

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РІДИННИХ ПЛІВОК НА ПРОФІЛЬОВАНИХ ПОВЕРХНЯХ

О.М.Яхно, доктор технічних наук, професор

В.А.Пархомчук, студент

Д.Н.Кашуба, студент

*Національний технічний університет України "Київський
політехнічний інститут"*

*Розглянуто стенд для вивчення перебігу рідинної плівки по
профільованих поверхнях. Представлено результати дослідження
стікаючої плівки рідини по конічній поверхні*

Вступ

Одним з найбільш ефективних методів інтенсифікації процесів тепло- і масообміну є проведення їх в тонких рідинних шарах (плівках). Течія плівок може бути викликана гравітаційними силами, силами поверхневого тертя, центробіжними, вібраційними силами або сумісною дією цих сил.

Вивченню гідродинамічних особливостей течій, в яких рух забезпечується за рахунок сил гравітації, присвячений цілий ряд робіт з області хімічних технологій, тепло- і масообмінної апаратури, пристроїв для очистки газу і рідини тощо. Багатьма авторами, такими як Шульман З.П., Воронцов Є.Г., Тананайко Ю.М., Колмогоров В.Л. та ін., досліджені течії на циліндричних, плоских, вертикальних і нахилених поверхнях в зв'язку з рішенням проблем розчинення газу в рідині, інтенсифікації тепло- і масообміну, прискорення хімічних реакцій, отримання високоякісних захисних покриттів тощо. Без плівкових течій неможливо собі уявити проектування ряду типів реакторів, пристроїв для охолодження багатьох апаратів хімічної і авіаційної промисловості, установок для опріснення морської води і випарювання розчинів. Широка різноманітність областей застосування рідинних плівок, гравітаційно стікаючих по поверхнях, визначило не тільки сфери їх використання, але й типи поверхонь, що доцільно використовувати в залежності від тих або інших технологічних задач. Як показано в ряді робіт, плівкова течія залежно від типів і конструкцій розподільчого пристрою, поверхонь, по яким організується течія, може бути стабілізованою і нестабілізованою. В цих випадках відмінною особливістю такого потоку від інших типів є те, що рух відбувається в полі дії масових сил, сил в'язкого тертя, поверхневих сил і, якщо рух нестабілізований, сил інерції. В залежності від степені вияву цих сил на вільній поверхні рідини і поверхні, по якій стікає плівка, визначаються найважливіші характеристики даної течії, такі як товщина рідинної плівки і щільність зрошення.

Переваги плівкових течій

В ряді досліджень достатньо переконливо показано, які переваги можуть мати плівкові потоки у порівнянні з напірними (наприклад, в трубах). Такі переваги можна звести до наступних:

- більш інтенсивна тепловіддача від стінки до рідини (коефіцієнт тепловіддачі в плівці вищий ніж у трубі в 2,2 рази);
- більш висока поверхня контакту, що призводить до росту коефіцієнтів тепло- і масопередачі;
- при плівковій течії спостерігається постійна температура кипіння по висоті плівки в зв'язку з постійним тиском вздовж потоку;
- в плівкових потоках можна досягти більш високих ефектів по тепло- і масообміну при значно менших витратах рідини.

Дані переваги є причиною економічності і ефективності плівкових апаратів у порівнянні з апаратами, де робочими ділянками є напірні трубопроводи. І, нарешті, підвищення ступеня ефективності роботи таких апаратів залежить також від вдалого і науково обгрунтованого вибору форми і типорозмірів поверхонь, на яких формується рідинна плівка. В більшості випадків робочі поверхні таких апаратів є плоскими або циліндричними. На рис. 1 представлені приклади робочих елементів апаратів для хімічної і харчової промисловості, теплообміну, які використовуються в скруберах, випарних та інших плівкових апаратах. Разом з тим інтенсифікація тепломасообмінних процесів ставить задачі у створенні пристроїв з криволінійними і конічними поверхнями. Нажаль течія по таким поверхням досить мало вивчалась.

