

автомобільних подушок безпеки нового типу на експериментальній установці, в якій ключовим елементом є розроблений швидкодіючий клапан. В результаті були визначені робочі параметри клапанів, які продемонстрували їх працездатність в рамках заданих технічних вимог.

#### Список використаних джерел

1. David S. Breed, Nina F. Yurchenko, Pavlo M. Vynogradsky, Konstantin N. Kuzmenko, Yuriy A. Paramonov, *Advanced aerodynamic system for airbag inflation*, Proceedings Int. Conf. on Advances in Automotive Engineering (ICAAE18), [http://www.i-asem.org/publication\\_conf/structures18/12.ICAAE18/XH3A.1.AE1761\\_4762F3.pdf](http://www.i-asem.org/publication_conf/structures18/12.ICAAE18/XH3A.1.AE1761_4762F3.pdf), 2018 Incheon, Korea, August 27 – 31.
2. David Breed, Shawe Zhang, Nina Yurchenko, Gennadiy Voropaiev, Nataliya Rozumnyuk, Pavlo Vynogradsky, Kostyantyn Kuzmenko. *Toward autonomous vehicles: basic aerodynamic background for novel airbag inflation system*. Proc. 14th Int. Symp. on Sophisticated Car Safety Systems, Mannheim, Germany, 2018, Nov. 26-28, 17 pp.
3. Е.Я.Соколов, Н.М.Зингер, *Струйные аппараты*, 3-е издание переработанное, Москва Энергоатомиздат 1989.
4. Т.В. Евсеева, В.Л. Кисель, А.А. Назаренко, В.А. Тимофеев, *Fast-acting control valve*, Patent RU27849U1.
5. Sergei Esakov, Sergei Yurkin, *Method of bringing to readiness an inflatable airbag of safety device, (embodiments), safety device for a vehicle (embodiments), valve device*. Patent US20040169359A1, Pub. No.: US 2004/0169359 A1.
6. Isakov S. Nicolaevich, Isakov I. Nicolaevich, Yurkin S. Vasilievich, *Pneumatic launcher*, Patent US5450839A, Patent Number: 5,450,839, Date of patent: Sep. 19, 1995.

Автори висловлюють подяку Д-ру Девіду Бриду (Міжнародні Автомобільні Технології, ATI, USA) за постійний інтерес та фінансову підтримку досліджень.

#### УДК 532.52

Мамедов А. Н. огли, Коваль О. Д., к.т.н., доц., Карашук Я. Ф.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

### АНАЛІЗ ВПЛИВУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ЛАМІНАРНУ ТЕЧІЮ В'ЯЗКОЇ РІДИНИ

*Анотація.* Робота присвячена проблемі гідродинаміки електропровідної рідини в постійному магнітному полі, що діє перпендикулярно вектору швидкості.

*Проведено аналіз впливу поперечного магнітного поля на поведінку електропровідної в'язкої рідини в каналі.*

*Експерименти проведено з використанням магнітних пластин із заданою величиною магнітного поля, що дозволило розглянути умови взаємодії швидкісного напору рідини з величиною напруженості магнітного поля та підтвердити ефект гальмування потоку за рахунок впливу магнітного поля.*

*Наявність магнітного поля в розглянутому випадку, як відомо, має приводити до зміни реологічних властивостей електропровідної рідини. В роботі показано, що робоча рідина під дією магнітного поля набуває в'язкопластичні властивості, що істотно впливає на гідравлічний опір.*

*В роботі показана залежність опору не тільки від числа Рейнольдса але й від критерію Гарматна.*

