

Технічні науки

УДК 664.002.5

Бишко Микита Андрійович

магістрант

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Бышко Никита Андреевич

магистрант

Национального технического университета Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Byshko Mykyta

Master Degree Student of the

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorskiy Kyiv Polytechnic Institute"

Зубрій Олег Григорович

кандидат технічних наук, доцент кафедри машин та апаратів

хімічних і нафтопереробних виробництв

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Зубрий Олег Григорьевич

кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов

химических и нефтеперерабатывающих производств

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Zubriy Oleg

Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of

Machines and Apparatus for Chemical and Oil Refining Production

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorskiy Kyiv Polytechnic Institute"

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ У РОТОРНОМУ
ПЛІВКОВОМУ АПАРАТІ
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В РОТОРНОМ
ПЛЁНОЧНОМ АППАРАТЕ
RESEARCH WORK OF HEAT TRANSFER PROCESS IN ROTARY
FILM APPARATUS**

***Анотація.** У роботі представлено результати експериментальних досліджень впливу швидкості обертання ротора, витрат рідини та її фізичних властивостей на інтенсивність процесу теплообміну при нагріві. Досліди проводились у скляному роторному плівковому апараті з шарнірним кріпленням лопатей. У якості оброблюваних речовин використовувались вода та розчини 20%, 30%, 40%, 50% гліцерину у воді. Отримано узагальнену розрахункову залежність.*

***Ключові слова:** роторний плівковий апарат, теплообмін, гліцерин, вода, коефіцієнт теплопередачі, коефіцієнт тепловіддачі.*

***Аннотация.** В работе представлено результаты экспериментальных исследований влияния скорости вращения ротора, расходов жидкости и её физических свойств на интенсивность процесса теплообмена при нагреве. Исследования проводились в роторном пленочном аппарате с шарнирным креплением лопастей. В качестве обрабатываемых жидкостей использовались вода и растворы 20%, 30%, 40%, 50% глицерина в воде. Получено обобщенную расчетную зависимость.*

***Ключевые слова:** роторный пленочный аппарат, теплообмен, глицерин, вода, коэффициент теплопередачи, коэффициент теплоотдачи.*

***Summary.** The paper presents the results of experimental studies of the effect of rotor speed, fluid flow and its physical properties on the intensity of heat transfer during heating. Studies were carried out in a rotary film apparatus with pivot attachment of blades. As the treated liquids, water and solutions of 20%, 30%,*

40%, 50% glycerol in water were used. A generalized calculated dependence is obtained.

***Key words:** rotary film apparatus, heat exchange, glycerin, water, heat transfer coefficient.*

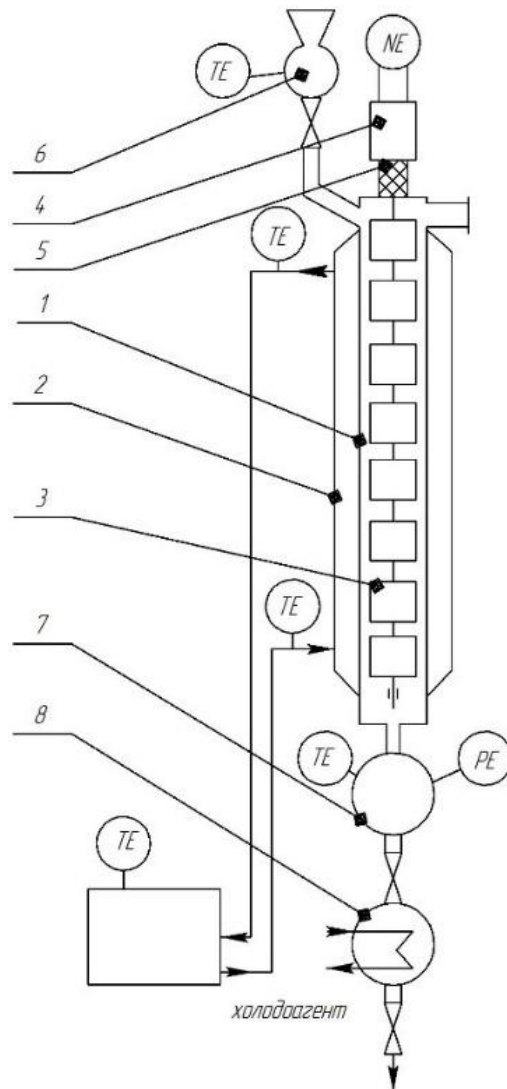
Постановка проблеми. Теплопередача являється одним з найважливіших процесів у роторному плівковому апараті (РПА). Через складність течії рідини в роторному плівковому апараті складно створити теоретичну модель яка б адекватно описувала гідродинаміку, тепло та масообмін та інші процеси, що не дозволяє провести достатньо точний розрахунок апарата. В більшості випадків пропонується експериментально визначати окремі величини, наприклад коефіцієнт тепловіддачі [1].