З метою дослідження товщини плівки на конічній поверхні, визначення різних характеристик плівкової течії був створений спеціальний стенд. Поставлені завдання досліджень визначили конструкцію стенда. Він був виконаний за схемою замкнутого типу (рис. 2). Робоча рідина з резервуара б по всмоктувальному трубопроводу надходила у відцентровий насос 5 і далі подавалася в бак 8. З ємності через розподільний пристрій 2 рідина попадає на поверхню конуса 1 і гравітаційно стікає в секційний збірник 13, звідки попадає в прийомний резервуар 6. Регулювання витрати рідини здійснюється за допомогою зміни числа обертів двигуна постійного струму насоса й кульовим краном на напірному патрубку насоса. Для виміру тиску перед розподільним пристроєм використовувався п'єзометр 9 або зразковий манометр.

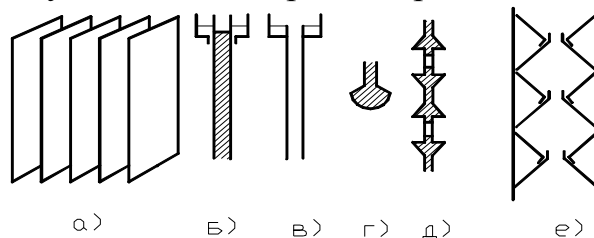


Рис. 1. Форма робочих елементів плівкових апаратів:
а – плоскопаралельна насадка; б, в – циліндрична поверхня;
г, д, е – конічна поверхня

Стенд

Розподільний пристрій являє собою змінний конічний або циліндричний насадок, який вкручується у металеву плиту. Для досліджень були виготовлені насадки з різними кутами конусності й з різною довжиною. Регулювання зазору між насадком і конусом здійснюється за допомогою підвіски. Поворот гайки 11 на 360° відповідав вертикальному переміщенню плити на 1 мм. Зазор між насадком і конусом визначався шляхом опускання або піднімання плити 14. Плита була закріплена на трьох опорах за допомогою щупів. Горизонтальність положення плити контролювалася поплавковим рівнем 4.

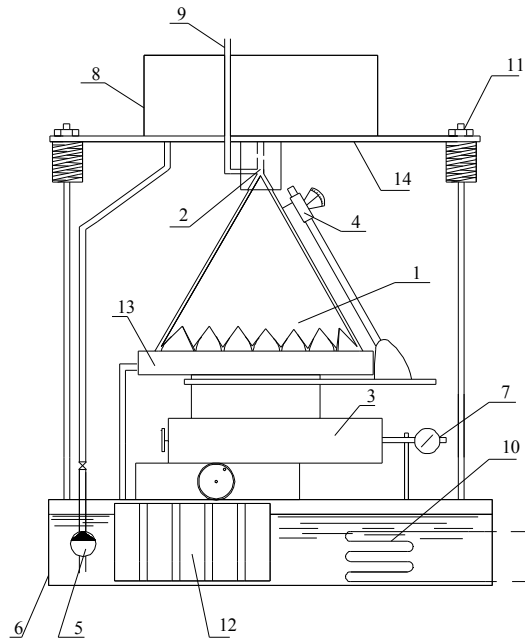


Рис. 2. Схема експериментального стенда: 1 - конус, 2 - розподільний пристрій, 3 - координатний стіл, 4 - електроконтактний вимірник товщини плівки, 5 - насос, 6 - прийомний резервуар, 7 - вартовий індикатор, 8 - бак, 9 - п'єзометр, 10 - теплообмінник, 11 - регульовальна гайка, 12 - батарея мірних циліндрів, 13 - секційний збірник, 14 - плита, 15 - пелюстки

Товщина плівки визначалася електроконтактним датчиком 4, що мав вільне переміщення уздовж напрямного конуса й навколо його осі. При включенні датчика приводний механізм починав переміщати щуп-електрод у напрямку до плівки рідини. У момент дотику щупа до плівки рідини замикався електричний ланцюг і включався реверс приводного механізму. Відлік визначався візуально по шкалі. Датчик градуювався перед і після закінчення серії дослідів. Точність виміру товщини плівки становила 0,05 мм. Товщина плівки визначалася уздовж утворюючого конуса із кроком 5 мм. Температура робочого розчину визначалася за допомогою ртутного термометра з точністю 0,1 °С.