**Ключові слова:** швидкість течії, початкова ділянка, магнітне поле, неньютонівські рідини

Протягом багатьох років увага приділяється задачам вивчення течії «магнітної рідини» на гідродинамічній початковій ділянці [1-2, 6, 8-9]. Особливістю такої течії є те, що поряд із силами в'язкого тертя необхідно враховувати сили інерції від конвективного прискорення, тобто, гідродинаміка одномірної стоксової течії перетвориться у двовимірну, де під дією сил інерції істотно деформується поле швидкості і напруги, зростають перепади тиску по довжині. Використання в промисловості в якості робочої рідини електропровідних рідин, які реагують на магнітне поле, поставило нові задачі що пов'язані з дослідженням структури потоку на початковій ділянці. Такі задачі пов'язані із вивченням впливу поперечного магнітного поля на дестабілізацію потоку. В роботах [1-2, 5] показано, що вплив поперечного магнітного поля на течію електропровідної рідини може бути аналогічним впливу сил інерції від конвективного прискорення. Пондеромоторні сили, що з'являються в даному випадку та масові сили інерції можуть істотно впливати на прискорення або

гальмування потоку в каналі, на інтенсивність вихроутворення та ступінь можливості виникнення кавітації. Про це свідчать роботи Шеркліфа та дослідження Брановера [9].

**Мета роботи** - провести аналіз впливу поперечного магнітного поля на зміну гідродинамічних параметрів потоку на гідродинамічній початковій ділянці, використовуючи в якості робочих рідин електропровідні середовища, що проявляють в'язкі або аномально-в'язкі властивості.

Як відомо [1] рівняння, що описує течію в'язкої рідини на початковій ділянці при наявності магнітного поля має вигляд

$$\begin{cases} \rho(\vec{v}\nabla)\vec{v} = -\nabla p + \mu\Delta\vec{v} + \frac{1}{c}[\vec{j} \times \vec{B}], & \text{при } \text{div}\vec{v} = 0; \\ \vec{j} = \sigma\left(-\nabla\phi + \frac{1}{c}[\vec{v} \times \vec{B}]\right), & \text{при } \text{div}\vec{j} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{rot}\vec{B} = \frac{4\pi}{c}\vec{j}, \quad \text{при } \text{div}\vec{B} = 0,$$

де сила з магнітною природою представлена виразом  $\frac{1}{c}[\vec{j} \times \vec{B}]$ .

Магнітні складові в даних рівняннях описують гальмуючий вплив. Наприклад, прискорення сили інерції, тобто  $\rho(\vec{v}\nabla)\vec{v}$ , сприяє гальмуванню потоку на початковій ділянці в області біля стінок та прискоренню потоку в ядрі. Таким чином, формування епюри швидкостей на початковій ділянці залежить від співвідношення даних сил.

Перепад тиску по довжині може бути визначеним за формулою Дарсі - Вейсбаха.

У загальному випадку сили, що діють на потік у магнітному полі, можуть бути представлені у вигляді

$$\vec{F}_{\text{сум}} = \vec{F}_{\text{ін}} + \vec{F}_{\text{нм}} = \rho\vec{a} + \frac{1}{\sigma}[\vec{j} \times \vec{B}],$$

де  $\vec{F}_{\text{ін}}$  – сила інерції,  $\vec{F}_{\text{нм}}$  – пондеромоторна сила.

Сили електромагнітного походження (пондеромоторні сили) можуть бути представлені наступним чином

$$[\vec{j} \times \vec{B}] = (\text{rot}\vec{B}) \times \frac{\vec{B}}{\mu^*} = \frac{(\vec{B} \text{ grad})\vec{B}}{\mu^*} - \frac{\text{grad}\vec{B}}{2\mu},$$

де  $\vec{j}$  – щільність струму,  $\vec{B}$  – індукція магнітного поля,  $\mu^*$  – магнітна проникність.

Дотепер відсутня досить коректна оцінка впливу поперечного магнітного поля на кінематичні і динамічні характеристики на початковій ділянці, а також критеріальна оцінка його довжини. В роботі зроблена спроба провести аналіз впливу поперечного магнітного поля на визначення гідродинамічних параметрів потоку на гідродинамічній початковій ділянці.

