

**Макаренко Р.О., канд. техн. наук, доцент**

ORCID 0000-0001-9515-144X

**Хлисту́н О.І., канд. техн. наук, доцент**

ORCID 0009-0001-9063-6066

Державний університет

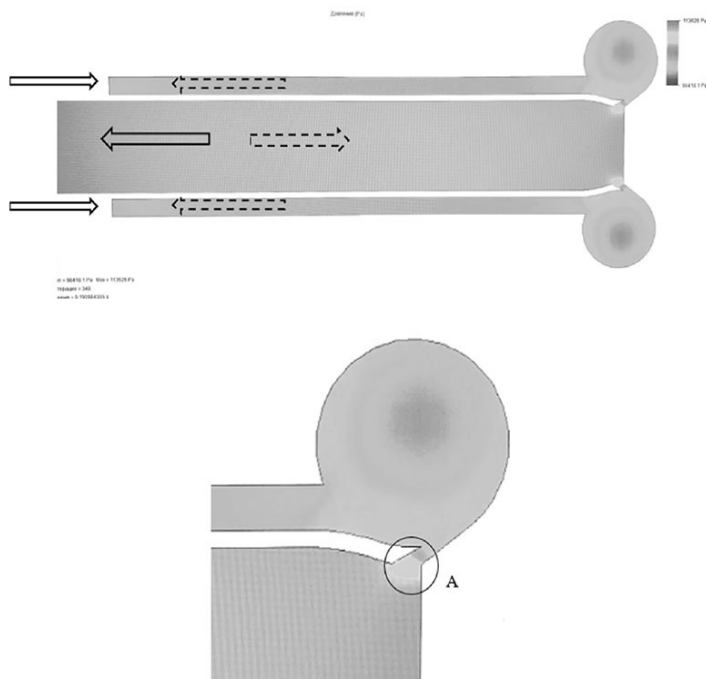
«Київський авіаційний інститут»

## **ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРАВЛІЧНОГО ДІОДА З ТОРОЇДАЛЬНОЮ ВИХРОВОЮ КАМЕРОЮ**

Гідравлічний діод є пристрієм, який використовується в системах гідравліки для контролю спрямування потоку рідини. Він дозволяє рідині вільно рухатись в одному напрямку, але обмежує потік у зворотньому напрямку. Гідравлічні діоди можуть використовуватися в різних промислових галузях, таких як машинобудування, авіація, суднобудування та інші. Існують кілька типів конструктивного виконання таких елементів, і всі вони характеризуються коефіцієнтом діодності. Цей коефіцієнт визначає, наскільки ефективно пристрій контролює напрямок потоку рідини. Чим більше коефіцієнт діодності, то краще діод. Крім цього існують ще критерії оцінки якості гідравлічного діода: пропускна здатність, падіння тиску, надійність та довговічність (здатність діода зберігати свої характеристики та працювати без збоїв протягом тривалого часу). При виборі гідравлічного діода також важливо враховувати умови експлуатації, вимоги до точності та надійності. Для оцінки нового варіанта конструкції гідравлічного діода можна використовувати різні методи дослідження, такі як математичне моделювання, комп'ютерне моделювання, випробування реальних умов експлуатації та інші. Однак, найбільш ефективним методом буде комплексне дослідження, що включає як експериментальні, так і теоретичні методи [1], [2].

Гідравлічні діоди вихрового типу мають зазвичай високі показники діодності. Тому за конструкцію для такого діода був обраний варіант, в якому буде задіяно вихроутворення. Деякі існуючі рішення не дозволяють забезпечити повне замикання діода при зворотньому напрямку руху середовища. Запропонований варіант вихрового діода спрямований на досягнення мети його замикання при зворотньому

потоці. Гідравлічний діод (рисунок 1) є коаксіально розміщені трубопроводи: один центральний, а інший виконано у вигляді кільцевої трубки однакової з іншою трубкою площею поперечного перерізу. На ділянці кільцевого переходу з одного трубопроводу до іншого розміщена торіоїдальна вихрова камера.



