

Таблиця 5 – Фізико-хімічні властивості ультрафільтраційних мембран типу PS

Мембрана	Максимальна продуктивність за водою, л/м ² -год	Відсіка-юча здатність, кД	Рекомендовані умови експлуатації		
			pH	T, °C	P, МПа
ПС-50	110	50	2...13	10...60	0,3...0,5
ПС-100М	275	100	2...13	10...60	0,3...0,5

Висновки. Таким чином, можна зробити висновок про те, що мембрани типу PS, є досить конкурентоспроможними і можуть бути використані в технологіях водопідготовки харчової промисловості.

Список літератури

1. Брик, М. Т. Питна вода і мембранні технології (Огляд) [Текст] / М. Т. Брик // Наукові записки. – 2000. – Т.18. – С. 4–24.
2. Рекламні проспекти компанії NORIT [Текст]. – Нідерланди.
3. Рекламні проспекти компанії KOCH [Текст]. – Германія.
4. Рекламні проспекти компанії General Electric [Текст]. – США.
5. Рекламні проспекти компанії Suoai Membrane Fairy [Текст]. – Китай.

Отримано 15.03.2009. ХДУХТ, Харків.

© Г.В. Дейниченко, З.О. Мазняк, Ю.В. Каліпенко, 2009.

УДК 664-404.9:663.865.004.12

В.І. Маяк, канд. техн. наук, проф.

В.М. Михайлов, д-р техн. наук, проф.

ЗАКОНОМІРНОСТІ ТЕПЛОВІДДАЧІ В ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА ПАСТОПОДІБНИХ КОНЦЕНТРАТИВ НАПОЇВ

Досліджено процес уварювання пастоподібних концентратів напоїв. У результаті проведених експериментів отримано нове критеріальне рівняння процесу тепловіддачі.

Исследован процесс уваривания пастообразных концентратов напитков. В результате проведенных экспериментов получено новое критеральное уравнение процесса теплоотдачи.

Investigational process of cooking of paste-like concentrates of drinks. As a result of the conducted experiments criterion new equalization of process of heat emission.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Під час виробництва пастоподібних концентратів напоїв (ПКН) найважливіше значення мають процеси вакуумного уварювання. У малих виробництвах ці процеси здійснюють у двотільних апаратах з мішалками.

ПКН – високов'язкі неідеальнопластичні неньютонівські рідини. Для їхнього ефективного перемішування можна рекомендувати якірні та скребкові мішалки. Теплові розрахунки апаратів із пристроями, що перемішують, під час переробки високов'язких рідких продуктів скрутні. Велика кількість конструктивних елементів пристроїв, що перемішують, ускладнює одержання узагальнених розрахункових залежностей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. По теплообміну в неньютонівських рідинах в апаратах з мішалками за останні роки з'явилася велика кількість публікацій [1-8], проте автори даних робіт найчастіше використовують неоднакові відправні позиції, тому дотепер не зроблено узагальнень подібно тих, які отримані для теплообміну в ньютонівських рідинах.

Існують дослідження теплообміну у високов'язких рідинах з використанням мішалок без зміни агрегатного стану середовища. Водночас у літературі відсутні дані по тепловіддачі ПКН за умов застосування пристроїв, що перемішують, в умовах кипіння під вакуумом.

Мета та завдання статті. Метою даної роботи було дослідити процес теплообміну під час уварювання ПКН у вакуум-випарному апараті з мішалкою, одержати узагальнену критеріальну залежність для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі за умов використання нової шнекової скребкової мішалки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Тепловіддача під час кипіння рідини є дуже складним процесом. Тому під час узагальнення дослідних даних великі труднощі виникають під час одержання критеріїв подібності та встановленні критеріальних залежностей.

Для здійснення процесів вакуумного уварювання під час виробництва ПКН у ХДУХТ була розроблена нова конструкція шнекової мішалки скребкового типу з численними плоскими лопатками. Скребкові мішалки застосовуються для високов'язких середовищ, що утворюють у теплообмінних поверхнях в'язкі ламінарні шари значної товщини, схильні до налипання.

У результаті проведених досліджень процесу тепловіддачі з використанням експериментальної шнекової скребкової мішалки були отримані дослідні дані, надані на графіках рис. 1.

