

Стукалець І.Г., канд. техн. наук, доцент
0000-0001-7107-4865

Баранович С.М., канд. техн. наук, доцент
0000-0001-8671-6517

Коробка С.В., канд. техн. наук, доцент
0000-0002-4717-509X

Львівський національний університет
ветеринарної медицини та біотехнологій
імені С.З. Ґжицького

ВИЗНАЧЕННЯ ДІОДИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛАПАНА ТЕСЛИ МЕТОДОМ ТРИВИМІРНОГО CFD–МОДЕЛЮВАННЯ У SOLIDWORKS

Клапан Тесли – канал, винайдений Ніколою Теслою понад століття тому. Це пасивний пристрій для регулювання потоку рідини без додаткових елементів з унікальними характеристиками односпрямованого потоку. Він має низький опір потоку в одному напрямку та високий опір потоку в протилежному напрямку. Завдяки постійному технічному прогресу та зростаючому попиту на технології регулювання потоку в різних галузях, дослідження та застосування клапанів Тесли швидко розвиваються. Характеристика однонаправленого потоку клапана Тесли впливає з його унікальної геометричної структури, яка зазвичай складається з серії вигнутих каналів та розгалужень. На рисунок 1 з патентного документа США US1329559A зображено перший клапан Тесли, розроблений в 1916 році.

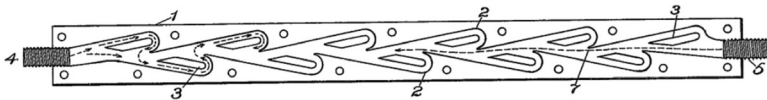


Рисунок 1 – Клапан Тесли згідно з патентом US1329559A

У цій версії клапана Тесли рідинна область складається з двох отворів: вхідного та вихідного. Клапан можна розглядати як основний канал плюс додаткові «петлі», приєднані до основного каналу. На рисунку 1 основний канал показано довгою пунктирною лінією 7, яка

починається з крайнього правого отвору 5 і рухається справа наліво через внутрішню частину клапана. Петлі Тесли можна розглядати як опуклі канали 2, призначені для створення опору потоку рідини, коли вона тече зліва направо. Це визначається як зворотний потік рідини в контексті клапана Тесли. Отвір 4 є вхідним отвором, тоді як отвір 5 є вихідним отвором для цієї конфігурації клапана. Потік рідини вважається прямим, коли рідина тече справа наліво, тобто від отвору 5 до отвору 4. Коли рідина тече в прямому напрямку, вона може проходити через канали відносно плавно; однак, за зворотного потоку в каналах утворюються інтенсивні турбулентності та вихори, що значно збільшують опір потоку. У працях [1–3] вивчено вплив геометрії на характеристики клапана Тесли, та виявлено, що різні розгалуження можуть помітно їх змінити.

Здатність клапана пропускати потік у прямому напрямку, одночасно перешкоджаючи потоку у зворотному напрямку, називають діодичністю клапана Di та визначається з виразу:

$$Di = \frac{\Delta P_r}{\Delta P_f} , \quad (1)$$

де ΔP_r – різниця тисків між виходом і входом клапана Тесли для зворотного потоку рідини; ΔP_f – різниця тисків між виходом і входом клапана Тесли для прямого потоку рідини.

Таким чином, рівняння (1) – це відношення перепаду тиску у зворотному потоці до перепаду тиску у прямому потоці, коли однакова швидкість потоку проходить через клапан у двох випадках. Чим більше значення Di , тим більший перепад тиску потоку рідини в клапані. Через геометричну форму цих клапанів перепад тиску у зворотному потоці більший, ніж його значення у прямому потоці, тому чистий потік спрямований у прямому напрямку. Визначення діодичності клапана Тесли проводять аналітично або з використанням комп'ютерного моделювання у середовищі спеціалізованого програмного забезпечення.

В роботі визначення діодичності клапана Тесли виконано з використанням програмного комплексу *SolidWorks*. Тривимірну твердотілу модель (рисунок 2) побудовано в CAD-модулі програми.

