

УДК 664.002.5

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РОТОРНО-ПЛІВКОВОГО АПАРАТА З ШАРНІРНИМ КРІПЛЕННЯМ ЛОПАТЕЙ

Поліщук М.О., Зубрій О.Г.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Розглянуто питання визначення витрат потужності на розподілення та переміщення рідини лопатями ротора. У роботі представлені результати дослідів, які проводились на роторно-плівковому апараті з шарнірним кріпленням лопатей. У якості робочих середовищ використовувались вода та 50% розчин гліцерину у воді. На основі отриманих даних розраховано коефіцієнт потужності K_N в залежності від відцентрового критерію Рейнольдса Re_c та плівкового критерію Рейнольдса Re_n . Відповідно до результатів подані графічні та аналітичні залежності.

Ключові слова: роторно-плівковий апарат, гідродинаміка, гліцерин, вода, потужність, коефіцієнт потужності.

Постановка проблеми. Рівень розвитку держави визначається рівнем розвитку основних галузей промисловості: енергетики, металургії, машинобудування, хімічної, біотехнологічної та інших. У зв'язку з цим першочергового значення набуває розробка досконалих машин та апаратів, інтенсифікація виробничих процесів та зниження вартості обладнання, чому сприяє його досконале наукове дослідження, розрахунок та конструювання. Актуальним є необхідність підвищення якості сировини та кінцевої продукції. Проблемою є складність обробки термолабільних і речовин, що піняться. В багатьох випадках такі продукти переробляються в плівкових апаратах, в тому числі роторних [1; 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливе місце при дослідженні плівкових апаратів відводиться вивченню гідродинамічних особливостей тепломасообмінних процесів [1; 3; 4]. Особливо це стосується апаратів з неметалевих матеріалів та покриттів (скло, емаль, кераміка, полімери), даних про роботу яких в літературі не достатньо. При проектуванні плівкових апаратів слід рівномірно розподілити рідинний шар на поверхні теплообміну, це потребує спеціальних розподільних пристроїв, великої точності виготовлення апаратури. При порушенні рівно-

мірності зрошення рідиною поверхні теплообміну ефективність плівкових апаратів знижується [5; 6; 7], тому однією з головних задач є створення надійних розподільних пристроїв, забезпечення нерозривності потоку на всій поверхні теплообміну. Запобігти цих недоліків можливо при використанні роторних плівкових апаратів, в яких розподілення і переміщення рідини реалізується лопатями ротора.

Аналіз робіт із гідродинаміки й теплообміну в роторно-плівкових апаратах (РПА) [5–8] свідчить, що процеси в них є складними, оскільки на гравітаційну течію плівки накладається дія лопатей ротора, які з одного боку, розподіляють плівку рідини по поверхні нагріву, з іншого – додатково турбулізують її. Тому надійні розрахункові залежності здебільшого отримують після узагальнення експериментальних досліджень. Проте дотепер гідродинаміка, тепло- та масообмін у плівках вивчені недостатньо, що не дозволяє здійснювати надійні інженерні розрахунки.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Через складність вивчення гідродинаміки як висхідного так і низхідного потоку в роторно-плівковому апараті недостатньо теоретичних та експериментальних даних, що не дозволяє провести достатньо повний аналіз умов

роботи плівкових апаратів, а особливо апаратів з неметалевих матеріалів.

Однією з величин для повного розрахунку РПА є потужність.

Стандартні роторно-плівкові апарати мають приводи, потужності яких набагато перевищують потужність, обумовлену технологічним процесом обробки рідини.

Повна потужність яку необхідно підвести до вала ротора становить:

$$N = N_{кин} + N_n + N_{пр},$$

де $N_{кин}$ – потужність, яка витрачається на створення кінетичної енергії обертання рідини, N_n – потужність на перемішування, $N_{пр}$ – потужність, яка витрачається в приводі та опорах вала [6].

Потужності $N_{кин}$ та N_n є важливими характеристиками гідродинаміки роторно-плівкового апарата. Крім того вони можуть бути використані для опису процесів переносу в плівці рідини.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є експериментальне дослідження потужності в скляному роторно-плівковому апараті з шарнірним кріпленням фторопластових лопатей та узагальнення результатів дослідів.

