

## Проблемні питання математичного моделювання імпрегнування будівельних матеріалів на основі бетону за рахунок імпульсів тиску просочувальної рідини

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

В доповіді проаналізовано сучасні наукові праці, які стосуються математичного моделювання процесів проникнення рідин в пористо-капілярні структури твердих тіл за рахунок використання тиску просочувальних рідин. В результаті проведеного аналітичного огляду встановлено проблемні питання, які необхідно розв'язати для подальшого успішного розвитку і створення математичного моделювання процесів імпрегнування будівельних матеріалів на основі бетону за рахунок імпульсів тиску просочувальної рідини.

**Ключові слова:** імпрегнування, математичне моделювання, будівельні матеріали, бетонополімери, бетон, імпульсний режим.

### Abstract

The report analyzes modern scientific works concerning the mathematical modeling of the processes of penetration of liquids into the porous-capillary structures of solids due to the use of pressure of impregnating liquids. The analytical review identified the problematic issues that need to be addressed for the further successful development and mathematical modeling of concrete material impregnation processes by means of impulses of impregnation fluid pressure.

**Keywords:** impregnation, mathematical modeling, building materials, polymer impregnation concretes, concrete, pulse mode.

### Вступ

В зв'язку із розвитком будівельної галузі у світі постає питання вдосконалення технологічних процесів виготовлення будівельних матеріалів шляхом імпрегнування. Перспективним напрямком даної галузі є застосування імпульсного режиму насичення матеріалів, який дозволить збільшити глибину та рівномірність імпрегнування водночас зі зменшенням тривалості технологічних процесів [1].

Метою роботи є аналітичний огляд відомих математичних моделей насичення твердих матеріалів з виділенням питань, вирішення яких сприятиме створенню математичної моделі процесу проникнення мономера в товщу бетону під дією імпульсного режиму насичення.

### Результати дослідження

Проникнення речовин у товщу матеріалу залежить від груп факторів. Головним чином це властивості просочувальних рідин, фізико-механічні властивості матеріалу, що підлягає імпрегнуванню, а також технологія насичення. На сьогоднішній день проведені дослідження процесів проникнення рідини в товщу матеріалів капілярно-пористої будови. Головним чином це ефект капілярного підйому, коли насичення матеріалу відбувається під дією атмосферного тиску шляхом занурення просочувального виробу в рідину.

Для ефективного протікання процесів насичення, особливо таких, які відбуваються під дією атмосферного тиску, важливим є низьке значення крайового кута змочування, що призводить до підвищення ліофільності матеріалу, який підлягає насиченню. Залежність крайового кута змочування від сил поверхневого натягу представлена формулою Юнга (1).

$$\cos\theta = \frac{\sigma_{23} - \sigma_{13}}{\sigma_{12}}, \quad (1)$$

де  $\theta$  – крайовий кут змочування;  $\sigma_{23}$  – поверхневий натяг на межі газу і просочувального матеріалу, Н/м;  $\sigma_{13}$  – поверхневий натяг рідини на межі з просочувальним матеріалом, Н/м;  $\sigma_{12}$  – поверхневий натяг рідини на межі з газом, Н/м.

З формули (1) видно, що досягнення мінімальної величини крайового кута змочування можливо лише за низького показника сили поверхневого натягу просочувальної рідини на межі з газом та матеріалом, який підлягає насиченню.

Швидкість насичення пористої структури деревини за [2] під дією гравітаційних сил визначається формулою, що враховує фільтраційні особливості матеріалу:

$$V = \sqrt{-K \frac{\Delta P + \frac{2\sigma}{z}}{\gamma \cdot t}}, \quad (2)$$

де  $K$  – коефіцієнт фільтрації;  $\Delta P$  – перепад тиску по глибині  $x$ , Па;  $\sigma$  – поверхневий натяг просочувального розчину;  $z$  – радіус капілярів імпрегнованої деревини, м;  $\gamma$  – питома вага просочувальної рідини.

Крім вищевказаних залежностей, які стосуються самоплинних процесів імпрегнування (Що відбуваються під дією атмосферного тиску), цікавими в більшій мірі є математичні залежності насичення виробів під дією гідростатичного тиску просочувальної рідини.

З огляду на вищезазначене, варто приділити увагу обґрунтуванню фізичної моделі процесу проникання високонапірного струменя в слабку породу із застосуванням теорії струминних течій, що представлено у роботі [3]. Сутність даної теорії полягає в тому, що вона розглядає процеси, які відбуваються при прониканні потоку однієї рідини в іншу або при змішанні двох потоків, що протікають із різною швидкістю в одному або різних напрямках [3]. Де в результаті серії експериментів встановлені закономірності проникання високонапірних струменів у дисперсні породи залежно від співвідношення густини закріплюючого розчину й щільності оброблюваної породи, ударної в'язкості цієї породи, швидкості підняття й обертання робочого інструмента, витрати і тиску струменя закріплюючого розчину, геометричної форми сопла, що формує струмінь.

