: спец. 05.23.02 «Основи і фундаменти» / Головки Сергій Іванович. – Дніпропетровськ, 2011. – 34 с.
5. Патент на корисну модель № 54122U Україна, МПК8 E02D 3/00, E21B 43/16, E21D 20/00. Установа імпульсної дії для нагнітання сумішей в ґрунтовий масив / Коц І. В., Бадьора Н. П.; заявник і власник патента Вінницький національний технічний університет. – № u201005469; заявл. 05.05.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20.
6. Патент на корисну модель № 63266U Україна, МПК8 E02D 3/00, E21B 43/16, E21D 20/00. Установа 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.
7. Основные механические свойства грунтов. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://sckompleks.ru/stroy\\_96.html](http://sckompleks.ru/stroy_96.html).

**Коц Іван Васильович** – к.т.н., доцент кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.

**Бадьора Наталія Петрівна** – аспірант кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.