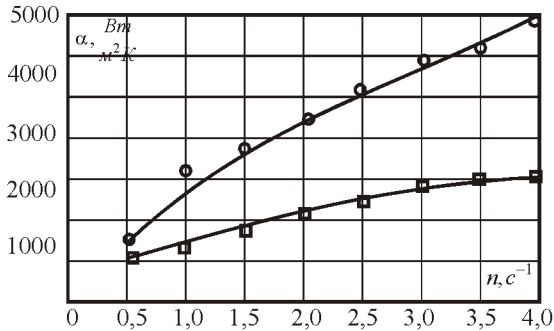


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта тепловіддачі α , Вт/м²К від числа обертів мішалки n , с⁻¹, якщо діаметр мішалки $d=0,35$ м: \circ – експериментальна шнекова скребкова мішалка; \square – якірна мішалка

Для оцінки ефективності використання нової шнекової скребкової мішалки, паралельно, на тій же установці були проведені експерименти з визначення тепловіддачі з використанням якірної мішалки. Вибір якірної мішалки пояснюється тим, що дана конструкція широко використовується в харчовій промисловості для перемішування в'язких рідин.

Аналіз експериментальних даних показав, що зі збільшенням числа обертів коефіцієнт тепловіддачі збільшується. Це пояснюється збільшенням швидкості конвекції, турбулізацією потоку та зменшенням в'язкості неньютонівської рідини за умов руйнування її структури під впливом мішалки. Скребки мішалки руйнують ламінарний шар рідини біля стінки апарату, що призводить до різкого зростання теплового потоку. За даними дослідників [4], тепловіддача за таких умов істотно збільшується, наприклад, у псевдопластичних рідинах у 4...5 разів.

Коефіцієнти тепловіддачі за умов використання якірної мішалки на 50% менше, ніж для експериментальної шнекової скребкової мішалки. Це пояснюється тим, що руйнування структури рідини, яка перемішується, а, отже, зменшення в'язкості за тих самих числах обертів, значно менше під час впливу якірної мішалки, ніж шнекової скребкової.

Поряд з експериментальними дослідженнями існують спроби теоретичного аналізу [8], засновані на гіпотезі відновлення обсягу прилягаючої до стінки рідини після проходження скребка мішалки. Якщо припустити, що під час проходження щільно прилягаючого скребка (за рахунок пружин, що притискають,) до теплообмінної поверхні, маса рідини, що контактує з поверхнею, цілком замінюється свіжою порцією з основного обсягу рідини з рівномірною температурою, то можливий розрахунок процесу прогріву порції, яка знову надходить до поверхні. Додатково передбачається, що рідина, яка прогривається біля поверхні, нерухома протягом короткого проміжку часу перебування у стінки до наступного проходження скребка і, що в напрямку перпендикулярному стінці, довжина порції рідини нескінченна, а температура поверхні стінки незмінна в часі. За умов зроблених допущень прогрів кожної свіжої порції рідини біля стінки відповідає задачі нестационарної теплопровідності напівбезмежного тіла.

Величина миттєвого коефіцієнта тепловіддачі α визначається як відношення теплового потоку до різниці температур:

$$\alpha = \frac{q \cdot \tau}{(T - t)} = \frac{\sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}}{\sqrt{\pi \cdot \tau}}. \quad (1)$$

Середнє значення α за час τ_c між двома сусідніми проходженнями лопатей скребкової мішалки визначиться в такий спосіб:

$$\alpha = \frac{1}{\tau_c} \int_0^{\tau_c} \frac{\sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}}{\sqrt{\pi \cdot \tau}} d\tau = 2 \frac{\lambda \cdot c \cdot \rho}{\pi \cdot \tau_c}. \quad (2)$$

Співвідношення (2) може бути надано у формі критерію Нуссельта:

$$\alpha D / \lambda = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{c \cdot \rho \cdot D^2 \cdot n \cdot z}{\lambda} \right)^{0,5} = 1,13 (\text{Re}_u \cdot \text{Pr})^{0,5}, \quad (3)$$

де $\tau_c = \frac{1}{n \cdot z}$; z – число скребоків на валові мішалки.

