

вания кинетики процессов экстрагирования различных технологических загрязнений из плоских текстильных материалов в химической технологии их отделки с применением ультразвукового воздействия на экстрагент.

Литература

1. Кошелева М.К. Промывка и контактная сушка хлопчатобумажных тканей после мерсеризации. Учеб. пособие. – М.: ГОУВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина», 2009. – 52с.
2. Кошелева М.К., Реутский В.А. и др. Повышение эффективности процесса промывки хлопчатобумажных тканей после мерсеризации с использованием ультразвука / Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – № 1, 2002.
3. Щеголев А.А. Исследование способов интенсификации процессов промывки тканей в высокоскоростных промывных машинах. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – М., 1981.
4. Патент – 2311504 РФ, Способ обработки водного раствора для промывки тканей / Кошелева М.К. и др.; Мос. гос. текстильн. ун-т им. А.Н. Косыгина. – № 2006110599; Заяв. 04.04.06; Опубл. 27.11.07, Бюл. № 33.
5. Кошелева М.К. и др. Договор № 17926/03 о продаже лицензии на использовании патента РФ № 2100501 «Способ жидкостной обработки шерстяных тканей после крашения», 01.02.2003.
6. Рудобашта С. П. Массоперенос в системах с твердой фазой. – М.: Химия, 1980. – 248 с.
7. Рудобашта С.П., Карташов Э.М. Диффузия в химико-технологических процессах. Изд.2-е, перераб. и доп. М.: КолосС. 2010-600 с.;
8. П. Александер, Р.Ф. Хадсон. Физика и химия шерсти. Перевод с англ. Госуд. научно-техническое издательство литературы по легкой промышленности М. 1958, 392 стр.
9. Кошелева М.К., Рудобашта С.П. и др. Устройство промывки текстильных материалов в жгуте. Патент 118639 РФ, заявители и патентообладатели МГТУ им. А.Н. Косыгина и МГАУ им. В.П. Горячкина, опубл. 27.07.2012, Бюл.№ 21.
10. Рудобашта С.П., Кошелева М.К. и др. Устройство для обработки промывных вод отделочного производства. Патент РФ, заявители и патентообладатели МГТУ им. А.Н. Косыгина и МГАУ им. В.П. Горячкина, опубл. 27.07.2012, Бюл.№ 21.
11. 11.Абрамов О.В. и др. Мощный ультразвук в металлургии и машиностроении. Под редакцией О.В. Абрамова и В.М. Приходько.М.:ЯНУС-К, 2006, 688 с.

УДК 637.134

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОВИТРАТ ПУЛЬСАЦІЙНОГО АПАРАТУ З ВІБРУЮЧИМ РОТОРОМ

Самойчук К.О. канд. техн. наук., доцент,

Івженко А.О., аспірант

Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь

У статті представлено результати аналітичних досліджень по визначенню енерговитрат пульсаційного апарату з вібруючим ротором.

In the article the results of analytical researches of determination of power consumption of pulsation vehicle with a vibrating rotor is represented.

Ключові слова: гомогенізація, енерговитрати, пульсаційний апарат, розрахунок.

При переробці молока та виробництві молочної продукції широко використовується гомогенізація, яка значно підвищує сенсорні та смакові властивості готового продукту. Устаткування для здійснення цієї операції за споживанням енергії відноситься до найбільш енергоємних у потоково-технологічних лініях. На молокозаводах завдяки високому ступеню диспергування та універсальності широко використовуються клапанні гомогенізатори, питомі витрати енергії яких сягають 10 кДж/т. Інші типи машини для диспергування молочного жиру: вакуумні, ультразвукові, вихрові, струминні і т.п., незважаючи на енерговитрати в 2–8 разів менші, не знайшли широкого використання на виробництві [1].

