

УДК 622.32

ГІДРОДИНАМІКА РУХУ В'ЯЗКО-ПЛАСТИЧНИХ РОЗЧИНІВ В ПОРИСТОМУ СЕРЕДОВИЩІ ПРИ ГІДРОІМПУЛЬСНОМУ ПІДСИЛЕННІ НЕСУЧИХ ОСНОВ СПОРУД

І. В. Коц, Н. П. Бадьора, О. П. Колісник, О. І. Павлюк

В статті розглянуті особливості руху в'язко-пластичних розчинів в пористій структурі ґрунтового масиву. Наведені рівняння, які дозволяють описати рух рідини в каналах ґрунту під дією заданих значень періодично змінного тиску рідини, яка нагнітається із застосуванням спеціального устаткування.

В статье рассмотрены особенности движения вязко-пластичных растворов в пористой структуре ґрунтового массива. Представлены уравнения, которые описывают движение жидкости в ґрунтовых каналах под влиянием периодически изменяемого давления жидкости, которая нагнетается с использованием специального оборудования.

The article deals with the peculiarities of motion of viscous and plastic fluids in porous structure of the soil mass. These equations are to describe the movement of fluid in the channels of the soil under the given values of pressure fluid which injected using special equipment.

Постановка проблеми

При тривалій експлуатації об'єктів, доріг, споруд, будинків, а також внаслідок дії ряду інших причин, можуть відбуватися зміни фізико-механічних властивостей ґрунтових основ, утворюватись ослаблені, водопроникні, розуцільнені зони, які в подальшому сприяють розвитку аварійних ситуацій або призводять до руйнування будівлі в цілому. Для стабілізації основи і запобігання аварійній ситуації необхідно перевести ослаблену, розуцільнену зону до її первісних властивостей. Одним із найбільш ефективних способів підсилення основ споруд є гідроімпульсне нагнітання технологічних розчинів в ґрунтові масиви з використанням спеціального устаткування. При використанні даного способу досить важливим є забезпечення якісного проникнення матеріалу в пористу структуру, тому що саме від цього залежить ефективне зчеплення ґрунту з технологічним скріпним розчином та подальша довговічність споруджуваного фундаменту. Ці обставини зумовлюють необхідність та актуальність подальшого дослідження руху в'язко-пластичних скріпних рідин в пористих структурах ґрунтового масиву.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомі дослідження, в яких досліджувався рух скріпної речовини під дією лише статичного тиску нагнітання не дали бажаних результатів, оскільки при цьому технологічний розчин не проникав у пори малого діаметра [1], що значно зменшувало ефективність насичення ґрунтового масиву. Окрім того, існуючі моделі руху в'язко-пластичних рідин в пористих середовищах не завжди описують всі процеси проникнення і розповсюдження розчинів в порових структурах ґрунту [2, 3].

Мета та задачі дослідження

Метою роботи є дослідження процесів розповсюдження в'язко-пластичних рідин в ґрунтовому масиві, а також аналітичне обґрунтування закономірностей проникнення імпульсного струменя скріпної речовини в ґрунтовий масив чи іншу пористу структуру при нагнітанні технологічних розчинів, яке здійснюється з використанням спеціального гідроприводного устаткування, керування яким здійснюється за тиском нагнітання блоком автоматичного управління.

Виклад основного матеріалу

Рух в'язко-пластичного скріпного розчину в порах розділяють на три характерних зони фільтрації: початок руху розчину найбільшими порами; подальше збільшення градієнту тиску, яке забезпечує надходження розчину в пори середнього діаметра; третя зона характеризується

фільтрацією розчину, що охоплює всі пори. Окрім того, відомо, що скріпний розчин завдяки перепаду тиску рухається від найбільш проникної ділянки до найменш проникної [4].

Імпульсне нагнітання в'язко-пластичного розчину в ґрунтовий масив здійснюється із застосуванням спеціального гідроприводного устаткування, структурна схема якого подана на рис. 1. Запропоноване устаткування включає привод періодичної дії, який забезпечує здійснення періодичної імпульсної подачі технологічного розчину [5, 6].