Теоретично отримане рішення (3) не враховує можливих ефектів неповного відновлення рідини біля поверхні, її часткового конвективного перемішування та інших реальних факторів, що призводять до зміни величини чисельного множника, показника ступеня і появи додаткових симплексів у рівнянні 3. Крім того, отримане рівняння характеризує теплообмін без зміни агрегатного стану.

Найчастіше результати експериментів узагальнюють у вигляді критеріальних рівнянь на основі методу аналізу розмірностей, що пояснюється значними труднощами математичного формулювання задачі теплообміну, пов'язаної з циркуляційним плином в'язкого середовища, що перемішується, у складній геометричній обстановці. Основним ускладненням є формулювання граничних умов до диференціальних рівнянь руху та теплообміну на поверхні обертової мішалки, теплообмінних поверхнях, вільної верхньої поверхні середовища, що перемішується, внутрішній стінці апарата тощо.

Звичайно критеріальне співвідношення має наступний загальний вигляд

$$Nu = A \cdot Re_y^a \cdot Pr^b \left(\frac{\eta}{\eta_{cm}} \right)^n, \quad (4)$$

де $Nu = \frac{\alpha \cdot D}{\lambda}$; D – діаметр апарата, м; Re_y – відцентровий критерій Рейнольдса; Pr – критерій Прандтля.

Відношення в'язкого середовища η до в'язкості його за температури стінки η_{cm} враховує вплив на величину коефіцієнта тепловіддачі напрямку теплового потоку.

Труднощі використання узагальненої залежності (4) полягають в визначенні ефективної в'язкості неньютонівських рідин. У нашому дослідженні значення ефективної в'язкості $\eta_{\text{эф}}$ за різних значень чисел обертів n визначали, користуючись нашою методикою. Для урахування умов кипіння рідини під час її перемішування в узагальнену залежність (4) необхідно ввести критерії кипіння K_1 , K_2 .

Критерій, що визначає кількість центрів утворення пари:

$$K_1 = \frac{p' \delta^2 (\rho' - \rho'')}{\lambda \cdot \sigma \cdot \rho'} \cdot q. \quad (5)$$

Критерій, що визначає частоту відриву пухирців:

$$K_2 = \frac{(\rho')^2 \cdot c \cdot \sigma}{\rho'' \cdot r \cdot p' \cdot \delta \cdot (\rho' - \rho'')}, \quad (6)$$

де $\delta = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho' - \rho''}}$ величина, пропорційна діаметрові пухирців;

$\rho' = \frac{dp}{dt} = \frac{r \cdot \rho' \cdot \rho''}{A \cdot T \cdot (\rho' - \rho'')}$ відповідно до рівняння Клапейрона-

Клаузиуса; σ – поверхневий натяг, кг/м; A – механічний еквівалент тепла $\frac{1}{427}$ ккал/кг·м; ρ' , ρ'' – щільність рідини і пари; c , λ – параметри, що відносяться до рідини.

З урахуванням літературних даних [2; 5] нами було отримане узагальнене критеріальне рівняння, що характеризує тепловіддачу в апараті з мішалкою скребкового типу, в умовах кипіння високов'язкої неньютонівської рідини під вакуумом:

$$\text{Nu} = A \text{Re}_y^a \text{Pr}^b \left(\frac{\eta}{\eta_{cm}} \right)^{0,14} K_1^{0,7} K_2^{0,33}. \quad (7)$$

Для регресійного аналізу рівняння (7) перепишемо в лінеалізованому вигляді:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_3, \quad (8)$$

$$\text{де } Y = \ln \left[\frac{\text{Nu}}{\left(\frac{\eta}{\eta_{cm}} \right)^{0,14} K_1^{0,7} K_2^{0,33}} \right]; X_1 = \ln(\text{Re}_y); X_2 = \ln(\text{Pr});$$

$$a_0 = \ln A; a_1 = a; a_2 = b.$$

Коефіцієнти регресійного рівняння знаходили з використанням стандартних процедур пакета Mathcad:

$$\text{Nu} = 1,77 \cdot 10^{-3} \text{Re}_y^{0,45} \text{Pr}^{0,46} \left(\frac{\eta}{\eta_{cm}} \right)^{0,14} K_1^{0,7} K_2^{0,33}. \quad (9)$$

На рис. 2 наведено кореляцію експериментальних даних та критеріального рівняння (9).