Глибина проникання струменя в породу за [3] визначена такою формулою:

$$h = \sqrt{K \frac{2,73 \cdot d_0^3 \cdot u_0}{\pi \cdot d_1 \cdot \omega \cdot c \cdot \left(1 + \frac{\rho_2}{\rho_1}\right) \cdot k}}, \quad (3)$$

де  $\omega$  – швидкість обертання робочого інструмента навколо своєї осі, об/с;  $u_0$  – початкова швидкість на виході із насадки, м/с;  $d_0$  – вихідний діаметр насадки, м;  $\rho_1$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_2$  – густина породи, кг/м<sup>3</sup>;  $k = 1$  при  $t \geq T$ , якщо час підняття робочого інструмента на висоту  $d_0 - T$  менше або дорівнює часу  $T$  одного обороту робочого інструмента.

Однак більш близьким до моделювання імпрегнування будівельних матеріалів на основі бетону за рахунок імпульсів тиску просочувальної рідини є робота [4] в якій приведено математичну модель процесу насичення за рахунок гідростатичного тиску стовпа просочувальної рідини.

В роботі [4] наведено диференційні рівняння руху малов'язкої рідини в круглому капілярі, а також в пористій структурі деревини.

В результаті проведених перетворень отримано дві залежності. Однією з яких є рух малов'язкої рідини в круглому капілярі описується рівнянням (4) [4].

$$H \cdot \frac{4\nu}{R^2 g} \cdot c^2 = t, \quad (4)$$

де  $H$  – висота рівня рідини, м;  $R$  – радіус круглого капіляра, м;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\nu$  – кінетична в'язкість просочувальної рідини, м<sup>2</sup>/с;  $c$  – відношення довжини просочувальної зони до висоти рівня рідини;  $t$  – тривалість процесу насичення, с.

Крім того, наведено залежність, яка описує рух малов'язкої рідини, що просочується через пори деревини [4]:

$$\frac{H}{K} \cdot c^2 = t, \quad (5)$$

де  $K$  – коефіцієнт фільтрації, м/с.

### Висновки

Під час імпрегнування матеріали на основі бетону слід вважати такими, що мають капілярно-пористу будову. З огляду на це, для опису процесів змочування поверхні, руху (фільтрації) рідини в середині таких тіл під дією гідростатичного тиску рідини або капілярних сил використовують рівняння та залежності, які приведено в даному матеріалі.

При цьому, в залежності від імпрегнованого матеріалу слід враховувати геометричну конфігурацію будови його внутрішніх структур.

Побудова математичної моделі для бетонів передбачає врахування таких особливостей бетонних структур як наявність мікротріщин, які виконують функцію магістральних капілярів, що сполучають між собою великі пори. Це явище дає змогу просочувальній рідині спочатку заповнювати більші пори, а потім поступово заповнити менші пори та капіляри, що віддалені від зон великих пор.

Окрім того, для побудови математичної моделі імпрегнування будівельних матеріалів на основі бетону за рахунок імпульсів тиску просочувальної рідини необхідно дослідити такі параметри як зміна величини динамічної (а за нею й кінематичної) в'язкості рідини, а також сил тертя в залежності від заданих амплітуди імпульсів тиску та частоти повторюваності імпульсів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Коц І. В., Горюн О.О., «Аналітичний огляд сучасних технологій виготовлення бетонополімерних виробів», materials of the XIII international scientific and practical conference «SCIENTIFIC HORIZONS — 2018», Sheffield, UK, September 30 - October 7, 2018 Volume 7.
2. Серговский П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / П. С. Серговский, А. И. Расев – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 400 с.
3. Власов Сергій Федорович, Теоретичні та прикладні основи струминного закріплення слабких дисперсних порід при веденні гірничих робіт [Текст] : автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.15.09; Національна гірнича академія України. - Дніпропетровськ, 1999. - 26 с.
4. Нгуен Ван Тоан, Обоснование способа групповой пропитки длинномерных сортиментов за счет давления пропиточной жидкости [Текст] : дис. к.техн.наук: 05.21.01; Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. — Санкт-Петербург, 2017.

**Олег Олегович Горюн** – аспірант кафедри інженерних систем в будівництві, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання. Вінницький національний технічний університет, Україна, м. Вінниця, e-mail: olezhka.gor.94@gmail.com.

Науковий керівник: **Іван Васильович Коц** – кандидат технічних наук, професор кафедри інженерних систем у будівництві, Україна, м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, e-mail: ivkots@i.ua.

**Oleh O. Horiun** — Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : olezhka.gor.94@gmail.com.

Supervisor: **Ivan V. Kots** — Ph. D. (Eng.), professor of the department of engineering in construction:, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ivkots@i.ua.