

2. It has been proven that the necessary values of fuzzy parameters that implement optimal stochastic axial oscillations of the spool can be achieved by design measures, in particular, by making microgrooves on the working edge of the spool, randomly located around the periphery of the spool edge. It is rational to make grooves with a distance between them distributed according to a normal law.

3. Mathematical modeling of a hydraulic automation device in which vaguely defined stochastic oscillations of the spool are implemented confirmed a significant increase in the accuracy of the device. The presence of oscillations reduces pressure drop control errors by 4–8 times compared to the basic version of the device.

4. As a direction for further research, it is recommended to investigate the possibility of using stochastic spool valve oscillations to compensate for the negative impact of pump pressure pulsations on the characteristics of the hydraulic unit as a whole.

#### References

1. Струтинський В.Б., Колот О.В. Математичне моделювання стохастичних процесів у системах приводів. – Краматорськ: ЗАТ "Тираж-51", 2005. – 530 с.
2. Li R., Wei W., Liu H., Geng X., Cui J., et al., 2024, Design and experimental validation of a valve-distributed pump, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 238, 12, 5488-5497
3. Xiaoqiu Xu, Han Tao and Junwei Han. Shock Mechanism Analysis and Simulation of High-Power Hydraulic Shock Wave Simulator. Research Article. Open Access. Volume 2017. Article ID 4361256 <https://doi.org/10.1155/2017/4361256>
4. Струтинський, В.Б. Наземні роботизовані комплекси: монографія / В.Б. Струтинський, А.М. Гуржій. – Житомир: ПП «Рута», 2023. – 497 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57111>

#### УЗАГАЛЬНЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ НАПОРУ У ВІЛЬНОВИХРОВИХ НАСОСАХ ДЛЯ ОДНО- ТА БАГАТОФАЗНИХ СЕРЕДОВИЩ

Вільновихрові насоси використовуються для перекачування складних середовищ із твердими, волокнистими та газовими включеннями, тому стандартні підходи до розрахунку напірних характеристик не забезпечують достатньої точності. У роботі представлено узагальнену математичну модель формування напору, яка охоплює як однофазні режими, так і транспортування багатofазних сумішей зі змінною концентрацією включень [1].

Модель ґрунтується на розділенні енергетичного обміну в насосі на три механізми: лопатевий внесок, вихровий внесок та сумарні гідравлічні втрати. Лопатевий внесок описує безпосередню передачу енергії через міжлопатеві канали робочого колеса, де розглядається реальний трикутник швидкостей і вплив ковзання потоку. Вихровий внесок визначається тороподібною циркуляцією рідини у вільній камері, де потік має двозонну структуру: область твердотільного обертання поблизу робочого колеса та область потенційного вихору у периферійній зоні. Узгодження цих зон забезпечує визначення енергії вихору, що перетворюється у напір [2].

Гідравлічні втрати поділено на три складові: втрати на вході, втрати на виході з робочого колеса та втрати змішування в зоні взаємодії лопатевого й вихрового потоків. Останні є найбільш значущими для вільновихрових насосів, оскільки саме тут формуються інтенсивні турбулентні пульсації та дисипація енергії.

Для однофазних рідин модель дозволяє визначити напір як суму лопатевого і вихрового внесків з урахуванням втрат, що забезпечує базову характеристику насоса.

Для багатofазних робочих середовищ модель узагальнено на три підходи залежно від концентрації включень:

1. Однорідне реальне середовище (вміст домішок <1%), де вводяться ефективні густина та в'язкість без врахування ковзання фаз.

2. Ковзна суміш із помірними концентраціями (1–10%), у якій тверді частинки та газові бульбашки мають власні швидкості. Вводиться число Стокса, що характеризує інерційність включень, та описуються додаткові втрати від міжфазного зсуву швидкостей.

3. Густі або аеровані середовища, де кожна фаза описується окремими рівняннями збереження маси й імпульсу. Враховуються сили опору, підймальна сила, сила додаткової маси та турбулентна дифузія. Такий підхід відповідає повноцінним CFD-моделям і дозволяє описувати стратифікацію фаз та реальну структуру потоку.

Отримана модель забезпечує комплексний опис механізмів формування напору у вільновихрових насосах, дозволяючи кількісно оцінювати вплив геометрії робочого колеса, параметрів вільної камери, концентрації включень та співвідношення лопатевого й вихрового потоків. Це створює підґрунтя для точнішого прогнозування напірних характеристик, оптимізації конструкції та розроблення енергоефективних насосів для роботи в умовах підвищеної абразивності й нерівномірності потоку.

#### Список використаних джерел

1. Kondus V., Ciszak O., Zhukov A., Mushtai M., Polkovnychenko V., Krugliak A. (2024). Development of a self-cleaning mechanism for torque-flow pumps. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*, Vol. 11(2), pp. F17–F26. [https://doi.org/10.21272/jes.2024.11\(2\).f3](https://doi.org/10.21272/jes.2024.11(2).f3)
2. Pavlenko, I., Kondus, V., & Puzik, R. (2025). Hydrodynamics of Toroidal Vortices in Torque-Flow Pumps. *Applied Sciences*, 15(20), 11299. <https://doi.org/10.3390/app152011299>

#### СЕКЦІЯ 1 ТЕХНІЧНА ГІДРОГАЗОМЕХАНІКА ГОЛОВА СЕКЦІЇ – РОГОВИЙ А.С., Д-Р ТЕХН. НАУК, ПРОФЕСОР

Єсипчук С.С.

<https://orcid.org/0000-0002-4101-8827>,

Скиданенко М.С., канд. техн. наук, доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-0277-1867>,

Ляпощенко О.О., д-р техн. наук, професор,

<https://orcid.org/0000-0002-6657-7051>

#### FD-МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІКИ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗДІЛЕННЯ ДВОХФАЗНИХ СУМІШЕЙ У ВИХРОВІЙ КАМЕРІ СЕПАРАТОРА

Ефективне розділення багатофазних потоків є актуальним завданням у нафтогазовій та хімічній промисловостях. Використання вихрових сепараторів є перспективним завдяки їх високій продуктивності та ефективності. На основі аналізу існуючих конструкцій сепараторів розроблено базову модель вихрової камери з тангенціальним підводом рідини. Створено серію геометричних модифікацій, що включають конструкції з подвійним конусом, циліндричними вставками та різними кутами при вершині конічних поверхонь. CFD-моделювання використовували моделі турбулентності  $k-\epsilon$  та  $k-\epsilon$  RNG, для аналізу дисперсної фази використано метод DPM (Discrete Phase Model).

Проведено факторні експерименти у діапазоні швидкостей 1–10 м/с з використанням води як модельного середовища. Проаналізовано отримані гідродинамічні характеристики, поля швидкостей, тиску та траєкторії руху частинок.

Отримані результати корелюються з даними інших дослідників. Згідно з *Hamdy et al.* [1], збільшення довжини конуса призводить до різкого зростання втрат тиску, що підтверджується дослідженнями в лабораторії СумДУ – моделі з кутом при вершині конуса понад 100° демонструють зростання коефіцієнта опору до 3.35. Дослідження *Wang et al.* [2] засвідчили, що використання додаткових вставок зменшує перепад тиску на 7.8%, тоді як конструкція з подвійним конусом винахідників з СумДУ забезпечує зниження опору на 35%.