

УДК 539.234:66.001

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ ТА ТЕПЛООБМІНУ В РОТОРНО-ПЛІВКОВОМУ АПАРАТІ З ШАРНІРНИМ КРІПЛЕННЯМ ЛОПАТЕЙ ПРИ ЗМІНІ АГРЕГАТНОГО СТАНУ РІДИНИ

Безушко Н.А., магістрант, Зубрій О.Г., к.т.н., доцент
Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ

Проведен аналіз сучасних тенденцій використання роторно-плівкових апаратів. Описана установка РПВПК.

The analysis of modern tendencies of the use of rotor type film apparatus is conducted. Setting of RPVPK is described.

Ключові слова: роторно-плівковий апарат, плівкова течія, мінімальна щільність зрошення.

Плівкові процеси отримали поширення в хімічній, харчовій, паперовій технології, з успіхом застосовуються в технології хіміко-фармацевтичних речовин, в біотехнології. Проведення процесів тепло- та масообміну в плівкових апаратах само по собі сприяє інтенсифікації цих процесів за рахунок підсиленої турбулізації тонкого шару рідини. Додаткова турбулізація стікаючої плівки найчастіше здійснюється механічним шляхом. Питання генерування плівки значно спрощуються при використанні роторних апаратів, в яких розподілення рідини відбувається спеціальними пристроями. Найбільш зручний метод впливу на плівку – перемішування її лопатями, що обертаються. Роторно-плівкові апарати відрізняються високою інтенсивністю тепловіддачі мають відносно невеликий гідравлічний опір [1,2].

Роторні випарні апарати рекомендується застосовувати для процесів глибокого концентрування та дистиляції харчових продуктів в якості самостійних технологічних апаратів або ж в комплекті з апаратами інших типів.

Відповідно до виконання корпусу роторні випарні апарати поділяються на апарати з вертикальним, горизонтальним та комбінованим корпусом. За формою корпусу розрізняють апарати з циліндричним, конічним, ступеневим циліндричним корпусом, з конічною та циліндричною частинами корпусу.

В залежності від типу ротора апарати поділяються на:

- апарати з жорстко закріпленими лопатями (жорстким ротором) ;
- з рухомо закріпленими лопатями ;
- з комбінованим кріпленням лопатей.

Незважаючи на складність конструкції і відносно невелику площу поверхні теплообміну (до 21 м²) роторно-плівкові апарати в порівнянні з випарниками інших типів мають ряд переваг. До них відносять невеликий час перебування рідини в робочій зоні, що особливо важливо при переробці термолабільних продуктів; знижене піноутворення при випаровуванні речовин, що значно піняться; можливість випарування в'язких рідин і отримання готового продукту у вигляді сухого порошку, відсутність застійних зон[1].

Проводячи аналіз останніх досліджень та публікацій було встановлено, що при проектуванні плівкових апаратів стикаються з необхідністю створення рівномірного розподілу рідинного шару по периметру. При розриві рідинної плівки різко знижується інтенсивність теплообміну, тому однією з головних задач є створення надійних розподільчих пристроїв, забезпечення нерозривності потоку по всій поверхні теплообміну. Найбільш поширений метод впливу на плівку — перемішування її обертаючимися лопатями в роторних апаратах. Інтенсивність теплообміну в роторних апаратах залежить від величини теплового навантаження, щільності зрошення та швидкості обертання ротора [3]. Відмічається, що значення мінімальної щільності зрошення залежить від того, поступає рідина на суху поверхню стінки або на попередньо змочену. Це явище пояснюється гістерезисом крайового кута змочування [4].