Мета статті. Головною метою роботи є експериментальне дослідження впливу швидкості обертання ротора, витрат рідини та її фізичних властивостей на інтенсивність процесу теплообміну при нагріві в роторному плівковому апараті та узагальнення отриманих результатів.

Виклад основного матеріалу. Дослідження теплообміну проводилися на експериментальній скляній установці роторного плівкового апарата з шарнірним кріпленням фторопластових лопатей (рис. 1).

Установка складається з наступних основних вузлів: скляного роторного плівкового апарата 1 з оболонню 2, ротора 3 з приводом 4 і торцевим ущільненням 5. На роторі 3 шарнірно прикріплені фторопластові лопаті.

Початковий розчин подається в ємність 6 і далі в роторний плівковий апарат 1, де лопатями ротора 3 розподіляється по внутрішній поверхні та переміщується в тонкому шарі. Температурний режим регулюється за допомогою термостата. Оброблений розчин стікає в приймальну ємність 7 та зливну ємність 8.



**Рис. 1. Схема дослідної установки: 1 – роторний плівковий апарат;
2 – теплообмінна оболонь; 3 – шарнірний ротор; 4 – привід;
5 – ущільнення; 6 – напірний бак; 7 – приймальна ємність;
8 – зливна ємність**

В якості робочої рідини для проведення дослідження на лабораторній установці використовувалась вода та розчини 20%, 30%, 40, 50% гліцерину у воді.

Експериментальні дослідження проводились при стаціонарному режимі теплообміну. Втрати тепла у навколишнє середовище через теплообмінну оболонь визначались розрахунком і враховувались у тепловому балансі. Втрати тепла через торцеві ділянки апарату незначні, тому ними можна знехтувати.

Для знаходження дослідного коефіцієнта теплопередачі необхідно врахувати основні теплові потоки в апараті та температурний режим, що дає наступне рівняння:

$$K_d = \frac{q}{\Delta t_{cp}}; \quad (1)$$

де q – щільність теплового потоку:

$$q = \frac{Q}{F}, \text{ Вт/м}^2; \quad (2)$$

Δt_{cp} – середня різниця температур в апараті, град; Q – кількість тепла переданого робочій рідині, Вт; F – поверхня теплообміну, м.

Оскільки апарат скляний, то замірити температури стінки з боку теплоносія в оболоні та теплоносія в апараті практично неможливо. Тому коефіцієнт тепловіддачі від стінки до робочої рідини α_a визначався опосередковано через дослідний коефіцієнт теплопередачі K_d (1) та коефіцієнт тепловіддачі α_p від теплоносія в оболоні до стінки. В свою чергу коефіцієнт α_p визначався за літературними даними [2].

Через те, що відношення товщини стінки до діаметру становить 3%, то коефіцієнт теплопередачі розраховувався як для плоскої стінки:

$$K_d = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{1}{\alpha_p} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}}. \quad (3)$$

Звідки коефіцієнт тепловіддачі α_a в апараті:

$$\alpha_a = \frac{K_d}{1 - \frac{K_d}{\alpha_p} - K_d \cdot \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}}, \text{ Вт/м}^2\text{К}; \quad (4)$$

де $\delta_{ст}$ – товщина стінки, м; $\lambda_{ст}$ – коефіцієнт теплопровідності стінки, Вт/м·К.

В результаті досліджень встановлено суттєвий вплив швидкості обертання ротора на величину коефіцієнта теплопередачі K_d , рис.2, 3, що пояснюється відповідним зростанням коефіцієнта тепловіддачі α_a .

