

- 14. Офіційний сайт ТОВ “КрАСЗ”. Режим доступу до сайту: <http://krasz.com.ua>.
- 15. Асоціація автопроизводителей Украины “УкрАвтопром”. Режим доступа к сайту: <http://ukrautoprom.com.ua>.
- 16. Державна служба статистики України. Режим доступу до сайту: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
- 17. Офіційний сайт ТОВ “Yazaki Ukraine”. Режим доступу до сайту: <http://www.yazaki-ukraine.com>.
- 18. Постанова Кабінету Міністрів України від 12 жовтня 2010 року № 933 «Про затвердження Технічного регламенту безпеки машин та устаткування». Режим доступу до сайту: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=933-2010-%EF>.
- 19. Офіційний сайт Європейської Економічної Комісії ООН. ЕЕК ООН. Режим доступу до сайту: <http://www.unece.org/oes/history/history.html>.

УДК 535.62

ГІДРОДИНАМІКА ПЛІВКОВОЇ ТЕЧІЇ НА КОНІЧНІЙ ПОВЕРХНІ

В. А. Пархомчук

Аспірант, асистент
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

Механіко-машинобудівний інститут
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, корп. 1, кімн. 257, м. Київ,
03056

Контактний тел.: (044) 360-74-91, 066-408-41-51
E-mail: parkhomchuk@gala.net

Проведено аналіз гідродинамічних характеристик рідинних плівок, що стікають під дією гравітаційних сил на конічних профільованих поверхнях

Ключові слова: рідинні плівки, профільовані поверхні, конічні поверхні, гідродинаміка

Проведен анализ гидродинамических характеристик жидкостных пленок, стекающих под действием гравитационных сил на конических профилированных поверхностях

Ключевые слова: жидкостные пленки, профилированные поверхности, конические поверхности, гидродинамика

The analysis of hydrodynamic descriptions of liquid films, flowing down under the action of gravitational forces on conical the profiled surfaces is conducted

Keywords: liquid films, profile surfaces, conical surfaces, hydrodynamic

1. Вступ

Вивчення гідродинамічних характеристик плівок, що стікають під дією гравітаційних сил, необхідне для отримання даних, на основі яких можна аргументовано визначити основні розміри плівкових тепломасообмінних апаратів.

Таке вивчення дозволяє також визначити в кожному випадку межі оптимальних навантажень по газу та рідині, гідравлічний опір, час перебування фаз і ряд інших параметрів.

2. Мета роботи

Основною метою даної роботи є аналіз гідродинамічних характеристик плівок, що стікають під дією гравітаційних сил на конічних профільованих поверхнях.

3. Матеріал і результат досліджень

Схема течії ламінарної плівки по конічній поверхні і основні позначення приведені на рис. 1.

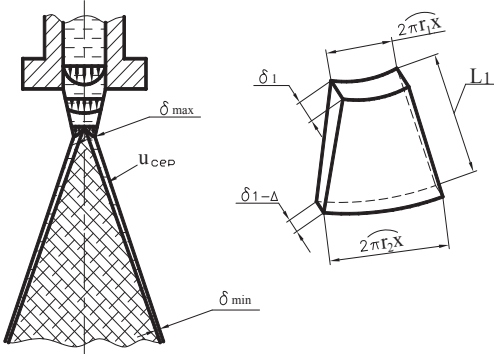


Рис. 1. Схема течії ламінарної плівки на конічній поверхні

Таблиця 2

Безрозмірні комплекси

Назва	Позначення	Формула	Інша назва
Число Рейнольдса	Re	$h_0 \cdot u_0 / \nu = q / \nu$	
Число Рейнольдса	ReH	$4q / \nu$	
Плівкове число	Fi	$\sigma^3 / g\nu^4 \rho^3$	Число Капіци
Модифіковане плівкове число	F	$(Fi / \sin \Theta)^{1/11}$	
Котангенс кута конусності	ctg Θ	ctg Θ	
Безрозмірна довжина пробігу плівки	L	L / h_0	

Нехтуючи впливом зовнішнього газового середовища, а також у відсутності процесів теплоасоєдненосту, можна виокремити сім постійних незалежних розмірних величин, які виписані нижче у вигляді табл. 1.

Питома витрата рідини q додана до числа незалежних констант, оскільки на досвіді ця величина задається. В цей же час такі важливі параметри, як товщина плівки і швидкість рідини в плівці, є залежними константами. Але так як останні величини досить зручні і необхідні при аналізі плівкових течій, то при складанні безрозмірних комплексів в якості масштабів товщини і швидкості використовуються розрахункові значення по ламінарній теорії Nusselt [1916]:

$$h_0 = \left(\frac{3q\nu}{g \sin \Theta} \right)^{1/3}; \tag{1}$$

$$u_0 = q / h_0. \tag{2}$$

Однак треба мати на увазі, що формула (1) придатна для оцінки товщини тільки рівновісної ламінарної або хвильової плівки. В турбулізованій плівці оцінка товщини (1) буде тим грубіша, чим більше число Рейнольдса.