Дослідженню течії в'язких та аномально-в'язких рідин, які мають електропровідність в поперечному магнітному полі, присвячено цілий ряд робіт [1-3, 5]. Зроблено висновки:

- про вплив магнітного поля на реологічні властивості розглянутих середовищ [4, 5];
- про вплив на структуру вихроутворення [5];
- про вплив на коефіцієнт гідравлічного тертя у поперечному та у поздовжньому електромагнітному полі.

Складені відповідні рівняння руху (1) і дані пропозиції про використання відповідних критеріїв подоби [3], серед яких відзначені магнітне число Рейнольдса та число Гартмана. Магнітне число Рейнольдса відповідно до роботи Бай Ші І [3] представлено як відношення лінійного розміру поля течії  $L$  до характерної довжини  $L_l$ , де

$$L_l = \frac{1}{\sigma_0 \mu_l u},$$

або відношення швидкості течії  $u$  до характерної швидкості  $u_l$ , тобто

$$u_l = \frac{1}{\sigma_0 \mu_l L} = \frac{v_{Ha}}{L}.$$

Критерій Гартмана визначається в такий спосіб

$$Ha = \sqrt{\frac{\sigma_0 \mu_l^2 Ha^2 u}{\mu_0 (u/L^2)}} = \sqrt{\frac{\text{магнітна сила}}{\text{сила в'язкості}}}.$$

У декартовій системі координат рівняння руху потоку в магнітному полі має вигляд

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \left( u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} \right); \\ -\frac{\sigma \bar{H} \bar{B}^2}{c^2} u_x + \frac{\sigma \bar{E}^2(x) \bar{B}}{c} = 0; \\ \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0. \end{array} \right.$$

Сили, що діють на початковій ділянці можна представити, як суму сил в'язкого тертя, сил інерції та масових сил, що мають магнітну природу. Сили, які представлені в рівняннях руху у вигляді  $[\vec{j} \times \vec{B}]$  є масовими й проявляють повну аналогію із силами інерції [2]

$$[\vec{j} \times \vec{B}] = (\text{rot } \vec{B}) \times \vec{B} \frac{1}{\mu} = (\vec{B} \text{grad}) \vec{B} \frac{1}{\mu} - \text{grad } \vec{B}^2 \frac{1}{2\mu}.$$

Це дозволяє використати дане рівняння при розв'язанні задач нестабілізованої течії рідини в магнітному полі для початкової ділянки [1-2, 7].

При формуванні потоку на гідродинамічній початковій ділянці, сили інерції від конвективного прискорення сприяють прискореній течії в каналі [6], а сили, що мають магнітну природу, проявляють гальмуючий ефект, який можна досліджувати при вивченні поведінки електропровідних рідин методом кількох капілярів.

В роботі якості робочих рідин використовувалися електропровідні рідини, реологічні характеристики яких досліджувалися з використанням ротаційного віскозиметра представлені на рис.1. та рис.2.

Як видно із графіків рідини є аномальними та можуть бути розглянуті як рідини, реологічні властивості яких можна описати законом Оствальда де Віля

$$\tau = k \dot{\gamma}^n,$$

де  $\tau$  – дотичне напруження,  $\dot{\gamma}$  – швидкість деформації,  $k$  – міра консистенції,  $n$  – показник ступеня.

Крива, яка описує течію рідини під дією магнітного поля може бути представлена залежністю

$$\tau = A_1 \dot{\gamma}^2 + A_2 \dot{\gamma} + C.$$

Досліди проводилися при ізотермічній течії в капілярах при кімнатній температурі.