В даний час набувають поширення способи диспергування емульсійних систем в пульсаційних апаратах різної модифікації. У таких апаратах вплив на потік оброблюваного середовища забезпечується примусовим перекриттям каналів його перебігу в системі обертовий ротор – нерухомий статор. При цьо-

му в потоці виникають завихрення, удари, кавітація, що створюють високий диспергуючий ефект. При дослідженні дисперсності емульсій, оброблених у пульсаційних апаратах встановлено, що в цілому середній діаметр часток дисперсної фази не перевищує 1 мкм, що порівняно з обробкою в клапанних гомогенізаторах [2]. Питомі енерговитрати роторно-пульсаційних апаратів на 30-40% менші за клапанні, але у дисперсному складі приготовлених емульсій зустрічаються жирові частки з розмірами 10 мкм і вище, що знижує якість кінцевого молочного продукту [3].

Ефективним способом підвищення однорідності емульсії, обробленої у роторно-пульсаційному апараті є накладання коливань на оброблюване середовище наприклад за допомогою вібруючого ротору. В ході експериментальних досліджень такий апарат показав високу ефективність гомогенізації молока та зниження питомих енерговитрат на 18–20% у порівнянні з роторно-пульсаційними [4].

Ефективність застосовуваного устаткування визначається величиною питомих енерговитрат процесу. Отже, розрахунок потужності, споживаної пульсаційним апаратом з вібруючим ротором, є найважливішою частиною методики його розрахунку. Відомо достатня кількість робіт, присвячених розрахунку споживаної потужності роторно-пульсаційними апаратами [5, 6, 7], однак нам невідомі роботи, що містять методику розрахунку пульсаційного апарату з вібруючим ротором.

Робоча камера роторно-пульсаційного апарату з вібруючим ротором складається ротора 3 (рис.1) і статора 4. Для осьових коливань ротора застосовується кулачковий механізм 5, а для обертання ротора використаний електродвигун 1 з клинопасовою передачею 2, що припускає при роботі відхилення на величину коливань s , яка дослідного апарату складає 1 мм.

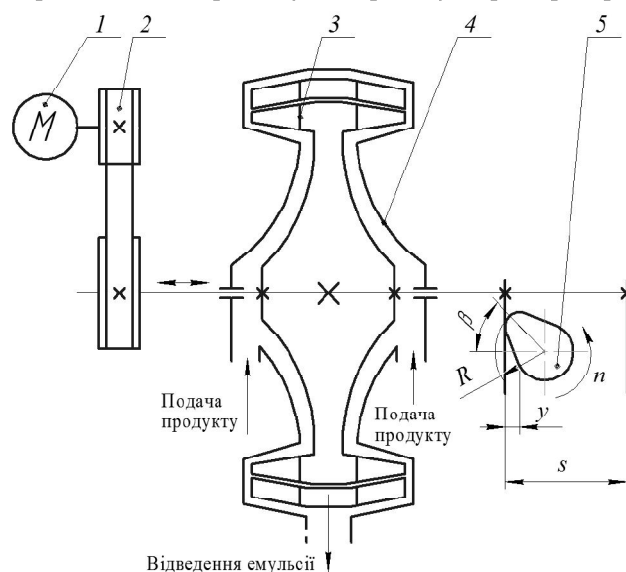
Розрахунок споживаної потужності заснований на загальних фізичних уявленнях про закономірності гідромеханічних процесів, що мають місце в роторних апаратах. Основне положення – кінетична енергія, що набуває потоком рідини в обертвовому роторі, потім дисипується в радіальному зазорі між ротором і статором, в осьовому зазорі між торцем ротора і корпусом, втрачається в механізмі апарату. Акустичною потужністю нехтуємо.

У запропонованій схемі пульсаційного апарату з вібруючим ротором енергетичний баланс представимо у вигляді

$$P = P_o + P_e, \quad (1)$$

де P_o — потужність, що витрачається електродвигуном приводу обертання ротора, Вт;

P_e — потужність, що витрачається електродвигуном приводу вібрації ротора, Вт.