Рух рідини в пористому середовищі змінюється згідно із законом Дарсі [7]:

$$\bar{V} = -\frac{\bar{k}}{\mu} \Delta \bar{P} + \bar{G}; \quad (1)$$

де V – швидкість руху рідини в пористому середовищі;
 k – коефіцієнт проникності;
 G – масові сили;
 μ – динамічна в'язкість.

Якщо спроектувати вектор швидкості, згідно з рівнянням (1), на осі Ox , Oy , Oz і знехтувати масовими силами, отримаємо:

$$V_x = -\frac{\bar{k}_x \partial P}{\mu \cdot dx}; \quad V_y = -\frac{\bar{k}_y \partial P}{\mu \cdot dy}; \quad V_z = -\frac{\bar{k}_z \partial P}{\mu \cdot dz}. \quad (2)$$

Тоді диференціальне рівняння фільтрації запишеться у вигляді:

$$-\Pi \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k_x \partial P}{\mu \partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{k_y \partial P}{\mu \partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{k_z \partial P}{\mu \partial z} \right) = 0, \quad (3)$$

де Π – пористість середовища;
 ρ – густина середовища;
 k_x, k_y, k_z – коефіцієнти пористості за координатами Ox, Oy, Oz , відповідно.

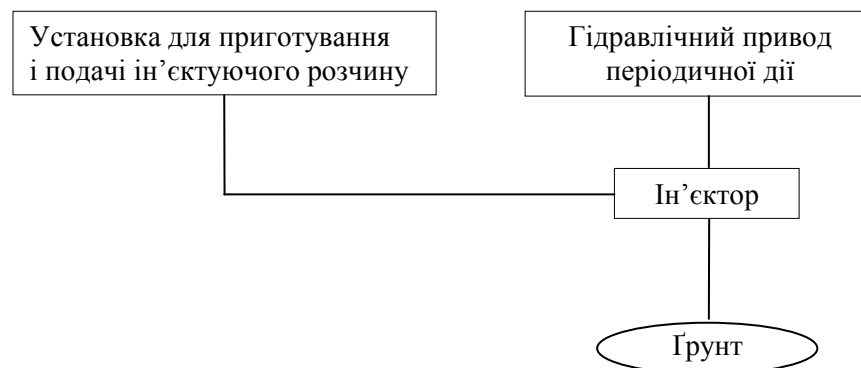


Рис. 1. Схема обладнання для закріплення несучих основ споруд

Коефіцієнти пористості k_x, k_y, k_z можна визначити експериментально або на підставі формули Саллівана [8]:

$$k = \frac{SP \theta}{S^2 (1 - \Pi)^2}; \quad (4)$$

де C – стала;
 S – питома поверхня, що визначає відношення сумарної площі каналів до об'єму пористого середовища;
 θ – коефіцієнт, який враховує розташування каналів;
 Π – пористість середовища в напрямку відповідної осі, яка визначається за формулою [3]:

$$\Pi = \frac{V_n}{V_m - V_n}; \quad (5)$$

де V_n – об'єм порового простору;
 V_m – геометричний об'єм ґрунту при щільному заляганні без врахування пор.
 Залежність зміни пористості від робочого тиску скріпного розчину, який подається у ґрунтовий масив визначається згідно з графіком, що поданий на рис. 2 [8].

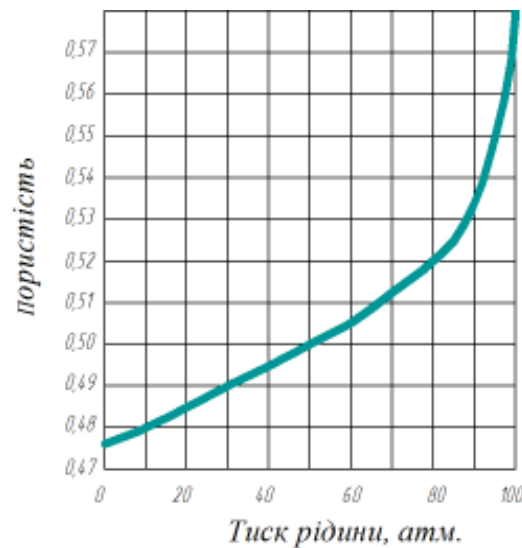


Рис. 2. Графік залежності зміни пористості ґрунтового масиву від тиску технологічного розчину, який подається в основу ґрунтового масиву