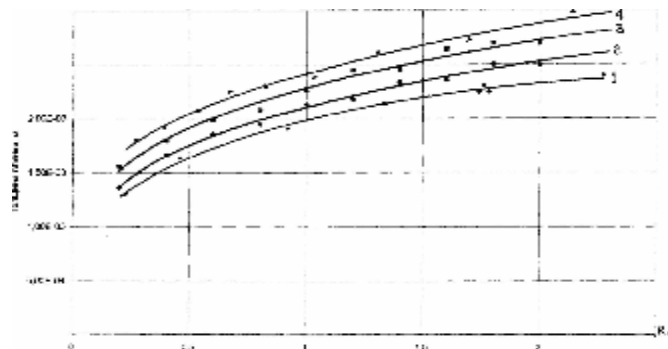
У такий спосіб на експериментальному стенді представлялася можливість визначати товщину плівки, щільність зрошення, витрату через розподільний пристрій, реологічні характеристики робочих рідин.

Але з метою інтенсифікації процесу тепло- і масообміну, більш ефективнішим може бути використання профільованої поверхні, що дає можливість збільшення площі контакту.

Проведення експерименту дало можливість побудувати наступні графіки і визначити такі залежності.

Як відомо, для отримання основних характеристик плівкових течій, необхідних при проектуванні відповідного обладнання, необхідно знати товщину плівки і щільність зрошення. Якщо в результаті експериментів вдається знайти залежність між цими величинами і оцінити вплив реологічних властивостей рідини на них, то це дає можливість з достатньою точністю описати плівкову течію. В даному експерименті товщина плівки визначалася в різних перерізах потоку по довжині конічної поверхні, змінювалася степінь шорсткості і кут конусності (кут змінювався в границях від 32° до 44°).

На рис. 3 показано отримані залежності товщини плівки δ від числа Рейнольда Re при обтіканні конічної поверхні з кутами конусності (32° , 36° , 40° , 42°). Характер зміни товщини плівки для неньютонівських рідин на конічній поверхні подібний зміні товщини плівки на плоскій поверхні для води і носить нелінійний характер. Степінь нелінійності визначається величиною кута конусності поверхні, а, відповідно, і ступенем зміни її кривизни.



**Рис. 3. Зміна товщини плівки в залежності від чисел Рейнольда на конічній поверхні з кутами конусності:
1 – 32° , 2 – 36° , 3 – 40° , 4 – 44° .**

На рис. 4 представлений графік зміни δ по довжині конуса при обтіканні водяного розчину ПВС з реологічними константами $\kappa = 0,121$ і $n = 1,011$. Як видно з графіку, товщина плівки навколо твірної конуса залежить від ряду факторів і реологічних властивостей рідини, кутів конусності поверхні, геометричних розмірів розподільного пристрою. Зі збільшенням кута конусності степінь не лінійності залежності $\delta = f(x)$ зменшується.

С.С.Гримлеєм було виявлено, що вплив кривизни поверхні зв'язано з виникненням додаткового капілярного ефекту. Показником такого впливу може служити відношення товщини плівки до радіусу поверхні, де воно визначається, тобто величини δ / R . В нашому випадку кут конусності

змінюється по висоті навколо твірної, то кривизна конічної поверхні є величиною змінною, причому такою, що найбільша кривизна у вершині (рис. 5).