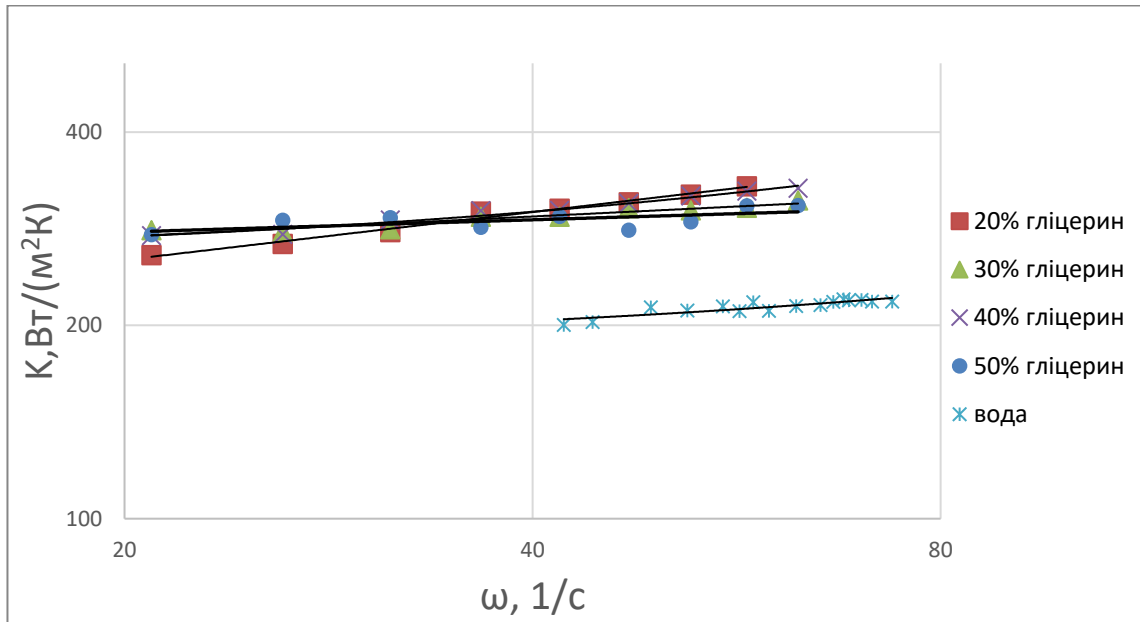


Рис. 2. Залежність коефіцієнта теплопередачі K_d від кутової швидкості для гліцерину та води

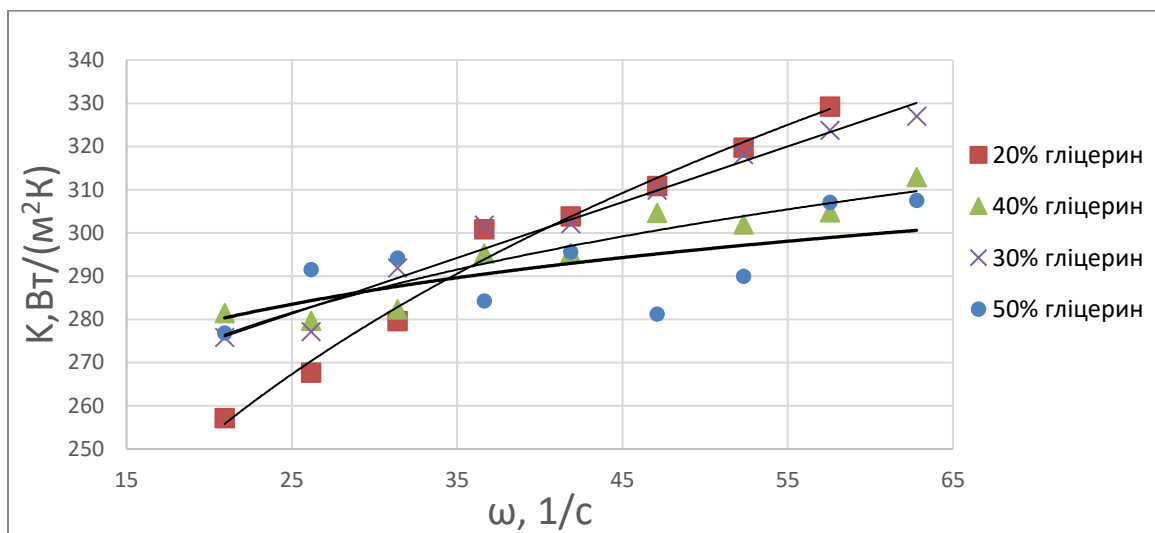


Рис. 3. Залежність коефіцієнта теплопередачі K_d від кутової швидкості для гліцерину

В літературі, наприклад [3-5], пропонується узагальнювати дослідні дані по тепловіддачі у вигляді залежностей критерія Нусельта Nu від критеріїв Рейнольдса плівкового $Re_{пл}$, відцентрового $Re_{ц}$, критерію Прандтля Pr та інших у вигляді залежності:

$$Nu = C \cdot Re_{пл}^{\alpha} \cdot Re_{ц}^{\beta} \cdot Pr^{\gamma} \quad (5)$$

де C, α, β, γ – константи, які визначаються по результатам дослідів.