Використання запропонованого устаткування [5, 6] сприяє зменшенню величини в'язкості технологічного розчину, яка входить в рівняння (3), за рахунок використання періодичних гідравлічних імпульсів тиску нагнітання. В даному випадку до складу рівнянь (1)-(3) входить, так звана, динамічна вібраційна в'язкість. Динамічна вібраційна в'язкість – це така в'язкість скріпного розчину, в якій надмолекулярні зв'язки зруйновані вібраційною дією [9].

Значення динамічної вібраційної в'язкості визначається за формулою [10]:

$$\mu = \mu_m + \frac{K_1}{\omega^3}, \quad (6)$$

де $K_1 = 802 \cdot 10^7$, стала, що встановлена експериментально;
 ω – частота повторення гідравлічних імпульсів тиску нагнітання;
 μ_m – найменша в'язкість скріпного розчину.

За результатами врахування частоти повторення гідравлічних імпульсів тиску нагнітання скріпного розчину і на підставі отриманих значень динамічної вібраційної в'язкості згідно з рівнянням (4), було отримано графічну залежність, що зображена на рис. 3.

Рух скріпного розчину в ґрунтовому масиві являє собою рух нелінійно пружно-в'язкої стисливої рідини в каналі малого перерізу, що рухається перерізом змінної величини. Враховуючи складність будови порового простору, зміна капілярного тиску нагнітання залежатиме від виду і способу насичення.

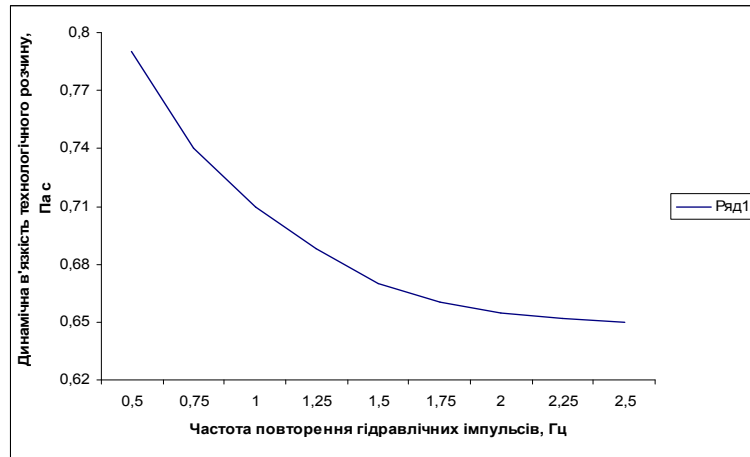


Рис. 3. Графік зміни динамічної в'язкості скріпного розчину в залежності від частоти повторення гідравлічних імпульсів

Зв'язок між розташуванням пор та насиченістю останніх розчином можна визначити згідно з рівнянням Леверетта [8]:

$$I = \frac{p_c}{\gamma} \left(\frac{k}{P} \right)^{1/2} = I(S), \quad (7)$$

де $I(S)$ – функція Леверетта від насиченості S ;

p_c – капілярний тиск;

γ – площа поверхні натягу;

k – проникність порового середовища;

P – відносна пористість середовища.

Змінюючи насиченість у кожному перерізі, можна отримати криву зміни функції Леверетта від насиченості порового простору скріпним розчином, що подана на рис. 4.

