

УДК 532.52

Аналіз факторів, що впливають на характеристики потоку на гідродинамічної початковій ділянці

Мамедов А. Н.

аспірант КПІ ім. Ігоря Сікорського

Анотація. У цій роботі розглянуто вплив магнітного поля на гідродинаміку нестабілізованого потоку електропровідної рідини. На підставі теоретичних та експериментальних досліджень зроблено висновок про прояв гальмівного ефекту при течії у полі дії пондеромоторних сил. Запропоновано залежність для визначення довжини гідродинамічної початкової ділянки як функції чисел Рейнольдса та Гартмана.

Ключові слова: гідродинамічна початкова ділянка, магнітне поле, пондеромоторні сили, число Рейнольдса, число Гартмана, в'язкість.

Дослідженням течії на гідродинамічній початковій ділянці присвячено цілу низку робіт [1] - [11]. В основному, ці дослідження присвячені впливу сил інерції від конвективного прискорення на дестабілізацію потоку. Такий вплив пов'язаний з деформацією поля швидкостей, напруг і, як наслідок, нелінійної залежності тиску по довжині потоку. На підставі подібних робіт надано рекомендації щодо розрахунку довжини початкової ділянки, перепаду тиску та поля швидкостей. Разом з тим, при даних дослідженнях недостатня увага приділялася прояву масових сил, які мають немеханічну природу. У розрахунках масові сили зазвичай характеризувалися як стала величина. Разом з тим, розвиток та вдосконалення технологічних процесів викликає необхідність досліджувати масові сили, що мають електромагнітну природу (пондеромоторні сили), акустичну природу та тепловий фактор. Дослідження в цій галузі показали, що дія цих сил можуть призводити до суттєвих змін реологічних та механічних властивостей рідин. Так, наприклад, як показали роботи [12], [13] вплив магнітного поля протягом електропровідної рідини може призводити до змін реологічних властивостей середовища та гальмування потоку. В даному випадку можливий прояв в'язкопластичності в рідкому середовищі та пов'язана з нею зміна гідродинаміки потоку. При прояві акустичного впливу на краплинні рідини, як показали дослідження [14], також можлива зміна в'язкості за рахунок деструкції потоку та зміна гідравлічних втрат енергії. І, нарешті, важливе значення у технологічних процесах відіграє тепловий фактор. Дослідження [8], [14] та інших дали підстави проводити оцінку поряд з гідродинамічною та термічною початковою ділянкою. У всіх описаних випадках одним із найважливіших показників дестабілізації потоку є визначення його довжини, яке залежно від умов перебігу є функцією критеріїв Рейнольдса, Гартмана та Прандтля.

У даній роботі проведено аналіз випадків дестабілізованих течій електропровідних рідин у поперечному магнітному полі. В основу дослідження покладено рівняння руху в магнітному полі, що мають вигляд

$$\begin{cases} \rho \left(u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) = - \frac{dp}{dx} + \mu \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} - \frac{\sigma B_0^2}{c^2} \cdot \frac{\partial u_x}{\partial y} \\ \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

де ρ – щільність рідини, u_x, u_y – швидкість потоку по осях Ox, Oy , p – тиск, μ – динамічна в'язкість, σ – провідність, B_0 – індукція магнітного поля, c – швидкість світла.

На підставі даних рівнянь було отримано рішення щодо визначення поля швидкостей у трьох випадках:

- для випадку гідродинамічної ділянки за відсутності дії магнітного поля;
- стабілізованої течії за наявності магнітного поля (течія Гартмана);
- при стабілізованій течії електропровідної рідини у поперечному магнітному полі.

Для цих випадків були отримані рекомендації щодо розрахунку довжини гідродинамічної початкової ділянки.

У цьому випадку, довжина початкової ділянки – це функція не тільки числа Re , а й числа Ha , тобто, відповідно [2], [5], [9]

$$\mathcal{L}_m = \frac{\mathcal{L}_{IS}}{Ha} = \frac{const \cdot Re \cdot d}{Ha} \quad (2)$$

Аналіз досліджень щодо визначення довжини початкової ділянки в електропровідних рідинах показав, що довжина початкової ділянки може бути визначена за формулою