У відповідності з π -теореомою максимальне число визначаючих критеріїв подібності $m = z - i = 7 - 3 = 4$, де z – число незалежних розмірних констант, i – число первинних розмірностей. В якості визначаючих критеріїв доцільно використовувати наступні безрозмірні комплекси (табл. 2). Таким чином, будь-який безрозмірний інтегральний параметр плівки f буде функцією перелічених вище критеріїв подібності - $f = f(Re, Fi, ctg \Theta, L)$. Часто вживають і інші безрозмірні комплекси:

число Фруда $Fr = u_0^2 / gh_0 \cos \Theta = Re / 3ctg \Theta$;

число Галілея $Ga = gh_0^3 \sin \Theta / \nu^2 = 3Re$;

число Вебера $W = \sigma / \rho gh_0^2 \sin \Theta$;

число Вебера $We = \sigma / \rho h_0 u_0^2 = 3W / Re$;

комплекс $Re / Fs^{1/11}$.

У випадках накладених коливань виникає додатковий хвильовий параметр, наприклад безрозмірне хвильове число $k = 2\pi h_0 / \lambda$, де λ – довжина хвилі основної гармоніки.

Таблиця 1

Незалежні константи, що характеризують течію

Назва	Позначення	Розмірність
Кінематична в'язкість	ν	m^2/c
Поверхневе на тяжіння	σ	$кг/c^2$
Щільність	ρ	$кг/m^3$
Прискорення сили тяжіння	g	m/c^2
Об'ємна витрата рідини на одиницю ширини плівки	q	m^2/c
Кут конусності	Θ	рад
Довжина пробігу плівки	L	м

Відмінною рисою плівок є нестійкість течії, що приводить до виникнення нелінійних поверхневих хвиль вже при числах Рейнольдса порядку декількох одиниць.

Візуальні спостереження виявляють велику різноманітність хвильових режимів, починаючи з лінійних двомірних хвиль і закінчуючи сильно нелінійними трьохмірними солітоновидними збуреннями.

В значній мірі цікавість до хвильових плівок обумовлений саме можливістю вивчення хвильових явищ з точки зору загальної теорії хвиль, оскільки плівка є середовищем, в якому проявляються ефекти дисперсії і не лінійності, дисипації і накачки енергії, двомірності і трьохмірності, багатохвильовості і хвильових взаємодій. Пріоритетні дослідження хвильових течій виконані Капицею [1948] і П.Л. Капицею. С.П. Капицею [1949], Brauer [1956], Benjamin [1957].

Головною відмінністю плівкової течії на конічній поверхні є нестабілізованість течії, тобто при вибігові плівки по твірній конуса змінюється змочувальний периметр, що в свою чергу, вносить корекцію на плівкову течію.

Як видно з рис. 2, товщина плівки, число Рейнольдса, середня швидкість мають різні значення по твірній конуса і найбільший вплив на ці параметри має кут конусності, а також форма твірної. На рис. 3 можна спостерігати як на конічній профільованій поверхні чітко виражена хвильова течія плівки переходить в слабовиражену, а потім і в без хвильову течію.

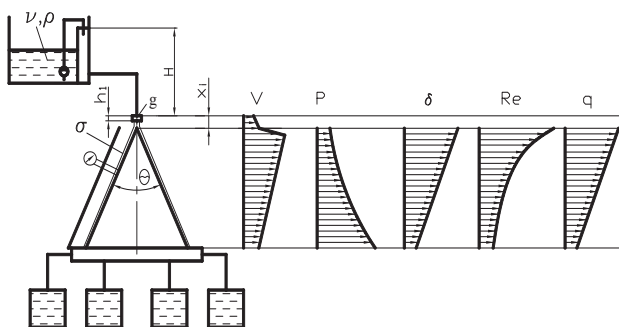


Рис. 2. Схема зміни основних параметрів плівки в залежності від довжини вибігу на конічній поверхні



Рис. 3. Формування плівки на конічній профільованій поверхні

Різноманітність типів хвиль на плівці приводить до того, що пропонуються різні способи класифікації режимів течії. Тому для течії яка формується на плоскій нахиленій поверхні пропонують класифікувати на три режими; ламінарний без хвильовий, ламінарний хвильовий та турбулентний. Однак в випадку з конічною поверхнею можна спостерігати п'ять режимів течії плівки рідини:

- (1) чисто ламінарний
- (2) перший перехідний режим
- (3) стійка хвильова течія
- (4) другий перехідний режим, (спостерігається турбулентний та хвильовий режим течії)
- (5) повністю турбулентна течія.

