

Теоретичні та експериментальні дослідження впливу вібрацій на зменшення сил тертя під час імпульсного насичення пористих матеріалів

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Доповідь присвячена дослідженню впливу вібраційного навантаження на зменшення сил тертя під час імпульсного насичення рідинами пористих будівельних матеріалів.

Ключові слова: вібрації, сили тертя, просочувальні сили, сила Стокса, глибина насичення, пористі матеріали, капіляр.

Abstract

The report is devoted to investigation of influence of vibration loads to reduce friction forces when pulse saturation fluids porous building materials.

Keywords: vibration, friction force, penetrating power, strength Stokes, deep saturation, porous materials, capillary.

На основі аналітичного огляду [1–5] досліджень впливу вібраційного навантаження на рух потоку рідини та його взаємодію із силами тертя були сформульовані деякі пояснення щодо закономірностей перебігу даних процесів.

Під впливом вібраційного навантаження знижується динамічна в'язкість в приграничному шарі – місці взаємодії (контакту) потоку рідини зі стінкою твердого тіла. Як видно з формули 1, зниження динамічної в'язкості тягне за собою зниження густини рідини, що взаємодіє з твердим тілом

$$\rho = \frac{\mu}{\nu}, \quad (1)$$

де ρ – густина рідини;

μ – динамічна в'язкість рідини;

ν – кінематична в'язкість рідини.

Внаслідок зниження густини рідини в зонах контакту зі стінками відбувається значне зниження сили супротиву або сили тертя Стокса, що визначається для турбулентного руху таким рівнянням [6]

$$F_c = S \cdot k_c \cdot \frac{\rho v^2}{2}, \quad (2)$$

$$F_c = S \cdot k_c \cdot \frac{\mu / \nu \cdot v^2}{2}, \quad (3)$$

де S – площа контакту рідини з твердим тілом (поверхня супротиву);

k_c – коефіцієнт, що залежить від форми стінки;

v – миттєва швидкість або постійна швидкість (коли прискорення дорівнює нулю).

Враховуючи те, що сила супротиву F_c представляє собою всі сили тертя, що діють на рідину, при її проникненні в капіляр, можна дійти до висновку, що зменшення сили супротиву призводить до збільшення сили тиску F_m в капілярі

$$F_m \square F_c \quad (4)$$

Збільшення сили F_m збільшує ступінь стиснення залишкового повітря, яке міститься в середині капілярів. Це призводить до збільшення глибини проникнення рідини при застосуванні рівнозначної сили тиску F_m в порівнянні з насиченням без накладання вібрацій.

Метод падаючої кульки

Метою експериментального дослідження є виникнення потреби визначення в'язкості середовища для розроблення устаткування для насичення пористих матеріалів. Визначення технологічних та конструктивних параметрів даного устаткування потребує вивчення в'язкості технологічної рідини при різних режимах роботи устаткування.

Експериментальні дослідження з визначення в'язкості рідкого середовища проводилися методом падаючої кульки, так як він є найбільш простим для вимірювання в'язкості складних рідких середовищ. Використовувалися сталеві кульки діаметром 15 мм і щільністю матеріалу 7900 кг/м^3 .

Рідке середовище (водопровідна вода) поміщалося в скляну посудину – градуйований циліндр завдовжки 0,3 м і діаметром 50 мм. Скляний циліндр вертикально закріплений на вібраційній плиті. Пульсації створювались за допомогою гідравлічного клапана-пульсатора. Величина та амплітуда коливань вимірювались рідинним манометром.

Експеримент проводився у два етапи. Перший етап полягав у тому, що металеву кульку кидали з висоти краю циліндра, при цьому задачею було визначення часу падіння кульки.

На другому етапі металеву кульку кидали з тієї ж висоти, але при створенні вібраційних коливань, що передавались циліндру від металевієї плити та клапана-пульсатора.

В обох випадках падіння кульки фіксувалося відеозйомкою задля підвищення точності вимірювань часу падіння кульки.

За результатами експериментальних досліджень отримані такі дані: середнє значення тривалості падіння кульки для статичного способу 0,2678 с; середнє значення тривалості падіння кульки для статичного способу 0,2130 с.

Після проведення відповідних розрахунків, швидкість падіння кульки для статичного та вібраційного випробувань становить 1,12 м/с та 1,41 м/с відповідно.

Результати експериментальних даних дозволяють константувати приріст швидкості падіння кульки при накладанні вібраційних коливань, що складає 26%.

Розглянемо сили, що діють на кульку в момент падіння. На кульку, що падає в рідині, окрім сили ваги F_g , діють виштовхувальна сила або сила Архімеда F_A , сила внутрішнього тертя (супротиву) або сила Стокса F_c . При вертикальному падінні кульки напрямки виштовхувальної сили та сили супротиву співпадають, причому сила ваги направлена протилежно їм.