В більшості досліджень ступінь при критерії Прандтля приймається $\gamma = 0,33$.

В нашому випадку критерій Нусельта дослідний розраховувався за формулою:

$$Nu_{\text{д}} = \frac{\alpha \cdot \left(\frac{v^2}{g}\right)^{\frac{1}{3}}}{\lambda} \quad (6)$$

Критерій Рейнольдса відцентровий:

$$Re_{\text{ц}} = \frac{\omega d^2}{\nu} \quad (7)$$

Критерій Рейнольдса плівковий:

$$Re_{\text{пл}} = \frac{4\Gamma}{\nu} \quad (8)$$

Для оцінки впливу $Re_{\text{ц}}$ критеріальне рівняння представлено у вигляді:

$$\frac{Nu}{Pr^{0,33}} = C_1 \cdot Re_{\text{ц}}^{\beta} \quad (9)$$

Обробка дослідних даних виконана методом найменших квадратів, в результаті чого отримані значення $\beta = 0,6$, (рис. 4).

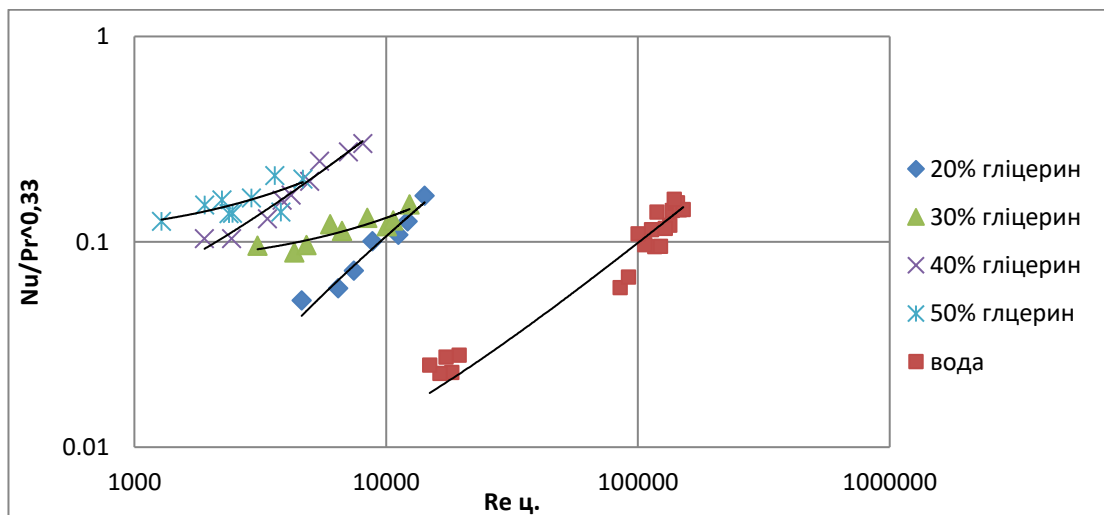


Рис. 4. Залежність $\frac{Nu}{Pr^{0,33}}$ від критерію Рейнольдса відцентрового $Re_{\text{ц}}$

Після чого отримаємо рівняння:

$$\frac{Nu}{Pr^{0,33}} = 0,004 \cdot Re_{\text{ц}}^{0,6} \cdot Re_{\text{п}}^{\alpha} \quad (10)$$

Критеріальне рівняння для оцінки впливу Re_{Π} представлено у вигляді:

$$\frac{Nu}{Pr^{0,33} \cdot Re_{\Pi}^{0,6}} = C_2 \cdot Re_{\Pi}^{\alpha} \quad (11)$$

де C_2 – постійна, α – показник степеня при критерії Рейнольда плівкового. Отримана величина показника $\alpha = -0,101$.

В результаті чого узагальнене рівняння для визначення коефіцієнта тепловіддачі приймає вигляд:

$$Nu_p = 0.0788 \cdot Re_{\Pi}^{0,6} \cdot Re_{\Pi}^{-0,101} \cdot Pr^{0,33} \quad (12)$$

На рис. 5 представлено порівняння дослідних значень критерію Нуссельта Nu_d з розрахунковими Nu_p по рівнянню (12).

Достовірність апроксимації склала 0,9628.