У випадку води цим режимам відповідають наступні діапазони чисел Re :

- (1) $Re \leq 9,8$;
- (2) $9,8 \leq Re \leq 33$;
- (3) $33 \leq Re \leq 108$;
- (4) $108 \leq Re \leq 970$;
- (5) $Re \geq 970$.

Вимірювання числа Рейнольдса проходили по лінії, яка знаходиться від основи конуса (найбільший діаметр) на відстані $2/3$ довжини твірної. Поверхню від вершини до лінії вимірювання можна назвати гідродинамічною початковою ділянкою. Число Рейнольдса визначалось за формулою:

$$Re = 4Q\rho / \mu P$$

де Q - витрати рідини через розподільний пристрій, m^3/c ; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с; P – змочуваний периметр, м.
 ρ – густина рідини.

У випадку з конічною поверхнею $P = 2\pi r$, тому остаточно число Re можна записати у вигляді;

$$Re = 2Q\rho / \mu \pi r$$

4. Висновок

Складність в дослідженні гідродинаміки потоку на конічних поверхнях полягає в нестабілізованому рухові плівки. В результаті досліджень гідродинаміки плівки на конічній профільованій поверхні було класифіковано режим руху плівки за 5 ознаками: ламінарний, перший перехідний, хвильовий, другий перехідний, турбулентний; визначені числа Re що відповідають цим режимам.

Література

1. Тананайко, Ю. М. Методы расчета и исследования пленочных процессов [Текст] : учеб. / Ю. М. Тананайко, Е. Г. Воронцов; К. : Техника, 1975. - 312 с.
2. Воронцов, Е. Г. Теплообмен в жидкостных пленках [Текст] : учеб. / Е. Г. Воронцов, Ю. М. Тананайко; К. : Техника, 1972. - 196 с.
3. Бувевич, Ю.А. Течение и тепломассообмен в тонкой пленке на волнистой поверхности [Текст] / Ю. А. Бувевич, О. В. Кудымов О.В. // Инж. физ. журн. - 1982. - Т.42, №4. - С. 564-573.
4. Воронцов, Е. Г. Экспериментальное исследование гидродинамики и теплоотдачи орошающей пленки жидкости при ее гравитационном течении по вертикальной поверхности теплообмена [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук. - К., 1967. - 26 с.
5. Коваленко, В.Ф. Гравітаційна течія аномально в'язких рідин по конічних поверхнях [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук : В. Ф. Коваленко; [Нац. Ун-т буд-ва і архіт.]. - К., 2001. - 20 с.
6. Освіта, наука, виробництво: математичне моделювання плівкових течій в'язких та аномально в'язких рідин по конічних поверхнях [Текст]: тез. доп. 61-1 наук.-практ. Конф. КНУБА. - К. : 2000 - с.32.
7. Волны на наклонно стекающей пленке жидкости [Текст]: сб. науч. тр. / Акад. наук СССР, Сиб. отд. - Новосибирск: СО АН СССР, 1980. - С. 64-79.
8. Воронцов, Е. Г. Теплообмен в жидкостных пленках [Текст]: учеб. / Е. Г. Воронцов, Ю. М. Тананайко; К. : Техника, 1975. - 311 с.
9. Коваленко, В. Ф. О некоторых закономерностях течения жидкостных пленок на конических поверхностях [Текст] / В. Ф. Коваленко, Яхно О. М. // Гидравлика и гидротехника. - 1998. - вып. 59. - с.27-32.
10. Алексеенко, А. В. Волнообразование при течении пленки жидкости на вертикальной стенке [Текст] / А. В. Алексеенко, В. Е. Накоряков, Б. Г. Покусаев // Журн. прикл. мех. и техн. физ. - 1979. - № 6. - с. 77-87.
11. Живайкин, Л. Я. О толщине пленки жидкости в аппаратах пленочного типа [Текст] / Л. Я. Живайкин // Химическое машиностроение: Респ. межвед. сб. - 1961. - Вып. 6.- С. 25-29.
12. Крылов, В.С. Теорет. основы хим. технол [Текст]. Т. 3, № 4. К теории волнового движения тонких пленок жидкости : учебное пособие / В. С. Крылов, В. П. Воротилин, В. Г Левич. - 1969.- С. 449-507.
13. Кочин, Н.Е. Теоретическая гидромеханика [Текст]. Ч. 2. : учеб. для ун-тов / Н. Е. Кочин, И. А. Кибель, Н. В Розе. - 4-е изд., испр. и доп. - М. : Физматгиз, 1963 г. - 728 с.