Виклад основного матеріалу. Широкого застосування в промисловості набули плівкові апарати з нерухомою поверхнею та ротором, що обертається. В роторно-плівкових апаратах (РПА) рідинна фаза розподіляється ротором по твердій поверхні, що обігривається і турбулізується ротором [9]. Це призводить до значної інтенсифікації процесів тепло- та масообміну. РПА відповідають основним вимогам для переробки термолабільних речовин – високої інтенсивності тепломасообміну, малого часу перебування продукту на поверхні нагріву, незначного гідростатичного тиску [4].

Дослідження потужності проводилися на експериментальній установці роторно-плівкового апарата з шарнірним кріпленням лопатей (рис. 1).

Установка складається з наступних основних вузлів: скляного роторного плівкового апарату 1 з оболонню 2, шарнірним ротором 3 з приводом 4 і торцевим ущільненням 5.

Початковий розчин подається в ємність 6 і поступає в роторно-плівковий апарат 1, потім захоплюється лопатями ротора 3 і розподіляється у вигляді тонкого рідинного шару по внутрішній поверхні апарата. Нагрів здійснюється рідиною, що потрапляє в оболоню 2. Упарений розчин стікає в приймальну і зливну ємності 7 і 8.

У процесі досліджень контролюються та вимірюються наступні параметри: витрата продукту в апараті; температура продукту на вході і виході з апарату; температура і витрата теплоносія, що нагріває корпус апарату; частота обертання ротора. Стабільність подачі продукту забезпечується наявністю напірного бака. Привід ротора здійснюється від електродвигуна постійного струму.

Шарнірно закріплена лопать може працювати або в режимі «стирання», коли її кромка торкається внутрішньої поверхні корпусу апарата, або в режимі «плавання», коли між кромкою лопаті і корпусом самовстановлюється деякий зазор Δ [6] (рис. 2). На дану лопать діють тільки дві сили: відцентрова сила C та сила гідростатичного тиску P , яка направлена по нормальній до поверхні лопаті. Положення лопаті визначається умовою рівноваги моментів сил.

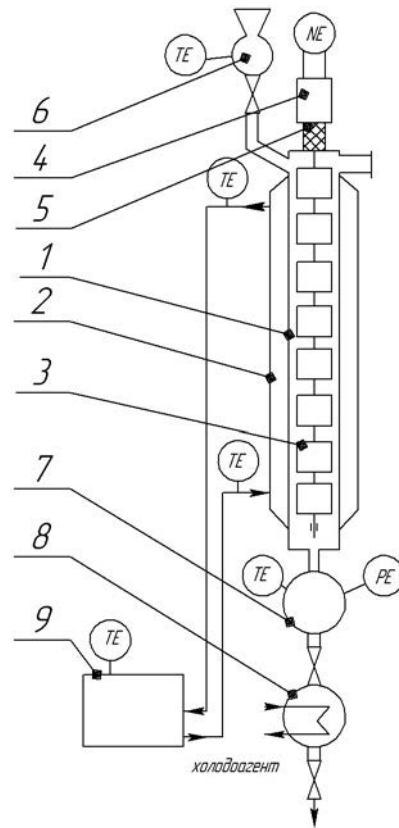


Рис. 1. Схема дослідної установки:

- 1 – роторний плівковий апарат; 2 – теплообмінна оболоня; 3 – шарнірний ротор; 4 – привід; 5 – ущільнення; 6 – напірний бак; 7 – приймальна ємність; 8 – зливна ємність; 9 – термостат

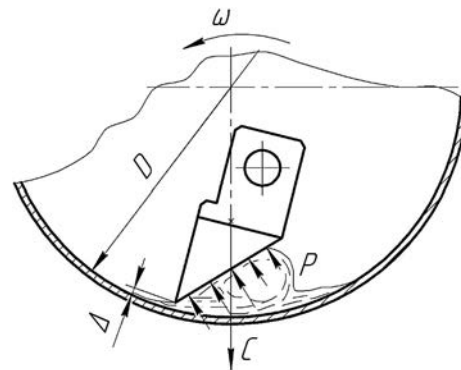


Рис. 2. Шарнірно закріплена лопать в режимі «плавання»

В якості робочої рідини для проведення дослідження на лабораторній установці використовувалась вода та розчин 50% гліцерину у воді.

Дослідження проводилося в такій послідовності. В корпус апарата подавався розчин з заданою температурою та витратою. Для забезпечення постійної температури в оболоню апарата подавався теплоносієм – вода з термостату 9. Встановлювали швидкість обертання ротора 150-200 об/хв, яка фіксувалася тахометром типу ТЦ-3М, після встановлення необхідного ізотермічного режиму заміряли потужність за допомогою показань амперметра та вольтметра.