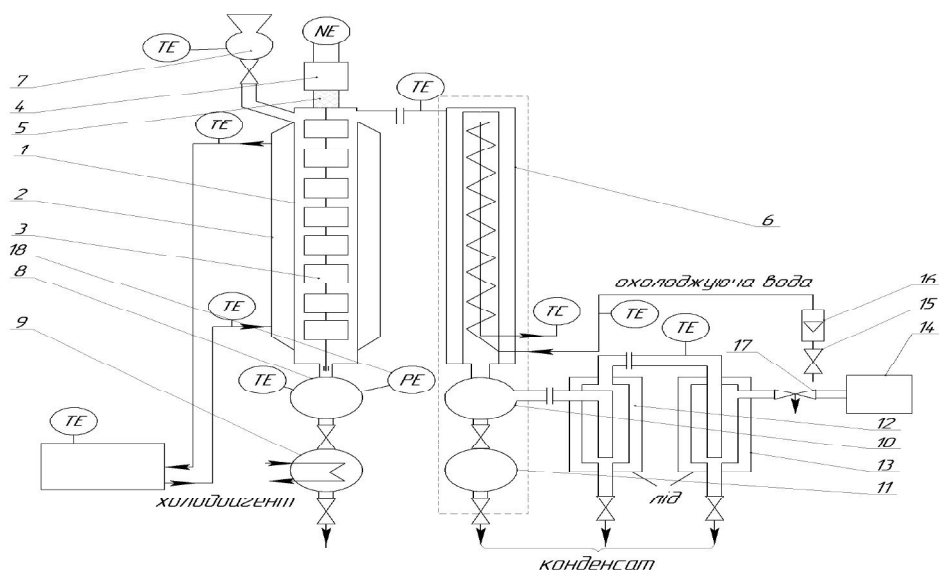
Аналіз робіт з гідродинаміки та теплообміну в РПА [1 – 6] показує, що теоретичне вивчення цієї задачі досить складне. Процеси гідродинаміки, тепло- і масообміну в роторних апаратах мають складний характер – на гравітаційну течію плівки накладається дія лопатей ротора, які з одного боку, розподіляють плівку рідини по поверхні нагріву, а з іншого – викликають її додаткову інтенсивну турбулізацію. Внаслідок цього надійні розрахункові залежності здебільшого отримують в результаті експериментальних досліджень та їх узагальнення. На сьогоднішній день кількість дослідів, що проведені для вивчення

гідродинаміки, тепло- та масообміну в плівках, недостатні і не дозволяють провести необхідні розрахунки для кожного окремого випадку.

Відповідно до вищезазначеного в подальшій роботі ставляться наступні мета і завдання досліджень: теоретичне обґрунтування та експериментальне дослідження процесу гідродинаміки та теплообміну в роторному плівковому апараті з шарнірним кріпленням лопатей.

Для експериментального дослідження використовується установка РПВПК. Особливістю установки є її антикорозійне стерильне виготовлення. Основне апаратурне оформлення виконане з хімічного лабораторного термостійкого скла. Комунікації, по яких рухається продукт, виконані або з вищезгаданого матеріалу, або з фторопластових трубок. Лопатки ротора закріплені шарнірно і виготовлені з фторопласту марки Ф4.

Установка (рис.1) складається з наступних основних вузлів: роторний плівковий апарат (поз.1) з оболонкою (поз.2); шарнірний ротор (поз.3); привод (поз.4); торцеве ущільнення (поз.5); змієвиковий конденсатор (поз.6).



- 1 – роторно плівковий апарат; 2 – оболонка; 3 – ротор з шарнірним кріпленням лопатей; 4 – привод;
 5 – торцеве зусилля; 6 – змієвиковий конденсатор; 7 – напірна посудина; 8, 10 – приймальна колба;
 9, 11 – зливна колба; 12, 13 – пастки; 14 – вакуум-насос; 15, 17 – регулюючий вентиль;
 16 – ротаметр; 18 – вакуумметр

Рис. 1 – Схема роторно-плівкової установки

В роботі буде проведено ряд дослідів і експериментально визначено вплив основних факторів на мінімальну щільність зрошення в роторному плівковому апараті з шарнірним кріпленням лопатей. Досліди проводитимуться в роторно-плівковому апараті з поверхнею теплообміну — 0,1 м². Прозора оболонка та корпус апарата дозволяє фіксувати Γ_{min} візуально. Робочою рідиною буде вода. Досліди виконуватимуться в такій послідовності. В оболонку апарата насосом подаватиметься теплоносій з температурою, більшою ніж температура продукту на вході апарату (20 – 100 °С). З двухвентильного живильника з напорною посудиною рідина подаватиметься в апарат в кількості, достатній для повного зрошення поверхні. Протягом дослідів температура теплоносія на вході в оболонку (35 – 65 °С) та швидкість обертання ротора (0...700 об/хв) підтримуватимуться постійними. Регулюючим вентилем поступово зменшуватимуться витрати води в оболонці та корпусі апарату. При появі сухих плям фіксуватимуться витрати рідини, швидкість обертання ротора та температура. Витрати рідини визначатимуться об'ємним методом. Величина мінімальної щільності зрошення визначатиметься при різних швидкостях обертання ротора, які фіксуватимуться тахометром.

