

ЗАСТОСУВАННЯ ФІЗИКО-ІНФОРМОВАНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ НАВОДНЮВАННЯ СТІНКИ ТРУБИ ГАЗОПРОВОДУ

Олег Венгринюк¹, Ольга Звірко²

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів, ¹olehvenhryniuk@gmail.com;
²olha.zvirko@gmail.com

На сьогодні перспективним завданням є використання наявних газопроводів для транспортування водню, що може посилювати ризик порушення цілісності труб через можливе наводнювання та водневу крихкість металу [1]. Тому при оцінюванні впливу водню на механічну поведінку металу важливо враховувати його дифузію, яка суттєво впливає на акумулювання водню в околі вершини тріщини та її ріст. Метою цієї роботи є моделювання дифузії водню у сталі для визначення розподілу водню по товщині стінки труби із застосуванням фізико-інформованих нейронних мереж. Їм надають перевагу перед іншими методами моделювання у задачах, де мала кількість експериментальних даних.

Класичний підхід із нейронною мережею у ролі універсального апроксиматора функцій посилено використанням знань про фізичні закони, а саме другий закон Фіка. Розглянуто модель труби, як порожній циліндр, у якого довжина h значного переважає діаметр d ($h \gg d$), тому скористались симетрією задачі та перейшли до її двовимірного аналогу. Щоб знайти розподіл водню по товщині труби, використано рівняння дифузії (1) та його розв'язок (2) згідно з Райченко [2].

$$\frac{\partial C(r,t)}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C(r,t)}{\partial r} \right), \quad (1)$$

$$C(r,t) = C_1 \frac{\ln(r_2/r)}{\ln(r_2/r_1)} + \pi \sum \frac{c_1 J_0(\beta_n r_1) J_0(\beta_n r_2) U_0(\beta_n r)}{J_0^2(\beta_n r_1) - J_0^2(\beta_n r_2)} e^{-\beta_n^2 D t}. \quad (2)$$

Використано нейронну мережу із наступною архітектурою (рис. 1). Завдяки лос функції (3) враховано крайові умови, а також фізичні закони. Тут $\alpha = 2$, $\beta = 0,1$, $\gamma = 2$, гіперпараметри, що були підібрані для кращої збіжності алгоритму градієнтного спуску.

$$L = \alpha L_{\text{physics}} + \beta L_{\text{boundary+initial}} + \gamma L_{\text{data}} \quad (3)$$

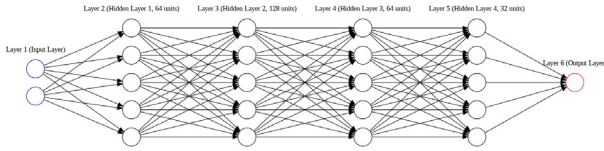


Рис. 1. Схема нейронної мережі

Визначено зміну концентрації водню C з часом по товщині стінки труби (рис. 2, червоні точки – значення аналітичного розв’язку диференційного рівняння, сині – апроксимовані значення нейронної мережі).

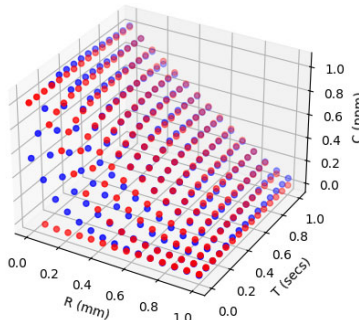


Рис. 2. Розподіл водню по товщині стінки труби в часі

Досягнуто хороших результатів моделювання розподілу водню по товщині стінки труби в часі, похибка склала 0,07 середнього відхилення по модулю, із використанням всього 6 точок із області визначення задачі. Це вказує на доцільність подальшого дослідження застосування та розвитку методів із нейронними мережами для задач фізико-хімічної механіки матеріалів.

1. *Nykyforchyn H., Tsyurulnyk O., Venhryniuk O., Zvirko O.* Techniques for investigation of hydrogen influence on fracture toughness and embrittlement of pipeline steels network // *Procedia Struct. Integr.* – 2024. – 59. – P. 125–130.
2. *Райченко А. И.* Математическая теория диффузии в приложениях. – К.: Наук. думка, 1981. – 396 с.

PINN APPLICATION FOR MODELING OF HYDROGEN CHARGING OF GAS PIPELINE WAL

A physics-informed neural network (PINN) is applied for modeling hydrogen distribution in the wall of a gas pipeline intended for hydrogen service. The neural network approach was enhanced by incorporating Fick's second law of diffusion. The results are compared with analytical solutions, and visualizations of the hydrogen distribution are provided.