*Рисунок 1 – Схема гідродіоду*

На початковому етапі передбачається попередня оцінка ефективності описаного гідравлічного діода без детального опрацювання всіх конструктивних елементів. Перший і найбільш очевидний спосіб – провести випробування в реальних умовах. Однак такий підхід є надто затратним і займає багато часу, тому буде використано комп'ютерне моделювання для оцінки передбачуваної продуктивності нової конструкції. Це дозволить оцінити продуктивність гідродіода та, за необхідності, оптимізувати його конструкцію.

Оцінку ефективності проведено за допомогою чисельного моделювання, використовуючи програму обчислювальної гідродинаміки *flow simulation*. При цьому було створено тривимірну модель гідравлічного діода з урахуванням геометрії та умов течії. Після цього проводилося чисельне рішення рівнянь Нав'є–Стокса програмою *flow simulation*, в яких враховується рух рідини всередині діода, а також проводилося вимірювання швидкості та тиску потоку. За результатами моделювання можна одержати інформацію про структуру потоку, розподіл швидкостей і тисків, а також про коефіцієнт діодності. Коефіцієнт діодності може використовуватися для оцінки замикання потоку в гідравлічному діоді, але конкретний пороговий відсоток діодності, який вказує на замикання, може залежати від конкретної конструкції та умов експлуатації діода. Зазвичай, якщо коефіцієнт діодності перевищує 50–60%, це свідчить про замикання потоку. Однак, для точної оцінки необхідно проводити експериментальні та/або численні дослідження. У більшості випадків коефіцієнт діодності зазвичай знаходиться в діапазоні від 2 до 50, а іноді може досягати значень до 100–150. Коефіцієнт діодності в гідравлічному діоді може бути більше 200, залежно від конструкції та умов експлуатації. Однак, такі значення коефіцієнта діодності досягаються лише в дуже специфічних умовах та для конкретних конструкцій гідравлічних діодів.

Дослідження проводилося для робочої рідини – вода, у широкому діапазоні чисел Рейнольдсу.

Коефіцієнт діодності  $Kd$  визначається як відношення опору у зворотному напрямку до опору у прямому напрямку і за результатами моделювання найбільше значення дорівнює 550.

Так значення коефіцієнта діодності у нашому випадку вказує про велику різницю між опорами потоку у прямому та зворотному напрямках, що може свідчити про високу ефективність гідравлічного діода у блокуванні потоку у зворотному напрямку.

Виконаємо оцінку відсотка діодності:

$$D = (1 - 1/Kd) \cdot 100\% = (1 - 1/550) \cdot 100\% = 99.8\%.$$

Отримане значення відсотка діодності означає, що гідравлічний діод замикає потік у зворотному напрямку на 99.8% по відношенню до потоку у прямому напрямку.

Отримані дані були отримані при числах Рейнольдса від 2800 до 150000. Оцінка роботи гідродіода при ламінарному режимі течії та з іншими типами рідин на даному етапі роботи не проводилася. Слід зауважити, що ефективність гідравлічного діода залежить від параметру зазору в зоні *A* (рисунок 1). Коефіцієнт діодності *K<sub>d</sub>* при варіюванні значення зазору в більшості випадків був в межах від 3 до 120. Це свідчить про те, що запропонована схема має певні недоліки, які можуть бути пов'язані з точністю виготовлення внутрішньої частини та під'єднання вхідного та вихідного каналу гідравлічної системи.

### **Висновки**

Запропонована конструкція гідравлічного діода з високим відсотком діодності може бути використана як запірний клапан, так як він здатний ефективно замикати потік рідини в одному напрямку і пропускати його в іншому, або в системах керування.

До недоліку слід віднести чутливість коефіцієнта діодності до геометрії кільцевого каналу зони *A*, що зменшує стабільність отримання високих значень навіть при незначній зміні розміру кільцевого каналу.

### **Список використаних джерел**

1. Hu, P. L. Numerical investigation of tesla valves with a variable angle. *Phys. Fluids* 34(3), 033603 (2022).
2. H. Doddamani, T. K. Das, M. Takao, and A. Samad, "Design Optimization of a Fluidic Diode for a Wave Energy Converter via Artificial Intelligence-Based Technique," *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2022. DOI: 10.1007/s13369-022-07467-0.