Мінімальна густина зрошення займає особливе місце у питаннях дослідження, проектування і експлуатації плівкових апаратів. Під цією величиною розуміють, те найменше значення густини зрошення, при якому рідина повністю змочує поверхню апарату. Зниження густини зрошення менше Γ_{min} призводить до руйнування плівки – утворення сухих плям, течії рідини у вигляді окремих потоків. Мінімальна

густина зрошення добре досліджена для апаратів з гравітаційною течією плівки і недостатньо для роторних плівкових апаратів.

При наявності зазору між стінкою корпусу і краєм лопаті за останньою утворюється плівка рідини товщиною δ . Формування плівки визначається умовами руху рідини через щільний зазор, а отже від реологічних властивостей рідини, а також від поперечного перерізу самого зазору. [4]

В роторно-плівковому апараті з шарнірним кріпленням лопатей тепловіддача від рідини, яка переміщується до стінки апарата залежить також від роботи лопатей. Загальна потужність, яку необхідно підвести до валу ротора є сумою складових потужностей:

- потужність, яка витрачається на передачу кінетичної енергії початкового обертання рідини;
- потужність, яка йде на перемішування рідини лопатями ротора;
- потужність, яка втрачається на ущільнення і опорах валу.

При розрахунках біотехнологічних апаратів найбільше практичне значення має на кінцевому етапі трьох характеристик процесів, яких протікають: втрата тиску потоку, яких рухається; кількості тепло-ти, що передається до стінки апарату та кількості речовини, яка переходить з однієї фази в другу.

Виходячи з універсального профілю швидкостей в пристінковому шарі на твердій стінці, у відповідності з трьохшаровою моделлю Кармана можна отримати наступні залежності для турбулентних в'язкостей рідини:

$$\frac{v_{тур}}{\nu} = 0 \text{ при } \eta < 5$$

$$\frac{v_{тур}}{\nu} = \frac{\eta}{5} - 1 \text{ при } 5 \leq \eta \leq 30$$

$$\frac{v_{тур}}{\nu} = \frac{\eta}{25} - 1 \text{ при } \eta > 30,$$

де $\eta = \frac{u \cdot y}{\nu}$ - безрозмірна відстань від стінки, u - локальна швидкість потоку на відстані y від стінки, ν - турбулентна в'язкість, ν - в'язкість рідини при заданій температурі.

Висновки: результати, які будуть отримані можуть бути використані для подальшого дослідження плівкової течії при неізотермічному русі рідини, а також при проектуванні та розрахунку обладнання, що виготовлено з неметалевих матеріалів, призначеного для проведення тепло- та масообмінних процесів.

Література

1. Воронцов Е. Г. Теплообмен в жидкостных пленках / Е. Г. Воронцов, Ю. М. Тананайко. – К. : Техника, 1972. — 196 с.
2. Соколов В. Н. Аппаратура микробиологической промышленности / В. Н. Соколов, Яблоков М. А.. — Л.: Машиностроение, 1988. -278 с.
3. Тананайко Ю. М. Методы расчета и исследования пленочных процессов / Ю. М. Тананайко, Е. Г. Воронцов. — К. : Техника, 1975. – 312 с.
4. Соколов В. Н. Газожидкостные реакторы / В. Н. Соколов, И. В. Доманский. — Л. : Машиностроение, 1976 — 216 с.
5. Марценюк А.С. Пленочные тепло и массообменные аппараты в химической промышленности/ А.С. Марценюк, В.Н. Стабников.-М.: Тяжелая промышленность, 1981. – 160 с.
6. Циганкова П.С. Тепло- и массообменные процессы в химической промышленности / Циганкова П.С. [темат. сб.науч.тр.] — К., Под ред. П.С. 1990. – 220 с.
7. Schneider R.: EinneuerDunnschichtverdampfer. “Chem. Ing. Techn.”, 1965, №5, 251 с.