1 – електродвигун приводу обертання ротора; 2 – клинопасова передача; 3 – ротор; 4 – статор; 5 – кулачок приводу вібрації ротора

Рис. 1 – Схема пульсаційного апарату з вібруючим ротором

Для визначення потужності обертання ротору в пульсаційному апараті існує декілька наукових підходів. У роботі [8] отримано вирази для критерію потужності, що враховують вплив геометричних і режимних параметрів роторного апарату. Коефіцієнти і показники ступеня в рівняннях отримані експериментально. У дослідженні [7] продовжена робота з удосконалення методики визначення критерію потужності. Загальним недоліком цих робіт є необхідність проведення експериментальних досліджень для

визначення показників ступеня при членах рівнянь, крім того, розрахунок потужності можливий тільки після остаточного визначення всіх конструктивних і режимних параметрів роторного апарату.

Цих недоліків частково позбавлена робота [8]. В ній розрахунок енергоспоживання в радіальному зазорі ґрунтується на гідродинамічній моделі Куетта, ускладненою радіальним вдувом. Розрахунок потужності виконаний методом дисипативних втрат при різних режимах течії в радіальному зазорі. В [9] на підставі рівняння Нав'є–Стокса визначені втрати потужності в радіальному зазорі. Для визначення енерговитрат в апараті, що йдуть на подолання сил опору у внутрішньому обертовому циліндрі, розглядається плоска течія, утворена накладенням вихрової течії та течії обертового потоку. Автором роботи [6] розрахунок енерговитрат також обмежується визначенням дисипативних втрат в радіальному зазорі на підставі досить складної структури потоку, використовуючи плоску модель турбулентної течії.

На підставі зробленого огляду основних робіт, присвячених визначенню енерговитрат можна зробити висновок, що для визначення споживаної роторним апаратом або тільки в радіальному зазорі необхідно попередньо розрахувати якимось чином основні режимні параметри і геометричні розміри, експериментально визначити коефіцієнти і показники ступеня. Такі методики розрахунку важко використовувати на початку проектування технологічного процесу при виборі обладнання для оцінки його ефективності і порівняння питомих енерговитрат. Для цього вирази для визначення потужності повинні містити мінімальну кількість вихідних даних. Найбільш повно цим вимогам відповідає методика розрахунку запропонована в [10].

Енергетичний баланс для визначення потужності приводу обертання ротора представимо у вигляді

$$P_o = P_k + P_z + P_x, \quad (2)$$

де P_k — потужність, необхідна для надання кінетичної енергії рідини для проходження крізь пази ротора, Вт;

P_z — потужність, необхідна для подолання опору в трубопроводах, Вт;

P_x — потужність холостого ходу апарату, Вт;

$$P_k = \frac{\rho_m Q v^2}{2}, \quad (3)$$

де ρ_m — щільність молока, кг/м³;

Q — продуктивність апарату, м³/с;

v — середня швидкість рідини в отворах ротора, м/с.

$$v = \omega R_p, \quad (4)$$

де ω — кутова швидкість обертання ротора, с⁻¹;

R_p — зовнішній радіус ротора, м.

$$P_z = \Delta P \cdot Q, \quad (5)$$

де ΔP — різниця тиску на вході та виході з апарату, Вт.

Потужність холостого ходу не перевищує 5...10% від суми $P_k + P_z$ [11]

$$P_x = (0,05...0,10)(P_k + P_z), \quad (6)$$

Таким чином

$$P_o = (1,05...1,1) \frac{\rho_m Q \omega^2 R_p^2}{2} + \Delta P \cdot Q, \quad (7)$$

Потужність, що витрачається на вібрацію ротора P_v можна представити у вигляді двох складових: P_i — потужності, що витрачається на подолання сил інерції, що виникають при зворотно-поступальному руху ротора і валу та P_t — потужності, що витрачається на подолання сил тертя ротора о робоче середовище апарата.