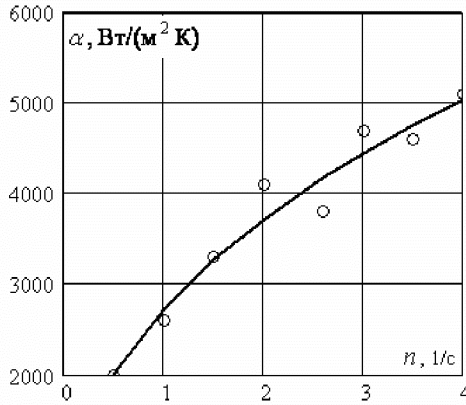


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта тепловіддачі від частоти обертів мішалки: ○ – експериментальні дані; — критеріальне рівняння

На рис. 3 наведено критеріальну залежність (9) як функцію чисел Re та Pr.

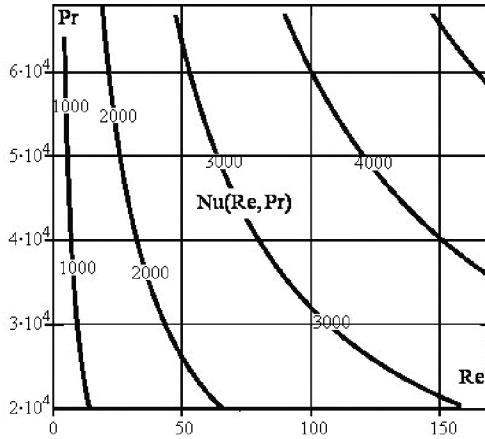


Рисунок 3 – Залежність критерію Нусельта від чисел Рейнольдса та Прандтля

Висновки. У результаті проведених експериментів показана висока ефективність тепловіддачі за умов застосування нової шнекової скребкової мішалки. Отримані критеріальні залежності можуть бути використані для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі за умов використання шнекової скребкової мішалки в умовах кипіння ПКН під вакуу-

мом. Дане рівняння також може знайти застосування під час проектування теплового устаткування для виробництва в'язких харчових продуктів.

Список літератури

1. Романков, П. Г. Теплообменные процессы химической технологии [Текст] / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов. – Л. : Химия, 1982. – 288 с.
2. Михеев, М. А. Основы теплопередачи [Текст] / М. А. Михеев. – М. : Энергия, 1977. – 343 с.
3. Туголуков, Е. Н. Методика расчета нестационарных тепловых процессов в емкостных аппаратах [Текст] / Е. Н. Туголуков // Хим. пром-сть сегодня. – 2006. – № 11. – С. 44–46.
4. Дрейцер, Г. А. Методика оценки эффективности интенсификации теплообмена в теплообменных аппаратах [Текст] / Г. А. Дрейцер // Изв. вузов. Машиностроение. – 1999. – №5/6. – С. 67–76.
5. Шаповров, В. П. Расчет нестационарного теплопереноса в реакторе с мешалкой [Текст] / В. П. Шаповров // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2005. – № 3. – С. 16–21.
6. Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена [Текст] / С. С. Кутателадзе. – М. : Атомиздат, 1979. – 415 с.
7. Кутателадзе, С. С. Теплопередача при кипении и конденсации [Текст] / С. С. Кутателадзе. – Новосибирск : ИТФ, 1985. – 160 с.
8. Хашпель, Дж. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса [Текст] / Дж. Хашпель, Г. Бреннер. – М. : Мир, 1976. – 632 с.

Отримано 15.03.2009. ХДУХТ, Харків.

© В.І. Маяк, В.М. Михайлов, 2009.

УДК 641:621.3:532

В.І. Маяк, канд. техн. наук, проф.

В.М. Михайлов, д-р техн. наук, проф.

ДОСЛІДЖЕННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ПКІ І ЦУКАТІВ ЗА НОВОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ

*Досліджено соціально-економічну ефективність виробництва пасто-
подібних концентратів напоїв та цукатів, отриманих за новою технологією.*

*Исследована социальнo-экономическая эффективность производства
пастообразных концентратов напитков и цукатов, полученных по новой тех-
нологии.*