$$\mathcal{L}_{IS} = c_1 \cdot Re \cdot d + c_2 \cdot Ha \cdot d \quad (3)$$

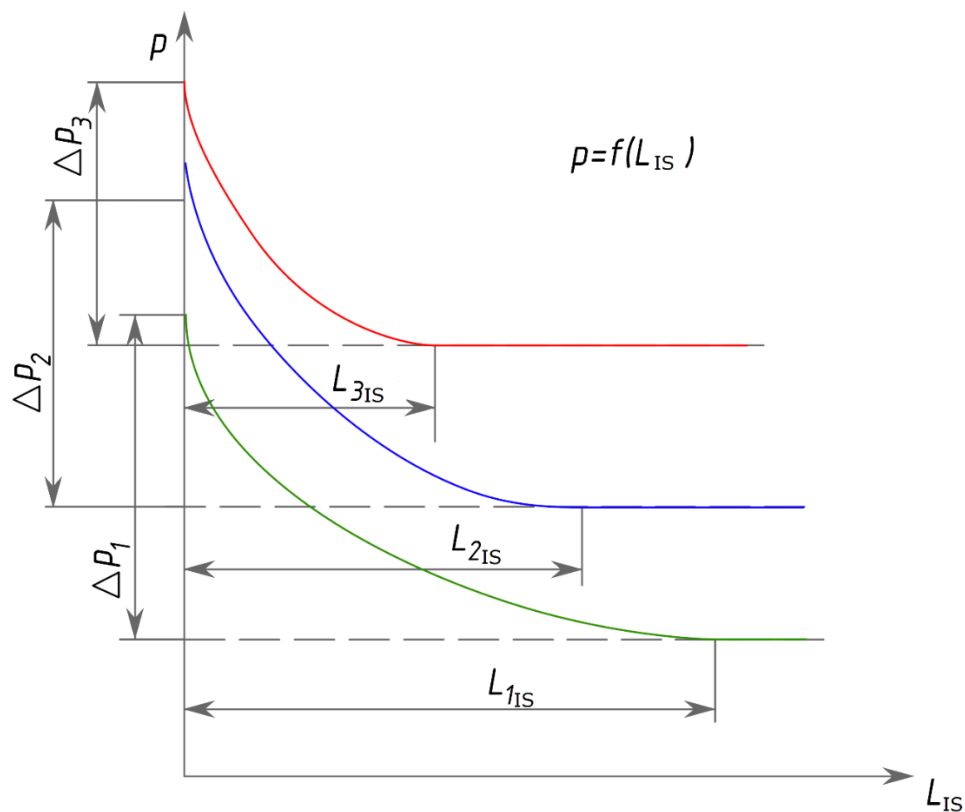
де c_1 і c_2 – константи, одержані експериментальним шляхом.

Для розглядаємого випадку встановлено, що c_1 і c_2 залежать від реологічних властивостей рідини та поперечного магнітного поля. У розглядаємих експериментах c_1 і c_2 мали наступні значення:

$$c_1 = 0,16; c_2 = 3,8. \quad (4)$$

Слід зазначити, що з рідин, описаних законом Оствальда – де Віля, дані константи залежить від індексу течії.

Якісна картина зміни довжини гідродинамічної початкової ділянки як функції числа Ha та числа Re представлена на рисунку 1.

Рисунок 1. Графік залежності $p = f(L_{IS})$

Таким чином, довжина початкової ділянки у магнітному полі є функцією відношення пондеромоторних сил до сил в'язкості.

Список літератури

1. Vatazhin A. B., Lyubimov G. A., Regirer S. A. Magneto hydrodynamic flows in channels, M., Nauka, 1970. 672 p.
2. Shercliff J. A textbook of Magneto hydrodynamics, M., Mir, 1967, 320 p.
3. Rissel M., Ya-Guang Wang Global exact controllability of ideal incompressible magneto hydrodynamic flows through a planar duct, ESAIM Control Optim. Calc. Var. 27 (2021), Paper No.103, 24
4. Yakhno, O., Mamedov, A. and Stas, S., 2019. Influence of transverse magnetic field on flow destabilization in the channel. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units, 0(1), pp.25-29.
5. Pleskacz, Ł.; Fornalik-Wajs, E. Magnetic field impact on the high and low Reynolds number flows. J. Phys. Conf. Ser. 2014, 530
6. Yakhno O. M., Matiega V. M., Kryvosheyev V. S. Hydrodynamic initial section, Chernivtsi, "Zelena Bukovyna", 2004, 141 p.
7. Christiansen E. Laminar entrance region flow, A. J. Ch. E. Journal, 1965, #6, p.11
8. Petukhov B. S. Heat transfer and resistance in laminar fluid flow in pipes, Energiya, M., 1967, 411 P.
9. Pleskacz, Ł.; Fornalik-Wajs, E. Identification of the Structures for Low Reynolds Number Flow in the Strong Magnetic Field. Fluids 2019, 4, 36.
10. Mamedov A. N. Specific of a viscous fluid flow under the action of a transverse magnetic field / A. N. Mamedov, S. V. Stas, Ye. V. Lavrukhin.// ISSN 2521-1943. Mechanics and Advanced Technologies. – 2020. – С. 75–81.
11. Mamedov A., Stas S. Influence of surface roughness of channel on friction coefficient of electrically conducting fluids. Journal of the Technical University of Gabrovo. 2018, vol. 57, pp. 16–19.
12. Kauling T. Magneto hydrodynamics, translation from eng., M., IL, 1959, 132 p.
13. Pallabazzer r. Magneto plastic effect in non-Newtonian fluids. "Raknaya tekhnika i kosmonavtika", 1966, №11
14. Feynman R., Leyton R., Sands. M. The Feynman lectures on physics Volume 4. Kinetics. Heat. Sound. Librokom, 2017, 264 p.