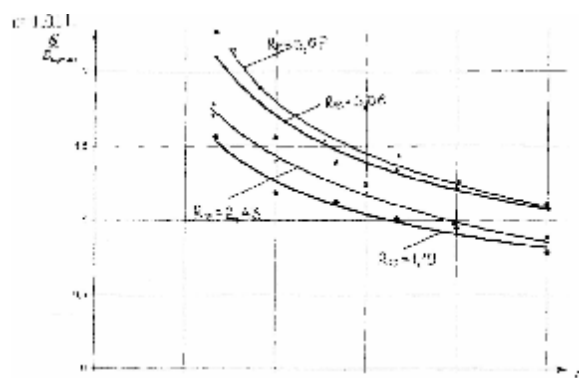


Рис. 4. Залежність відносної товщини плівки $\delta/s_{\text{цилінди}}$ від відносної довжини $l/s_{\text{цилінди}}$ для ряду значень числа Рейнольдса

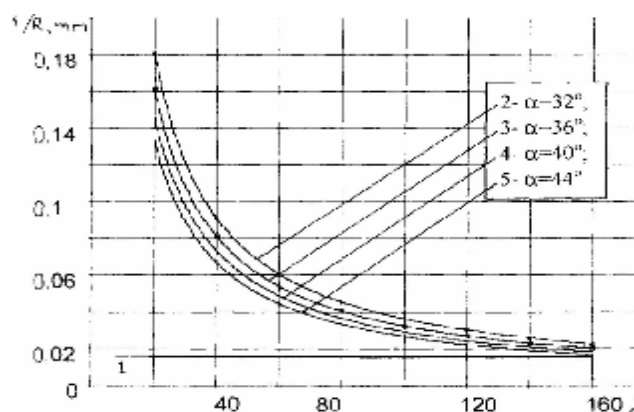


Рис. 5. Зміна кривизни поверхні вздовж твірної для циліндричної поверхні – 1 і для конічних поверхонь – 2, 3, 4, 5

В відповідності з цим змінюється і товщина плівки (рис. 6).

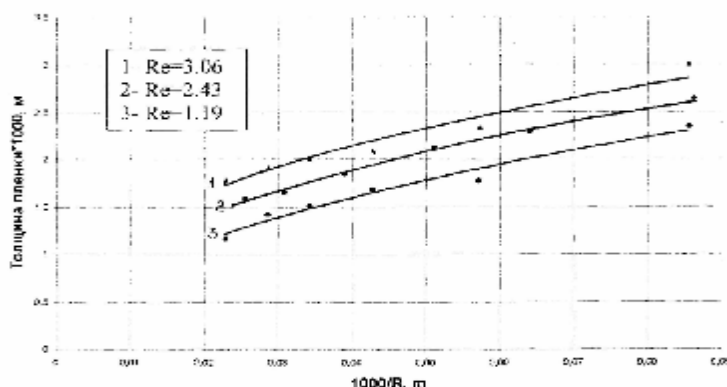


Рис. 6. Зміна товщини плівки в залежності від кривизни поверхні вздовж твірної конусу при ряду чисел Рейнольдса

Даний графік показує степінь впливу зміни кривизни поверхні по довжині твірної конуса на δ . З даного графіка можна зробити оцінку впливу на товщину плівки числа Re .

В результаті експерименту не вдалося знайти зону на конусній поверхні, в якій $\delta_{кр}$ не змінювалось по твірній конуса. Це пояснюється впливом кривизни поверхні, що змінюється по довжині потоку, яка в свою чергу сприяє дестабілізації течії, тобто вказує про те, що поряд з силами в'язкого тертя, поверхневого натягу і гравітаційними, великий вплив на потік здійснюють сили інерції від конвективного прискорення.

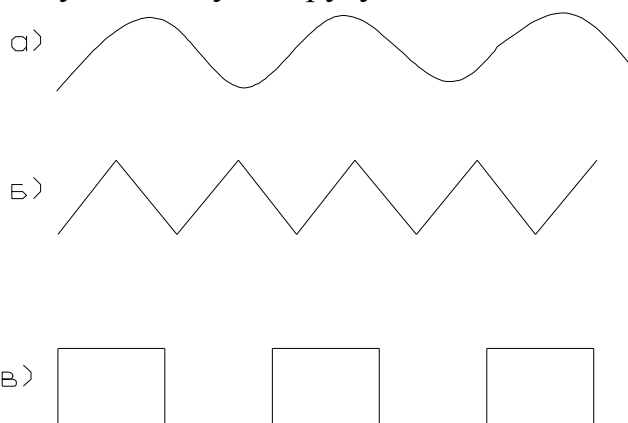
Висновки

На основі представлених результатів експериментальних досліджень отримані графічні залежності, що характеризують щільність зрошення і то-

вщину плівки як функцію узагальненого числа Рейнольдса і геометричних особливостей поверхні, що розглядається.