На основі другого закону Ньютона маємо вираз

$$F_g = F_c + F_A. \quad (5)$$

Якщо представити силу Архімеда як

$$F_A = \rho g V, \quad (6)$$

або для випадку з кулькою

$$F_A = \frac{4\pi r^3 \rho g}{3} \quad (7)$$

та силу ваги як $F_g = mg$, тоді у випадку з кулькою

$$F_g = \frac{4\pi r^3 \rho_k g}{3}, \quad (8)$$

де ρ – густина рідини, кг/м³;
 g – прискорення вільного падіння, м/с²;
 V – об'єм кульки, м³;
 r^3 – радіус кульки, м;
 m – маса кульки, кг;
 ρ_k – густина матеріалу кульки, кг/м³.

Враховуючи рівняння 3, що пов'язує силу супротиву і динамічну в'язкість, а також залежності 7, 8, запишемо видозмінений вираз 9

$$\frac{4\pi r^3 \rho_k g}{3} = S \cdot k_c \cdot \frac{\mu v^2}{2\nu} + \frac{4\pi r^3 \rho g}{3}. \quad (9)$$

Враховуючи те, що сила ваги та виштовхувальна сила в даному випадку не можуть змінюватись за час падіння кульки, при цьому, за результатами досліджень, при статичному та вібраційному випробуваннях тривалість падіння кульки відрізняється, можна стверджувати про зменшення сили супротиву F_c .

Насичення деревини статичним та гідроімпульсним способом

Метою дослідів було визначення впливу вібраційних коливань на глибину та швидкість насичення пористих матеріалів.

Для реалізації експерименту були виготовлені дерев'яні зразки циліндричної форми діаметром 24 мм та довжиною 38 мм. Матеріалом деревини була сосна щільністю 700 кг/м³.

Як і в досліді з падаючою кулькою, дослідження проводилось двома способами: статичним та гідроімпульсним. У першому випадку зразки деревини занурювали в ємність з просочувальним мастилом і витримували в ньому 48 год. В якості просочувальної рідини було використано мастило індустріальне І-20, яке є близьким за характеристиками просочувальних рідин. Після чого було проведено поперечний розріз зразків статичного насичення, результати якого зафіксовано фотознімками (див. рис. 1).



Рисунок 1 – Поперечний розріз зразків насичених статичним способом

За даними замірів глибина насичення з використанням статичного способу склала 5-7 мм.

В іншому випадку зразки деревини поміщали в просочувальну камеру в якій циклічно створювали імпульси тиску мастила. До складу стану для гідроімпульсного насичення входили: просочувальна камера, рідинний манометр (ГОСТ 8625-69, клас точності 1,6).

Під час проведення експерименту максимальний тиск становив 40 атм; амплітуда зміни тиску в межах 15 ... 20 атм; частота повторюваності імпульсів становила 2,8 Гц; тривалість періодичного імпульсного насичення 4 хв; час витримки під статичним тиском 16 год. Експеримент проводився при нормальних умовах.

Після завершення насичення, дерев'яні зразки було розрізано та виміряно глибину насичення (див. рис. 2).



Рисунок 2 – Поперечний розріз зразків насичених імпульсним способом

Як видно із світлини, просочувальний розчин майже повністю заповнив деревину. Глибина насичення при імпульсному випробуванні склала 10-12 мм, що приблизно в 1,8 разів більша від статичного насичення деревини.

На підставі результатів експерименту можна стверджувати про збільшення глибини проникнення рідини в пористий матеріал, а також про зменшення тривалості насичення при використанні циклічного гідроімпульсного способу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Єрмолін В. Н., Деревянних Д.Н. / Підвищення проникності деревини рідини при змінному тискові. – Наукова стаття. – Сибірський державний технологічний університет, 1997 р.
2. Стеніна К. І. Інтенсифікація процесу просочення масивної деревини в автоклавах/ Стеніна К. І., Чиканцев П. С./ – УГЛТУ, Єкатеринбург, 2014. – 119 с.
3. Чудінов Б. С. «Вода в деревині» / Б. С. Чудінов – Новосибірськ: Видавництво «Наука». Сибірське відділення, 1984. – 263 с.
4. Ходаков Г.С. / Сверхтекучесть почвенной воды в капиллярной системе растений / Г. С. Ходаков // Российский химический журнал . – 15/06/2007. – Vol. 51, N 3 . – С. 172-176 .
5. Серговский П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / П. С. Серговский, А. И. Расев – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 400 с.
6. Говарікер В. Р. / Полімери: Переклад. з англ. / Говарікер В. Р., Вісванатхан, Шрідхар Дж. – М.: Наука, 1990. – 396 с.

Олег Олегович Горюн, аспірант кафедри інженерних систем в будівництві. Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Email: olezhka94@gmail.com;

Науковий керівник: Іван Васильович Коц, кандидат технічних наук, професор кафедри інженерних систем в будівництві. Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. Email: ivkots@i.ua

Oleh O. Horiun – Postgraduate student of the department engineering systems in construction, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : olezhka94@gmail.com;

Supervisor: Ivan V. Kots – Ph. D. (Eng.), professor of the department of engineering in construction, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Email: ivkots@i.ua