Після чого збільшували швидкість обертання ротора на 50-70 об/хв. і знову повторювали вимі-

ри, до досягнення граничної швидкості обертання ротора 650-750 об/хв.

Після цього змінювали витрати і повторювали знову всі виміри.

Результати дослідження показано у вигляді залежності потужності від кутової швидкості на рис. 3.

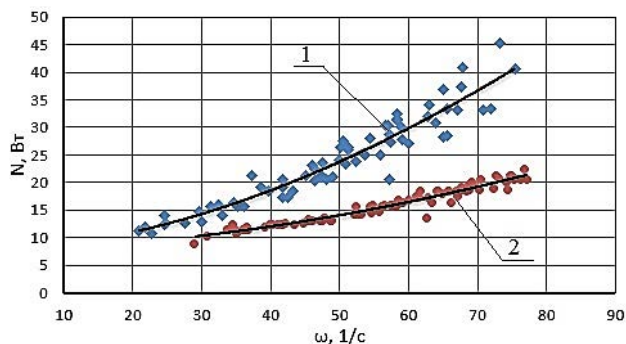


Рис. 3. Залежність потужності N від кутової швидкості ω для розчину 50% гліцерину у воді (1) та води (2)

Як видно з рис. 3 кутова швидкість показує значний вплив на величину потужності. Також був оцінений вплив витрат рідини на потужність.

За результатами проведених досліджень та за літературними даними запропоновано узагальнююче рівняння у вигляді:

$$K_N = A \cdot Re_{\text{ц}}^{\alpha} \cdot Re_{\text{пл}}^{\beta}, \quad (1)$$

де $K_N = \frac{N}{\omega^2 \cdot \rho \cdot D^4 \cdot h}$ – коефіцієнт потужності,

$Re_{\text{ц}} = \frac{\omega D^2}{\nu}$ – відцентровий критерій Рейнольдса,

$Re_{\text{пл}} = \frac{4\Gamma}{\nu}$ – плівковий критерій Рейнольдса.

В наведених формулах: N – потужність на переміщення рідини в апараті, ω – кутова швидкість, ρ – густина рідини, D – діаметр апарата, h – висота робочої поверхні апарата, ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\Gamma = \frac{V}{\pi D}$ – густина зрошення поверхні апарата, V – витрати рідини.

На основі отриманих результатів експерименту була встановлена залежність коефіцієнта потужності від відцентрового критерію Рейнольдса при постійних величинах $Re_{\text{пл}}$ (рис. 4).

Як видно з графіка відцентровий критерій Рейнольдса має значний вплив і оцінюється як $K_N \sim Re_{\text{ц}}^{-1,54}$.

Аналогічно була встановлена залежність коефіцієнта потужності від критерію Рейнольдса

плівкового і оцінено як $K_N \sim Re_{\text{пл}}^{0,085}$. Критерій $Re_{\text{пл}}$ має не значний вплив на величину K_N .

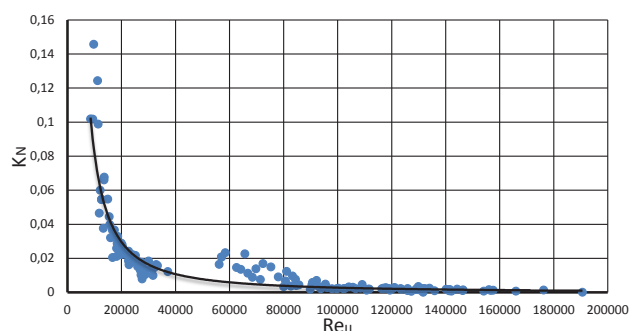


Рис. 4. Залежність коефіцієнта потужності K_N від відцентрового критерію $Re_{\text{ц}}$

Остаточна залежність для визначення коефіцієнта потужності має вигляд

$$K_N = 91200 \cdot Re_{\text{ц}}^{-1,54} \cdot Re_{\text{пл}}^{0,085} \quad (2)$$

Залежність (2) справедлива для $30 < Re_{\text{пл}} < 2300$ та $8000 < Re_{\text{ц}} < 20000$, результати отриманих розрахунків показані на рис. 5.

Коефіцієнт кореляції становить 0,859.