Проведено співставлення результатів досліджень на конічній поверхні і існуючих аналітичних залежностей для розрахунку товщини плівки і щільності зрошення на плоских і циліндричних поверхнях. Визначена степінь розбіжності пов'язана з тим, що на конічній поверхні відбувається зміна її кривизни по довжині, а також з тим, що використані формули придатні для ньютонівських рідин, а розглядались неньютонівські рідини.

На сьогоднішній день на даній установці проводяться дослідження на профільованих поверхнях. Ці поверхні отримані шляхом формування на поверхні конусу циклічних гофрів різної форми. Отримані поверхні можна утворити рухом однієї з кривих, які показані на рис. 7, і які переміщуються в просторі так, що при цьому постійно проходять через нерухому точку і перетинають віддалену площину по колу.



**Рис. 7. Криві, якими утворюються профільовані поверхні:
а - синусоїда, б і в – інші циклічні криві.**

Очікуваним результатом досліджень є підвищення процесу теплома-сообміну на криволінійних поверхнях, що призведе до зменшення габаритів плівкових апаратів, водночас при збільшенні площі контакту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тананайко Ю.М., Воронцов Е.Г. Методы расчета и исследования пленочных процессов. – К.: Техника, 1975. – 312 с.
2. Воронцов Е.Г., Тананайко Ю.М. Теплообмен в жидкостных плёнках. – К.: Техника, 1972.
3. Бувевич Ю.А., Кудымов О.В. Течение и теплообмен в тонкой пленке на волнистой поверхности // 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: Автореф. дис. канд. техн. наук. – К.: 1967. – 26 с.
5. Коваленко В.Ф. Гравитационное течение аномально вязких жидкостей по коническим поверхностям. Автореф. дис. канд. техн. наук. – К.: 2001. – 30с.

6. Коваленко В.Ф. Математичне моделювання плівкових течій в'язких та аномально в'язких рідин по кінчних поверхнях // Тези доповідей 61-1 науково-практичної конференції КНУБА. - К.: - 2000. - с.32.
7. Накоряков В.Е., Алексеенко С.В. Волны на наклонно стекающей пленке жидкости // Волновые процессы в двухфазных средах. – Новосибирск: СО АН СССР, 1980. – С. 64-79.
8. Воронцов Е.Г., Тананайко Ю.М. Теплообмен в жидкостных пленках. – К.: Техника, 1975. – 311 с.
9. Коваленко В.Ф., Яхно О.М. О некоторых закономерностях течения жидкостных пленок на конических поверхностях // Гидравлика и гидротехника. - К.: - 1998. - вып. 59. - С.27-32.
10. Алексеенко А.В., Накоряков В.Е., Покусаев Б.Г. Волнообразование при течи пленки жидкости на вертикальной стенке // Журн. прикл. мех. и техн. физ. – 1979. – № 6. С. 77-87.
11. Живайкин Л.Я. О толщине пленки жидкости в аппаратах пленочного типа // Химическое машиностроение: Респ. межвед. сб.– К.: 1961.– Вып. 6. – С. 25-29.
12. Крылов В.С., Воротилин В.П., Левйч В.Г. К теории волнового движения тонких пленок жидкости // Теорет. основы хим. технол. – 1969. – Т. 3, № 4. – С. 449-507.
13. Накоряков В.Е., Алексеенко С.В. Волны на наклонно стекающей пленке жидкости / В кн.: Волновые процессы в двухфазных средах.– Новосибирск: СО АН СССР, 1980. – С. 64-79.
14. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч. II, М., Физматгиз, 1963. – 728 с.