Потужність P_v пов'язана з силою опору F_v співвідношенням

$$P = F \frac{dy}{dt}, \quad (8)$$

де y — осьове переміщення ротора при вібрації, м (див. рис.1);

t — час переміщення.

Сила інерції вібруючого ротору F_i визначається як

$$F_i = m \frac{d^2 y}{dt^2}, \quad (9)$$

де m — маса рухомих частин апарату (ротора і валу), кг.

Сила тертя ротора о робоче середовище апарата F_t визначається як [12]

$$F_m = \frac{S}{2} \rho_m \frac{(1 - S_c^2)}{c_0^2 \cdot S_c^2} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2, \quad (10)$$

де S — площа ротора, m^2 ;
 S_c — відносна площа, зайнята отворами, m^2 ; $S_c = S_{от}/S$;
 c_0 — коефіцієнт опору;
 $S_{от}$ — площа отворів ротора, m^2 .

Похідні за часом (швидкість та прискорення) можна зйти з залежності
 $\beta = 2\pi n t$. (11)

Для простих синусоїдальних коливань

$$\frac{dy}{dt} = \pi n s \cos \beta. \quad (12)$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -2\pi^2 n^2 s \sin \beta. \quad (13)$$

З урахуванням останніх виразів формули (9) та (10) приймають вигляд

$$F_i = -2m\pi^2 n^2 s \sin \beta. \quad (14)$$

$$F_m = \frac{\pi^2}{2} S \rho_m \frac{(1 - S_c^2)}{c_0^2 \cdot S_c^2} n^2 s^2 \cos^2 \beta. \quad (15)$$

Сила опору при осьовому переміщенні ротора дорівнює

$$F = \frac{\pi^2}{2} S \rho_m \frac{(1 - S_c^2)}{c_0^2 \cdot S_c^2} n^2 s^2 \cos^2 \beta - 2m\pi^2 n^2 s \sin \beta. \quad (16)$$

Рівняння потужності, що витрачається на вібрацію ротора має вигляд

$$P = \left(\frac{\pi^2}{2} S \rho_m \frac{(1 - S_c^2)}{c_0^2 \cdot S_c^2} n^2 s^2 \cos^2 \beta - 2m\pi^2 n^2 s \sin \beta \right) \pi n s \cos \beta. \quad (17)$$

Середнє значення потужності, що споживається можна визначити шляхом інтегрування

$$P_{сер} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} N dt. \quad (18)$$

При проведенні експериментальних досліджень роторно-пульсаційного апарату з вібруючим ротором з прямокутними отворами одержано емпіричне рівняння, за яким визначається потужність із задовільною точністю (похибка у межах 3–7%) [12]

$$P = 9 \cdot 10^6 S n^{2.85} \cdot s^{3.8}. \quad (19)$$

Таким чином загальна потужність приводу пульсаційного апарату з вібруючим ротором визначається з рівняння

$$P = (1,05 \dots 1,1) \frac{\rho_m Q \omega^2 R_p^2}{2} + \Delta P \cdot Q + 9 \cdot 10^6 S n^{2.85} \cdot s^{3.8}. \quad (20)$$

Висновки

Отримані залежності (7), (17), (18) і (20) містять мінімальну кількість конструктивних і режимних параметрів роторного апарату. Причому Q і ΔP задаються технічним завданням на апарат для роботи у конкретній технологічній лінії. Пропоновану методику розрахунку енерговитрат рекомендується використовувати на стадії технічного проектування пульсаційного апарату з вібруючим ротором. Це дозволяє визначити питомі витрати потужності роторного апарату і визначити ефективність його застосування, в порівнянні з іншим устаткуванням, використовуваним для проведення конкретного процесу. В подальших дослідженнях необхідно дослідити роботу роторно-пульсаційного апарату в резонансному режимі та розробити методику розрахунку енерговитрат для такого режиму.

Література

1. Нужин Е.В., Гладушняк А.К. Гомогенизация и гомогенизаторы / Нужин Е.В. Монография – Одесса: Печатный дом, 2007. – 264 с.