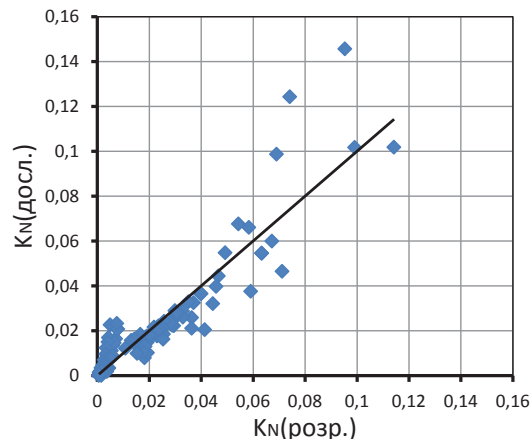


Рис. 5. Залежність дослідного коефіцієнта потужності від розрахункового коефіцієнту потужності

Висновки і пропозиції. Проведені експериментальні дослідження витрат потужності в роторно-плівковому апараті з шарнірним кріпленням лопатей. За результатами досліджень встановлена залежність коефіцієнта потужності від критерію Рейнольдса відцентрового. Отримані результати можуть бути використанні для подальшого дослідження роторно-плівкових апаратів з шарнірним кріпленням лопатей.

Список літератури:

1. Антипов С. Т. Машины и аппараты пищевых производств, учеб. для вузов. В 2 кн. / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков и др.; под ред. акад. РАСХН В. А. Панфилова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2009. – Кн. 1610 с.
2. Василюк И. М., Сабуров А. Г. Роторно-пленочные аппараты в пищевой промышленности. – М.: Агропромиздат, 1989. – 136 с.
3. Олевский В. М. Роторно-пленочные тепло-и массообменные аппараты / В. М. Олевский, В. Р. Ручинский. – М.: Химия, 1977.
4. Научное обеспечение процесса влагоудаления из фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел в ротационно-пленочных аппаратах / Алтайулы Сагымбек // Авторефер. дис. на соиск. уч. степени док. тех. наук. Воронеж. – 2012. – 24 с.
5. Воронцов Е. Г. Теплообмен в жидкостных пленках / Е. Г. Воронцов, Ю. М. Тананайко. – К.: Техника, 1972. – 196 с.

6. Соколов В. Н. Аппаратура микробиологической промышленности / В. Н. Соколов, М. А. Яблокова. – Л.: Машиностроение, 1988. – 278 с.
7. Тананайко Ю. М. Методы расчета и исследования пленочных процессов / Ю. М. Тананайко, Е. Г. Воронцов. – К.: Техника, 1975. – 312 с.
8. Марценюк А. С. Пленочные тепло и массообменные аппараты в химической промышленности / А. С. Марценюк, В. Н. Стабников. – М.: Тяж. пром-ть, 1981. – 160 с.
9. Молоканов Ю. К. Разделение смесей кремнийорганических следов / Кораблина Т. П., Клейновская М. А., Щелкунова М. А. – М.: Химия, 1974. – 296 с.

Полищук М.А., Зубрий О.Г.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ РОТОРНО-ПЛЕНОЧНОГО АППАРАТА С ШАРНИРНЫМ КРЕПЛЕНИЕМ ЛОПАТЕЙ

Аннотация

Рассмотрены вопросы определения затрат мощности на распределения и перемешивания жидкости лопастями ротора. В работе представлены результаты опытов, которые проводились на роторно- пленочном аппарате с шарнирным креплением лопастей. В качестве рабочих сред использовались вода и 50% раствор глицерина в воде. На основе полученных данных рассчитан коэффициент мощности K_N в зависимости от центробежного критерия Рейнольдса Re_c и пленочного критерия Рейнольдса Re_n . Согласно результатам представлены графические и аналитические зависимости.

Ключевые слова: роторно-пленочный аппарат, гидродинамика, глицерин, вода, мощность, коэффициент мощности.

Polishchuk M.A., Zubriy O.G.

National Technical University of Ukraine
«Kyiv Polytechnic Institute»

RESEARCH WORK OF ROTARY FILM APPARATUS WITH HINGING SHOVEL

Summary

The question of determining the cost to power distribution and mixing liquids rotor blades. The paper presents the results of experiments conducted on rotary film apparatus with hinging blades. As working environments used water and 50% glycerol solution in water. Based on the data calculated power factor K_N depending on the criteria centrifugal Reynolds Re_c and criterion Reynolds film Re_f . According to the results presented graphical and analytical dependence.

Keywords: rotary film apparatus, hydrodynamics, glycerin, water, power, power factor.