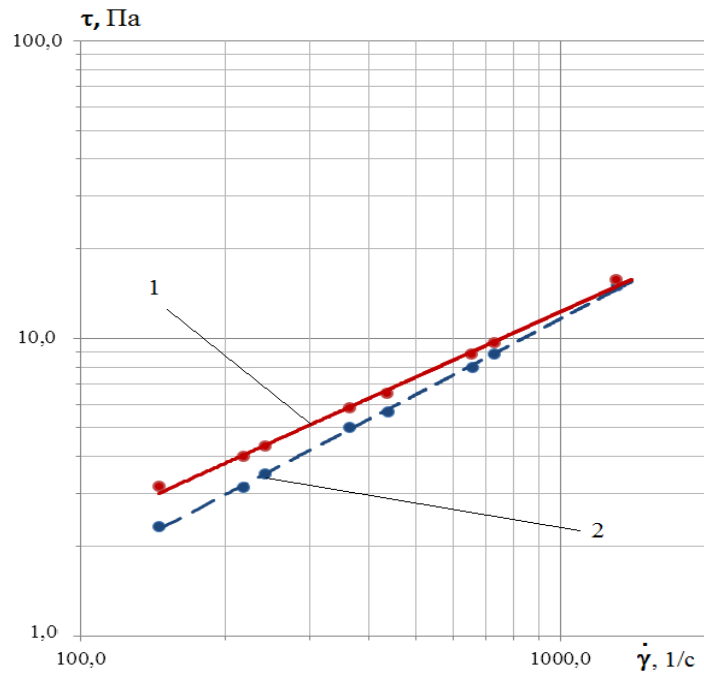


Рис. 1- Реологічна крива: 1- під дією магнітного поля ( $k_1=0,0797$ ;  $n_1=0,7291$ );  
2- без магнітного поля ( $k_2=0,0335$ ;  $n_2=0,8465$ )

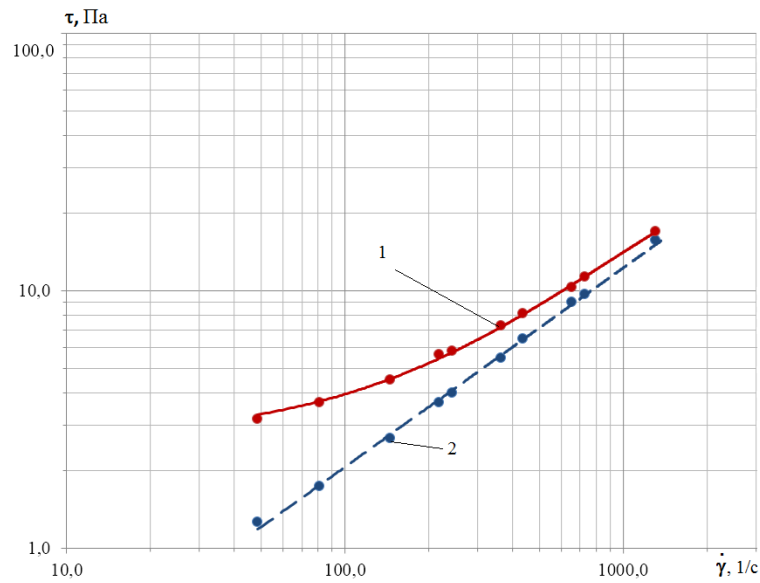


Рис. 2- Реологічна крива: 1- під дією магнітного поля ( $A_1=-2 \cdot 10^{-6}$ ;  $A_2=0,0132$ ;  $C=2,6604$ );  
2- без магнітного поля ( $k_2=0,0585$ ;  $n_2=0,7736$ )

Проведені дослідження показали, що при обраних умовах експерименту спостерігається дестабілізація потоку за рахунок дії поперечного магнітного поля, що сприяє гальмуванню потоку на розглянутій довжині капіляра.

#### Висновки

- проведені експерименти підтвердили, що для розглянутих типів рідини поперечне магнітне поле приводить до гальмування потоку;

- магнітне поле призводить до зміни реологічної характеристики робочих рідин, які біли використані в експериментах;
- показано, що отримані експериментальні дані створюють передумови для розрахунку довжини гідродинамічної початкової ділянки в поперечному магнітному полі при заданих значеннях його інтенсивності як функції числа Рейнольдса й Гартмана, що підтверджують дослідження, представлені в роботі [3].