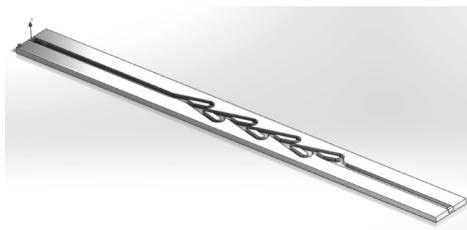


Рисунок 2 – Твердотіла тривимірний модель клапана Тесли, виконана в середовищі SolidWorks (зображено в розрізі)

Розрахункова модель являє собою канал прямокутного перерізу 8×10 мм. Початкова та кінцева ділянки каналу – прямолінійні, а в середній частині розміщено клапан Тесли, що складається з семи секцій.

Моделювання руху рідини каналом Тесли здійснено в модулі *SolidWorks Flow Simulation*. Методикою моделювання передбачено створення області дослідження, яка повністю охоплює габарити тривимірної моделі клапана, задання граничних умов, створення сіткової моделі та постановки інженерної задачі дослідження. В якості робочої рідини використано воду; вхідними параметрами задано швидкість на вході в канал – 2 м/с та атмосферний тиск на виході з каналу. Постановка інженерної задачі дослідження полягала у визначенні різниці тисків на ділянці потоку рідини через клапан.

На підставі проведеного моделювання потоку рідини через клапан Тесли побудовано епюри розподілу тиску рідини в каналі для прямого та зворотного напрямків (рисунок 3).

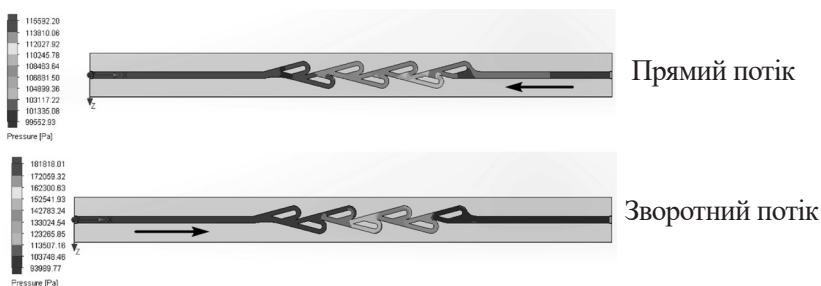


Рисунок 3 – Епюра розподілу тиску рідини в каналі Тесли

Для розрахунку діодичності визначено різницю тисків на вході та виході каналу, побудовано графіки значень тиску по довжині потоку всередині каналу для прямого та зворотного напрямків (рисунок 4).

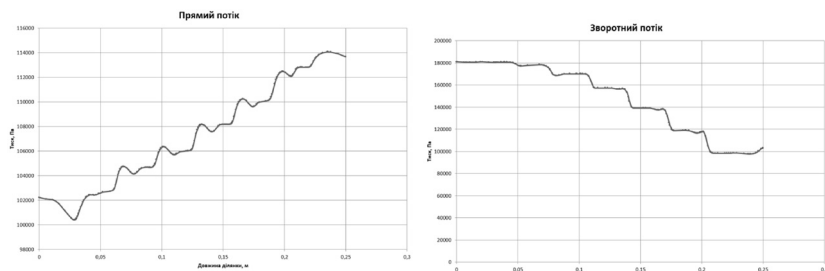


Рисунок 4 – Графіки значень тиску рідини по довжині каналу Тесли

За результатами визначення перепадів тиску в прямому та зворотному потоці, за формулою (1) розраховано значення діодичності для заданої моделі клапана Тесли, яка становить:

$$Di = \frac{180934,4693 - 103130,7276}{113678,842 - 102223,3924} = \frac{77803,74}{11455,45} = 6,79$$

Таким чином, в роботі апробовано методологію створення твердотілої моделі клапана Тесли, а також проведення комп'ютерного моделювання потоку рідини в САПР *SolidWorks* з визначенням характеристик клапана Тесли, зокрема його діодичності, значення якої для заданих параметрів моделі та умов дослідження становить $Di = 6,79$.

Список використаних джерел

1. Nobakht A. Y., Shahsavan M., Paykani A. Numerical Study of Diodicity Mechanism in Different Tesla-Type Microvalves. *Journal of Applied Research and Technology*. Vol. 11, December 2013. P.876–885.
2. Wiley S, Huang P H. The Effect of Bifurcated Geometry on the Diodicity of Tesla Valves [J]. *Fluids*, 2024, 9 (12). P. 294.
3. Yuqing Zhang, Youjun Ning, Cong Liu. Research Progress and Application Review of Tesla Valve. *Academic Journal of Science and Technology*. Vol. 14, No. 1, 2025. P. 262–264.