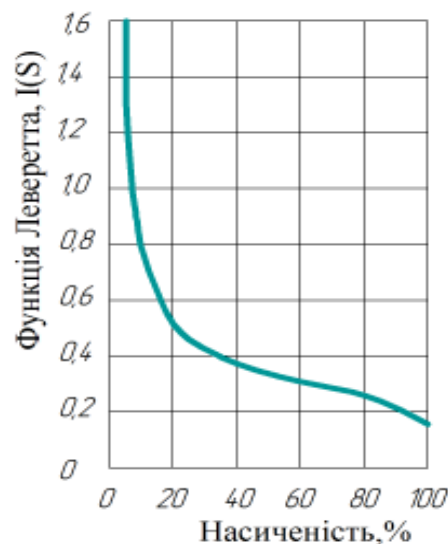


Рис. 4. Зміна функції Леверетта від насиченості порового простору в'язко-пластичним розчином

Запропонований графік дозволяє визначити характеристики розташування та особливості заповнення пор ґрунтового масиву в залежності від якості насиченості, причому, при зростанні насиченості від 0 до 100 % проникненість середовища змінюється від 0 до 1. Проведені експериментальні дослідження підтвердили збільшення проникності порового середовища і

підвищення якості насичення скріпним розчином досить дрібних і розгалужених пор у порівнянні із традиційним способом ін'єкційного насичення подібних структур із використанням сталого тиску нагнітання. Такий результат було досягнуто завдяки суттєвій зміні фактичної динамічної вібраційної в'язкості.

Висновок

Розглянуто особливості руху в'язко-пластичних розчинів в пористій структурі ґрунтового масиву. Наведено рівняння, що описують рух розчину в каналах ґрунту під дією заданих значень періодично-змінного тиску розчину, який нагнітається із застосуванням спеціального устаткування. Подано графіки, які відображають залежності зміни пористості і насичення середовища ґрунтового масиву від тиску нагнітання скріпного розчину, а також побудовано графік зміни динамічної вібраційної в'язкості від частоти повторення гідравлічних імпульсів скріпного розчину.

Використана література

1. Дуда Е. Г. Исследование процесса движения цементационных растворов при цементации трещиноватых и трещиновато-пористых горных пород : автореф. дис. на соискание ученой степени к.т.н.: спец. 05.15.04 «Шахтное и подземное строительство» / Е. Г. Дуда. – Москва, 1976. – С. 27.
2. Русаков В. С. Численное моделирование однофазного течения в пористой среде с учетом взаимовлияния микротрещины-поры / В. С. Русаков, С. В. Русаков, А. А. Щипанов // Весник Пермского университета: Математика. Механика. Информатика – 2009. – Вып. 3(19). – С. 96-101.
3. Дерябина М. С. Модель фильтрации вязкой жидкости через периодическую решетку частиц с заданным градиентом давления / М. С. Дерябина // Весник Юрского государственного университета. – 2009. Вып. 2 (13). – С. 37–44.
4. Телков А. П. Гидромеханика пласта применительно к прикладным задачам разработки нефтяных и газовых месторождений / А. П. Телков, С. И. Грачёв // учебное пособие. В 2 ч. Ч.1. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2009. – 240 с.
5. Патент на корисну модель № 48147U Україна, МПК₈ 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. – № u200909024; заявл. 31.08.2009; опубл. 10.03.2010. Бюл. № 5.
6. Патент на корисну модель № 63266U Україна, МПК₈ E02D 3/00, E21B 43/16, E21D 20/00. Установка для нагнітання будівельних розчинів в ґрунтовий масив / Коц І. В., Бадьора Н. П.; заявник та власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u201100502; заявл. 17.01.2011; опубл. 10.10.2011. Бюл. № 19.
7. Шелканов А. С. Гидродинамическое давление при качении шероховатых тел в режиме смешанного трения / А. С. Шелканов // Весник КрасГАУ. – 2007. – № 4. – С. 143-146.
8. Шейдеггер А. Э. Физика течения жидкостей через пористые среды / А. Э. Шейдеггер. – М.: НТИ нефтяной и топливной аппаратуры. – 1960. – 249 с.
9. Орлова Н. Д. Зависимость в'язкості уплотняемой смеси от параметров вибрации / Н. Д. Орлова // Весник ОДАБА. – 2009. – № 2. – С. 97-102.
10. Овчинников П. Ф. Виброреология / П. Ф. Овчинников. – К.: Наук. думка, 1983. – 270 с.

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

Бадьора Наталя Петрівна – аспірант кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.

Колісник Олена Петрівна – асистент кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.

Павлюк Олександра Ігорівна – студент Вінницького національного технічного університету.