

УДК 536.423.1

ГІДРОДИНАМІКА ПЛІВКОВОЇ ТЕЧІЇ В КАНАЛАХ З ПОВЕРХНЯМИ РІЗНОГО ТИПУ

Д. т. н. В. О. Туз, к. т. н. Н. Л. Лебедь, Я. Є. Трокоз

НТУУ «Київський політехнічний інститут»

Україна, м. Київ

valeriituz56@ gmail.com, nata.lebeddom@ gmail.com, yar_t@ voliacable.com

На основі експериментальних досліджень процесу переходу плівкового гравітаційного руху рідини в струмковий режим, залежно від геометричних характеристик сітчастого покриття, умов адгезійної взаємодії і змочуваності матеріалу, а також від динамічної дії газового потоку, визначена нижня границя робочого діапазону роботи контактних тепломасообмінних апаратів.

Ключові слова: гравітаційний рух плівки рідини, сітчасте покриття, щільність зрошення.

Висока ефективність процесів тепло- і масообміну в контактних апаратах в основному залежить від характеру взаємодії плівки рідини і газу, а також від особливостей поверхні контакту. Необхідною умовою ефективності роботи апарату контактного типу, що має певну гідродинамічну схему, є забезпечення взаємодії потоків в діапазоні зміни їх робочих параметрів, в межах яких реалізується сталий рух плівки рідини.

Істотний вплив на ефективність роботи контактних тепломасообмінних апаратів має гідродинаміка плівкової течії [1, 2]. Стійкість течії плівки рідини досліджувалася різними авторами для гладких поверхонь. Застосування отриманих аналітичних або емпіричних залежностей для характерних режимів плівкової течії по пористим поверхням або по поверхням з сітчастим покриттям не представляється можливим, оскільки на рух плівки по пористих покриттях при щільності зрошення, близькій до мінімальної, істотно впливають капілярні ефекти, що виникають в вічку сітки або в одиночній порі [3, 4].

Гравітаційний рух плівки рідини по вертикальній стінці каналу з сітчастим покриттям має ряд особливостей, які істотно ускладнюють процес і механізм течії плівки. На відміну від гладкої поверхні, де формування плівки визначається фізичними властивостями рідини, змочуваністю поверхні і залежить від балансу сил, що діють на елементарний об'єм плівки, для поверхні з сітчастим покриттям необхідно додатково враховувати капілярні ефекти в вічку сітки.

Для врахування впливу дійсного стану поверхні контакту на процес змочування були проведені дослідження рівноважного крайового кута змочування. Для системи «стінка з сітчастим покриттям – плівка рідини» крайовий кут змочування θ_0 доцільно визначати між стиковою частиною плівки рідини на стінці каналу і тонкою плівкою на дроті сітчастого покриття. В цьому випадку для вимірювання крайових кутів змочування доцільно використовувати метод малої краплі, що розташовується на дроті, з якого виготовлено сітчасте покриття каналу. У цих умовах рівновага досягається швидко, гістерезис виключається, а сила гравітації не впливає на значення крайового кута. Вимірювання крайового кута змочування виконувалось за допомогою мікроскопа ММІ-2.

Отримано експериментальні значення крайових кутів θ_0 при змочуванні різними рідинами (вода, етанол, гас, газовий конденсат) дроту сітчастого покриття, виготовленого з різних матеріалів (латунь Л80, сталь Ст65г, сталь Х18Н10Т, нікель, молібден). Аналіз отриманих результатів показав, що вода має найкращі гідрофільні властивості (крайовий кут змочування змінюється від 53° до 69° в залежності від матеріалу дроту). Відмінності в результатах вимірювань крайових кутів змочування для одних і тих же систем «метал – рідина» виникають із-за методу визначення θ_0 і внаслідок відсутності ідентичності фізико-хімічної і мікрогеометричної поверхні зразків.

Слід зазначити, що деяка розбіжність між експериментальними даними, які отримані різними авторами, може бути викликана тим, що при дослідженні передбачалося використання твердих і гладких

поверхонь. Реальні тіла мають певну шорсткість і мікротріщини, які можуть істотно вплинути на змочуваність елементів каналу контактного апарату. Тому доцільно враховувати чинники, що впливають на змочуваність системи «рідина — тверде тіло».

