

**Про визначення коефіцієнта Шезі за допомогою
штучної нейронної мережі для підтримки завдань
математичного моделювання відкритих потоків**

Ходневич Я.В., Стефанишин Д.В.

*(Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного
простору НАН України, уа.v.khodnevych@gmail.com,
d.v.stefanyshyn@gmail.com)*

Коефіцієнт Шезі C є найбільш універсальною інтегральною емпіричною характеристикою гідравлічного опору відкритим потокам [1, 2]; використовується при вирішенні різних прикладних завдань руслової гідравліки [1], зокрема – при математичному моделюванні течій з вільною поверхнею на основі одно- та двовимірних моделей «мілкої води» (рівняння Сен-Венана) в задачах поширення паводків, хвиль прориву гребель, руху селевих потоків, моделювання атмосферних, морських і океанських течій, транспортування забруднень тощо [2].

Для обчислення коефіцієнта Шезі різними авторами розроблено велику кількість емпіричних і напівемпіричних формул [1, 2]. При цьому, як показує практика, врахування різних гідроморфологічних параметрів, що входять до цих залежностей, значною мірою визначає відносну похибку отриманих результатів. Часто вибір відповідної формули може стати досить складним викликом для дослідника.

Для підтримки цілісного підходу до визначення гідравлічних опорів відкритим потокам запропоновано обчислювати коефіцієнт Шезі C за допомогою штучної нейронної мережі (ШНМ) [3]. В цій доповіді розглядається алгоритм розв'язання такої задачі на прикладі ШНМ прямого поширення з одним прихованим шаром та сигмоподібною логістичною функцією активації [4]. Навчання мережі здійснювалося за допомогою методу зворотного поширення помилки з використанням реальних

даних щодо комплексу гідроморфологічних характеристик, що в цілому визначають гідравлічний опір у руслах річок.

Мета виконаного дослідження полягала у вирішенні задачі коректного упорядкування наявних даних для навчання ШНМ та розробки загальних правил формування навчальних і тестових вибірок даних. Правила та алгоритм роботи з даними можуть бути використані при створенні перспективних ШНМ для обчислення коефіцієнта Шезі в умовах альтернативності вибору та невизначеності.

Навчання ШНМ та її тестування проводилося з урахуванням наступних гідроморфологічних параметрів, які в комплексі визначають коефіцієнт шорсткості Шезі C ($\text{м}^{1/2}/\text{с}$): коефіцієнта шорсткості Гоклера-Меннінга n ($\text{с}/\text{м}^{1/3}$), гідравлічного ухилу S_f , висоти виступів шорсткості Δ (м), середньої ширини потоку B (м), середньої глибини потоку h (м), гідравлічного радіуса R (м). Розроблено алгоритм ШНМ для обчислення коефіцієнта Шезі C як залежної змінної $C = f(x_1, x_2)$, де $x_1 \in \{n, \Delta, S_f, B\}$, $x_2 \in \{h, R\}$ вважалися незалежними змінними. Розділення комплексу гідроморфологічних параметрів на дві характерні групи здійснювалося з врахуванням аналізу різних емпіричних формул та залежностей, які можуть використовуватися для визначення коефіцієнта Шезі (загалом більше 250) [2, 3]. Упорядкування даних в межах дослідження орієнтувалося на побудову інформативних, згладжених, неперервних, нормованих масивів вхідних даних з врахуванням статистичної невизначеності (похибки, пропуски вимірів тощо) значень параметрів n, S_f, Δ, B, h, R .

Навчання та тестування ШНМ проводилися на актуальних гідроморфологічних даних для ділянок русла р. Дніпро у межах м. Києва та нижче за течією Києва, ділянки р. Десна поблизу м. Чернігів та ділянки р. Прип'ять поблизу міста Турів [3]. Прогнозна майстерність мережі перевірялася за допомогою коефіцієнта Неша-

Саткліффа (NSE) на основі порівняння спостережених і прогнозованих (обчислених при визначених за допомогою ШНМ значеннях коефіцієнта Шезі) витрат води.

Було встановлено, що ШНМ прямого поширення з одним прихованим шаром і сигмоподібною логістичною функцією активації в межах поставленої задачі володіє досить високою прогновною майстерністю (NSE = 0,9818). Відносна похибка прогнозування витрат води коливалася від 3,8% до 18,1%; в середньому вона склала 10,2%. Таким чином, за коректної організації даних в межах предметної області згідно з розробленим алгоритмом, запропонована ШНМ може обчислювати значення коефіцієнта Шезі з достатньою для практики точністю.

Література

1. Chow, V.T. (1959). Open-channel hydraulics. N.Y., McGraw-Hill, 680 p.
2. Stefanyshyn, D.V., Khodnevich, Y.V., Korbutiak, V.M. (2021). Estimating the Chezy roughness coefficient as a characteristic of hydraulic resistance to flow in river channels: a general overview, existing challenges, and ways of their overcoming. Екологічна безпека та природокористування, 39(3), 16–43; DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.3.16-43>.
3. Khodnevych, Y.V., Stefanyshyn, D.V. (2022). Data arrangements to train an artificial neural network within solving the tasks for calculating the Chezy roughness coefficient under uncertainty of parameters determining the hydraulic resistance to flow in river channels. Екологічна безпека та природокористування, 42 (2), 59–85; DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.2.59-85>.
4. Haikin, S. (2008). Neural Networks and Learning Machines (3rd Edition). Prentice Hall, 906 p.