

DOI 10.36074/logos-21.06.2024.026

МОДЕЛЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ТРУБОПРОВІДІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ CO₂

Люта Наталія Вікторівна¹, Антонюк Назар Володимирович²

1. кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортування та зберігання енергоносіїв
Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, УКРАЇНА
ORCID ID: 0000-0002-3321-0982

2. Здобувач освіти Інституту нафтогазової інженерії
Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, УКРАЇНА

Технологія уловлювання та зберігання вуглецю (Carbon Capture and Storage, CCS) є одним з ключових інструментів у боротьбі зі зміною клімату. Вона дає можливість значно знизити викиди CO₂ від великих промислових джерел, таких як електростанції, цементні заводи та нафтопереробні підприємства. CCS включає три основні етапи: уловлювання, транспортування та зберігання CO₂. Після уловлювання CO₂ необхідно транспортувати до місця зберігання. Найпоширенішими методами транспортування є трубопроводи та танкерні перевезення. Трубопровідний транспорт уловленого CO₂ є найекономічнішим та найефективнішим способом транспортування великих обсягів CO₂ на великі відстані. Існуючі мережі трубопроводів можуть бути модернізовані для транспортування CO₂.

Коефіцієнт гідравлічного опору (або коефіцієнт тертя) є важливим параметром при транспортуванні діоксиду вуглецю (CO₂) трубопроводами. Він впливає на витрати енергії та ефективність транспортування CO₂. Визначення гідравлічного опору базується на різних факторах, таких як характеристики потоку, властивості рідини та геометрія трубопроводу.

У науковій літературі рекомендують використовувати для моделювання коефіцієнта гідравлічного опору трубопроводів для транспортування CO₂ такі рівняння

- Рівняння (1)



섹션 13.

MINING, OIL AND GAS ENGINEERING

$$\lambda = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} \right) \right]^2}, \quad (1)$$

- Рівняння Хааланда (Haaland equation) [1]

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -1,8 \lg \left[\left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{\text{Re}} \right], \quad (2)$$

- Рівняння Зігранга та Сильвестра (Zigrang and Sylvester equation) [2]

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right) \right] \quad (3).$$

Рівняння Зігранга та Сильвестра є нелінійним і має вигляд, схожий на рівняння Колбрука-Уайта. Для його розв'язання необхідно використовувати ітераційні або числові методи. Після застосування числових методів це рівняння можна представити у такому вигляді

$$\frac{1}{2\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} \right) - \frac{5,02}{\text{Re}} \lg \left[\frac{\varepsilon/D}{3,7} - \frac{5,02}{\text{Re}} \lg \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{13}{\text{Re}} \right) \right] \right]. \quad (4)$$

Рівняння Зігранга та Сильвестра застосовується в практичних інженерних задачах, де необхідно швидко оцінити коефіцієнт гідравлічного опору в трубопроводах. Його можна використовувати в програмах моделювання потоків, розрахунках гідравлічних мереж та інших інженерних аналізах. Воно дозволяє ефективно розраховувати втрати тиску в трубопроводах, що є важливим для проектування та оптимізації систем транспортування CO₂.

Рівняння (1) та рівняння Хааланда (Haaland equation) є емпіричними залежностями, які використовують для визначення коефіцієнта гідравлічного опору в трубопроводах при турбулентному потоці. Вони є простішими для використання у порівнянні з рівнянням Зігранга та Сильвестра і не потребують ітераційного розв'язування.

Висновки. Проведено порівняльний аналіз трьох моделей для визначення коефіцієнта гідравлічного опору трубопроводів для транспортування CO₂. Встановлено, що використання рівняння Зігранга та Сильвестра для моделювання коефіцієнта гідравлічного опору у

трубопроводах, що транспортують CO₂, забезпечує вищу точність визначення цього параметра.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Zhang, Z.X.; Wang, G.X.; Massarotto, P.; Rudolph, V. Optimization of pipeline transport for CO₂ sequestration. *Energy Convers. Manag.* 2006, 47, 702–715. [Google Scholar] [CrossRef]
- [2] Zigrang DJ, Sylvester ND. Explicit approximations to the Colebrook's friction factor. *AIChE J* 1982;28(3):514–5.
- [3] Haaland SE. Simple and Explicit formulas for friction factor in turbulent pipe flow. *J Fluid Eng, ASME* 1983;105(1):89–90.