

УДК 532.52

Я.Ф.Карашук, О.Д.Коваль

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Аналіз впливу магнітного поля на реологічні властивості в'язкої рідини

Відомо, що вплив поперечного магнітного поля на течію електропровідної рідини може бути аналогічним впливу сил інерції від конвективного прискорення [1-2, 5]. Роботи Шерклифа та дослідження Брановера [9] свідчать, що пондеромоторні сили, що з'являються в даному випадку так і масові сили інерції, можуть істотно впливати на прискорення або гальмування потоку в каналі, на інтенсивність вихроутворення.

Метою роботи є провести аналіз впливу поперечного магнітного поля на зміну реологічних характеристик робочих рідин, що в свою чергу може вплинути на гідродинамічні параметри потоку на гідродинамічній початковій ділянці.

Відомі рівняння, які описують течію в'язкої рідини на початковій ділянці при наявності магнітного поля [1]

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

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

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

Дослідженню течії в'язких та аномально-в'язких рідин, які мають електропровідність в поперечному магнітному полі, присвячено цілий ряд робіт [1-3, 5] на підставі яких зроблено висновки про вплив магнітного поля на реологічні властивості розглянутого середовища [4, 5] та на коефіцієнт гідравлічного тертя.

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

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

де \vec{F}_{in} – сила інерції, $\vec{F}_{пм}$ – пондеромоторна сила.

Другий доданок, тобто сили електромагнітного походження (пондеромоторні сили) може бути представлений 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, μ^* – магнітна проникність.

Складені відповідні рівняння руху та записані відповідні критерії подоби – 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

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

Сили, що діють на початковій ділянці можна представити, як суму сил в'язкого тертя, сил інерції та масових сил, що мають магнітну природу [2]

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

Таким чином можна вважати, що реологічна поведінка, або в'язкість може суттєво впливати на течію рідини як на початковій ділянці так і вздовж всього капіляра. Досліди проводилися при ізотермічній течії в капілярах при кімнатній температурі.

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

Електропровідні рідини були виготовлені самостійно на основі оливи та гліцерину. Гліцерин було обрано як основу для електропровідної рідини так, як він є ньютонівською рідиною.

Експериментально визначено, що рідини, які використовувались в експерименті, є аномальними та можуть бути розглянуті як рідини, реологічні властивості яких можна описати законом Оствальда де Віля

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

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

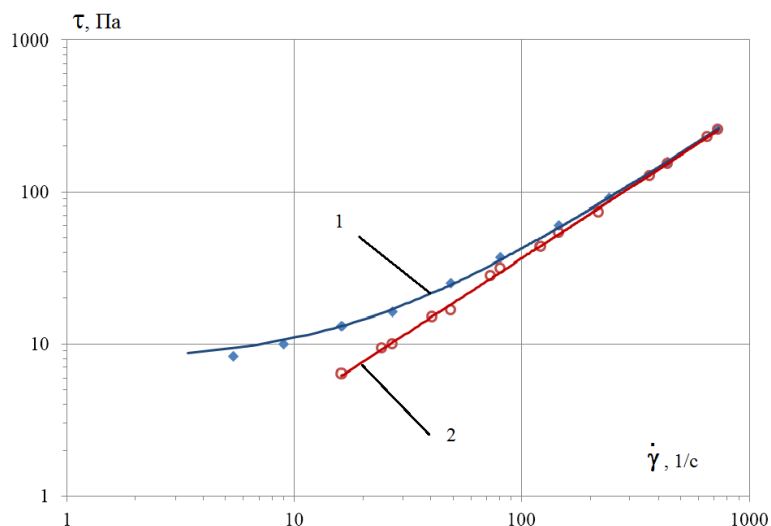


Рис. 1. Реологічна крива на основі оливи: 1- під дією магнітного поля; 2- без магнітного поля ($k=0,4106$; $n=0,9748$)

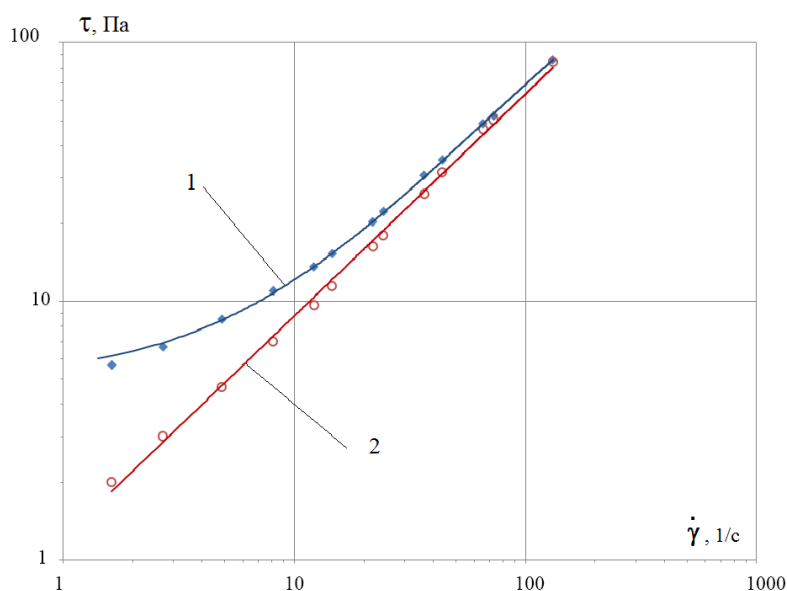


Рис. 2. Реологічна крива рідини на основі гліцерину: 1- під дією магнітного поля; 2- без магнітного поля ($k=0,4679$; $n=0,8991$)

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

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

Висновки:

Магнітне поле призводить до зміни реологічної характеристики робочих рідин, які були використані в експериментах.

Проведені досліди показали, що за наведених умов експерименту спостерігається дестабілізація потоку за рахунок дії поперечного магнітного поля, що сприяє гальмуванню потоку. 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.