#### Список використаних джерел

1. Ватажин. А. Б. *Магнитогидродинамические течения в каналах* / А. Б. Ватажин, Г. А. Любимов, С. А. Регирер. – М.: Наука, 1970. – 672 с.
2. Шерклиф Д. *Курс магнитной гидродинамики* / Дж. Шерклиф. – М.: Мир, 1967. – 320 с.
3. Бай Ши-И. *Магнитная газодинамика и динамика плазмы* / Бай Ши-И. – М.: Мир, 1964. – 302 с.
4. Reyes V. G. (Ed.) *Perspectives in Magnetohydrodynamics Research*, Nova Science Publishers, 2011, 142 p.
5. Паллабазер З. *Эффект магнитной пластичности в неньютоновских жидкостях* / З. Паллабазер // Ракетная техника и космонавтика: журнал амер. ин-та аэронавтики и космонавтики, - 1966. - №11. - С. 118-131.
6. Яхно О. М. *Гидродинамический начальный участок* / О. М. Яхно, В. М. Матиега, В. С. Кривошеев. – Черновцы: Зелена Буковина, 2004. – 141 с.
7. Zheng L. (Ed.) *Topics in Magnetohydrodynamics* / L. Zheng // InTech Open, 2012. – 219 p.
8. Biskamp D. *Nonlinear Magnetohydrodynamics* / D. Biskamp // Cambridge University Press, 1997. – 378 p.
9. Брановер Г. Г. *Некоторые результаты измерения турбулентных пульсаций скорости в потоке ртути в присутствии поперечного магнитного поля* / Г. Г. Брановер, Н. М. Слюсарев, Э. В. Щербинин // Магнитная гидродинамика. - 1965. – С.33-36.

УДК 621.438.2

Вансєв С. М., к.т.н., доц., Родимченко Т. С., асп.  
СумДУ, м. Суми, Україна

### ККД СТРУМИННО-РЕАКТИВНОЇ ТУРБИНИ

**Анотація.** В роботі був отриманий коефіцієнт корисної дії для струминно-реактивної турбіни на розрахунковому режимі при тиску на вході в підвідне сопло 2, 4, 6 та 10 МПа при наведеній безрозмірній швидкості (для кожного тиску на вході в підвідне сопло турбіни, наведена безрозмірна швидкість розраховувалася окремо). Досліджений вплив наведеної швидкості на вході в підвідне сопло на коефіцієнт корисної дії турбіни. Отримані графічні залежності коефіцієнта корисної дії турбіни на розрахунковому режимі при тиску на вході в підвідне сопло 2, 4, 6 та 10 МПа при наведеній безрозмірній швидкості, та виявлено, що при збільшенні тиску на вході в підвідне сопло, коефіцієнт корисної дії турбіни збільшується, також оптимум по коефіцієнту корисної дії зміщується в сторону збільшення наведеної колова швидкості робочого колеса.

**Ключові слова:** коефіцієнт корисної дії, струминно-реактивна турбіна, проточна частина, наведена швидкість.

Енергозбереження знаходиться на вершині сталої енергетичної ієрархії. Проблема енергозбереження тісно переплітається з проблемами енергетики, екології, технічного переозброєння та структурної перебудови всієї економіки. Питання енергозбереження та розумного використання енергетичного потенціалу нашої планети завжди було актуальним і першочерговим. Однак зараз, у зв'язку з тим, що багато країн перебувають на межі енергетичної кризи, ця проблема відчувається особливо гостро. І Україна не є винятком. Важливість енергозбереження підтверджується статусом державної політики та державними органами в усіх високорозвинутих країнах (Японія, США, Франція, Німеччина, Велика Британія тощо). Майже всі розвинуті країни світу прийняли відповідні законодавчі акти та створили як загальнодержавні, так і регіональні органи з управління енергозбереженням. Одним із визначальних шляхів вирішення цієї проблеми є утилізація вторинних енергоресурсів. В даний час величезна кількість ексергії стиснутих газів і парів безповоротно