- Промтов М. А. Машины і апарати з імпульсними енергетичними діями на оброблювані речовини. – М.: «Видавництво Машиностроение-1», 2004. – 136 с.
- Фиалкова Е.А. Гомогенизация. Новый взгляд: Монография-справочник – Спб.: ГИОРД, 2006. – 392с.
- Самойчук К.О., Ковальов О.О. Експериментальні дослідження струминного гомогенізатора з розділним подаванням жирової фази / Обладнання та технології харчових виробництв : Донецьк – 2012.– Вип. 28. – С. 42-46.
- Иванец Г.Е. Интенсификация процессов гомогенизации и диспергирования при получении сухих, увлажненных и жидких комбинированных продуктов: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.18.12. – М.: 2001. – 52 с.
- Промтов М.А. Интенсификация химико-технологических процессов в импульсных потоках на примере гетерогенных систем (на примере процессов эмульгирования, диспергирования, растворения и экстрагирования): автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.08. – Тамбов, 2001. – 33 с.
- Балабудкин М.А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности. – М.: Медицина, 1983. – 160 с.
- Иванец Г.Е. Плотников В.А., Плотников П.В. Энергетическая характеристика роторно-пульсационного аппарата / Журн. приклад. химии. – 2000.– Т.73, № 9. – С. 1511 – 1514.
- Богданов В.В., Христофоров Б.А., Клоцунг Б.А. Эффективные малообъемные смесители. – Л.: Химия, 1989. – 224 с.
- Балабышко А.М., Юдаев В.Ф. Роторные аппараты с модуляцией потока и их применение в промышленности. – М.: Недра, 1992. – 176 с.
- Червяков В.М. Теоретические основы методов расчета роторных аппаратов с учетом нестационарных гидродинамических течений: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук.: 05.02.13 "Машины, агрегаты и процессы" Тамбов, 2007. – 35с.
- Городецкий И.Я., Васин А.А., Олевский В.М., Лупанов П.А. Вибрационные массообменные аппараты. – М.: Химия, – 1980. – 192с.

УДК 66.081.6: 637.142.2

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ НАНОФІЛЬТРАЦІЇ ТА ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ ПРИ РОЗДІЛЕННІ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ

Змієвський Ю.Г. к.т.н., Киричук І.І. аспірант, Мирончук В.Г. д.т.н., проф.
Національний університет харчових технологій, м. Київ

В даній роботі наведені результати експериментальних досліджень процесів розділення молочної сироватки нанофільтрацією та зворотнім осмосом. Визначені їх основні переваги та недоліки, що обумовлюють вибір відповідного процесу при переробці молочної сироватки. Встановлено, що за допомогою нанофільтрації можна частково знесолити розчин, а зворотнім осмосом – отримати фільтрат (пермеат) з незначним вмістом розчинених сполук.

This paper presents the results of experimental studies of whey separation by nanofiltration and reverse osmosis. The main advantages and disadvantages of these processes were determined that influence the choice of appropriate process at whey separation. It was found out that due to nanofiltration we can partially demineralize solution and after reverse osmosis we can obtain permeate with the small amount of solutes.

Ключові слова: нанофільтрація, зворотний осмос, молочна сироватка

Останнім часом молокопереробні заводи України активно почали переробляти молочну сироватку, що в першу чергу пов'язано з просуванням на внутрішній ринок сучасних технологій, які базуються на мембранних процесах. В більшості випадків впроваджуються баромембранні процеси (мікро-, ультра-, нанофільтрація та зворотній осмос), для яких рушійною силою є різниця тисків по різні сторони напівпроникної мембрани [1]. Мікрофільтрація та ультрафільтрація застосовуються для відділення або концентрування високомолекулярних сполук: залишків казеїну, молочного жиру та білків, в той час, як нанофільтрація та зворотній осмос – для концентрування практично всіх компонентів молочної сироватки.