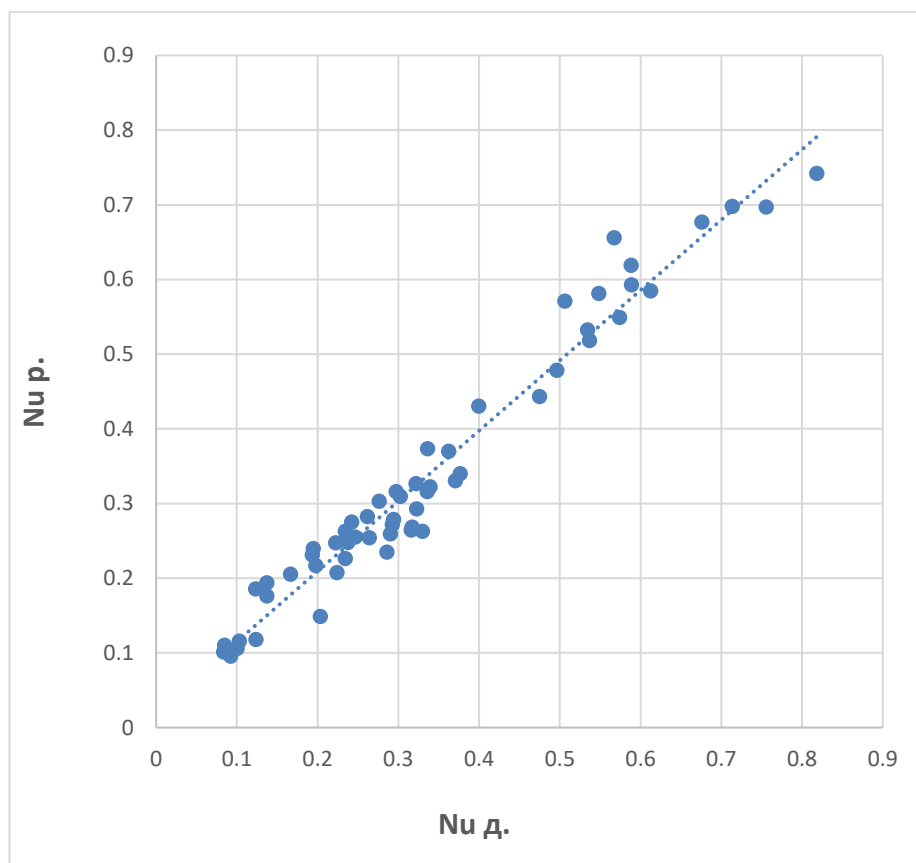


Рис. 5. Порівняння дослідних і розрахункових значень чисел критерія Nu

Рівняння отримано при зміні критерія Рейнольдса відцентрового в межах $1500 < Re_{ц} < 160000$, критерія Прандтля $8,5 < Pr < 65$ та критерію Рейнольдса плівкового в межах $80 < Re_{п} < 1200$.

Висновки і пропозиції. Проведені експериментальні дослідження процесу теплообміну в роторному плівковому апараті з шарнірним кріпленням лопатей. За результатами досліджень отримано узагальнене рівняння для визначення коефіцієнта тепловіддачі при нагріві рідини. Отримані результати можуть бути використанні для розрахунку роторних плівкових апаратів з шарнірним кріпленням лопатей.

Література

1. Антипов С. Т. Машины и аппараты пищевых производств, учеб. для вузов. В 2 кн. / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков др.; под ред. акад. РАСХН В. А. Панфилова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2009. – Кн. 1610 с.
2. Петухов Е.С. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении в трубах. / Петухов Е.С. – М.: Энергия, 1967. - 411 с.
3. Исаченко В.П. Теплопередача. Книга для студентов / Исаченко В.П., Осипова В.А., Сухомел А.С. – М.: Энергия, 1975. - 488 с.
4. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології. Ч1. / Корнієнко Я.М., Лукач Ю.Ю., Мікульонок І.О. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. - 299 с.
5. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Теоретические основы процессов химической технологии. / Дытнерский Ю.И. – М.: Химия, 1995. - 400 с.
6. Рябовол Е.Н., Юдина А.А., Зинченко М.Г., Анохин Г.А. Исследование процесса теплопередачи в роторно-пленочном аппарате при концентрировании томатного сока. ХФ

ПАТ «Укрнефтехимпроект», Харьков ISSN 2079-0821. Вісник
НТУ «ХП». - 2014. - № 27.