Необхідною умовою ефективності роботи апарату контактного типу, що має певну гідравлічну схему, є забезпечення взаємодії потоків в діапазоні зміни їх робочих параметрів, в межах яких реалізується сталий рух плівки рідини. Певний практичний інтерес представляє режим течії плівки рідини, який характеризується стабільною товщиною плівки. В цій області домінують сили поверхневого натягу, які утримують плівку в структурі сітчастого покриття. Діапазон зміни товщини плівки для цієї області характеризується початком появи верхньої частини дроту в місці їх переплетення і товщиною плівки в центрі меніска, утвореного рідиною між дротами вічка сітки.

Дослідження показали, що зміна щільності зрошування в діапазоні, коли плівка знаходиться в межах сітчастого покриття, не призводить до значної зміни товщини і середньої швидкості руху плівки рідини. Безрозмірна товщина плівки ($\delta^* = \delta / \sqrt[3]{(v^2/g)}$) в даній області визначається залежністю

$$\delta_{II}^* = 147,68 \cdot Fr^{0,27} \cdot Vo^{0,5} \cdot (1 - \cos \theta),$$

де Fr — число Фруда, визначається як $Fr = Q_m / [\delta \cdot (g \cdot \delta)^{0,5}]$; Vo — число Бонда, $Vo = d / \sqrt{\sigma / (g(\rho_p - \rho_r))}$; Q_m — об'ємна щільність зрошування; δ — середня товщина плівки; g — прискорення вільного падіння; σ, ρ, θ — відповідно, сила поверхневого натягу, густина та крайовий кут змочування.

Характерним проявом капілярних ефектів у вічку сітки є режими течії, близькі до мінімальної щільності зрошення. Особливістю цих режимів є нестійка течія гравітаційної плівки, і при досягненні мінімальної щільності зрошення відбувається її розрив з утворенням сухих плям. Використання різного типорозміру сіток дозволило зменшити значення мінімальної щільності зрошення від 5 до 20%. Безрозмірна товщина плівки в даній області визначається залежністю

$$\delta_{IV_{min}}^* = 19,655 \cdot Fr^{0,17} \cdot Vo^{0,5} \cdot (1 - \cos \theta).$$

Таким чином, на основі експериментальних досліджень процесу переходу плівкового гравітаційного руху рідини в струмковий режим можна зробити висновки, що наявність складного вихрового руху в елементарному вічку сіткового покриття, фокусує точок і ліній стоків призводить до більш раннього порушення суцільності течії, що супроводжується розривом плівки і переходом в струмкову течію. В результаті узагальнення експериментальних даних були отримані залежності, які дозволяють визначити товщину плівки рідини для різних значень швидкості газового потоку, витрати рідини і геометричних характеристик сітчастого покриття.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Безродный М. К., Пиоро И. Л., Костюк Т. О. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах.— Киев: Факт, 2003.
2. Нигматулин Р. И. Динамика многофазных сред. Часть II.— Москва: Наука, 1987.
3. Дикий М. О., Туз В. О., Кузьменко І. М., Лебедь Н. Л. Гідродинаміка плівки на сітчастій структурі // Промышленная теплотехника.— 2005.— Т. 27, № 4.— С. 23–26.
4. Безродный М. К., Письменный Е. Н., Туз В. Е., Лебедь Н. Л. Экспериментальное исследование гидродинамики пленочного течения в каналах с сеточным покрытием // Промышленная теплотехника.— 2009.— Т. 31, № 7. — С. 139—143.

V. E. Tuz, N. L. Lebed, Y. E. Trokoz

Hydrodynamics of the film flow in the channels with surfaces of different types.

The paper presents lower limit for the working range of contact heat-exchange apparatus, determined on the basis of experimental investigation of the process of film gravitational liquid flow transfer to the crevice mode, depending on geometric characteristics of the mesh coating, conditions of adhesive interaction and material wettability, as well as dynamic effects of the gas flow.

Keywords: *gravitational movement of the liquid film, mesh coating, irrigation density.*