

EQUALIZATION OF CHANGE OF SQUARE OF FLOW SECTION OF MODULATOR IN PULSATION MACHINE WITH A VIBRATING ROTOR

K. Samoichuk, A. Ivzhenko

Tavrisheskiy State Agrotechnology University

Key words:

*Rotor-pulsation machine
Pulsation machine with a
vibrating rotor
Dispergator
Square of modulator*

Article history:

Received 14.03.2015
Received in revised form
28.03.2015
Accepted 07.04.2015

Corresponding author:

K. Samoichuk
E-mail:
office@tsatu.edu.ua

ABSTRACT

The article analyzes the existent analytical models of square change of the flow section of modulator in rotor-pulsation machines. Features of application of such functions for a pulsation machine with a vibrating rotor are determined, taking into account the basic mechanism of dispergating of emulsions. In order to meet the requirements of creation of harmonious emulsion pulsations in the openings of modulator for synchronization with the axial vibrations of rotor and equality of terms of velocity pulsations of emulsion in every channel of stator and rotor, the equalization of the square change of the flow section of modulator is determined in the pulsation machine with a vibrating rotor as a continuous function, using classic hydraulic and mathematical dependences. It considerably simplifies the mathematical description of a function, as well as further creation of analytical model of motion of the emulsion in the machines of such type. The obtained equalization is essential for determining such parameters as instantaneous speed, acceleration of emulsion and diameter of dispersible phase after processing.

РІВНЯННЯ ЗМІНИ ПЛОЩІ ПРОХІДНОГО ПЕРЕТИНУ МОДУЛЯТОРА В ПУЛЬСАЦІЙНОМУ АПАРАТІ З ВІБРУЮЧИМ РОТОРОМ

К.О. Самойчук, А.О. Івженко

Таврійський державний агротехнологічний університет

У статті проаналізовано існуючі аналітичні моделі зміни площі прохідного перетину модулятора в роторно-пульсаційних апаратах. Визначено особливості застосування цих моделей для пульсаційного апарата з вібруючим ротором, враховуючи переважний механізм диспергування емульсії. Використовуючи класичні гідравлічні та математичні залежності для виконання вимоги створення гармонійних пульсацій емульсії в отворах модулятора для синхронізації з осьовими коливаннями ротора й рівності умов пульсацій швидкості емульсії в кожному каналі статора і ротора, знайдено рівняння зміни площі прохідного перетину модулятора в пульсаційному апараті з

вібруючим ротором у вигляді безперервної функції. Це значно спрощує математичний опис функції і подальшу аналітичну модель руху емульсії в апаратах такого типу. Отримане рівняння є необхідним при визначенні таких характеристик, як миттєва швидкість і прискорення емульсії та діаметр дисперсної фази після обробки.

Ключові слова: *роторно-пульсаційний апарат, пульсаційний апарат з вібруючим ротором, диспергатор, гомогенізатор, площа модулятора.*

Постановка проблеми. Диспергування широко застосовується у виробництві вершкового масла, маргарину, майонезу, кремів, продуктів з біологічно активними добавками тощо. Особливо енерговитратним процесом є диспергування жирової фази молока, так звана гомогенізація молока. Зважаючи на очевидну актуальність проблеми зниження енерговитрат процесу гомогенізації у молочній промисловості, розроблений широкий ряд апаратів для гомогенізації, такі як клапанні, пульсаційні, вакуумні, струминні, ультразвукові, роторні тощо. Однак жоден з них не суміщає у собі високий ступінь подрібнення жирових кульок молока (як, наприклад, у клапанних) з невисокими енерговитратами [1, 2]. Наближаються до таких “ідеальних” апаратів роторно-пульсаційні гомогенізатори, ротор яких поряд з обертальним рухом здійснює коливальні рухи вздовж вісі обертання — так звані пульсаційні апарати з вібруючим ротором (ПА з ВР) [3, 4]. Якість гомогенізації при обробці молока в таких машинах не менша, ніж у клапанних, а енерговитрати у 4—5 разів менші [4]. Для впровадження таких апаратів у виробництво необхідно розробити методику розрахунку конструктивних і режимних параметрів.

Під час попередніх досліджень визначено, що в ПА з ВР руйнування жирових кульок переважним чином відбувається за механізмом нестійкості Релея-Гейлора, де діаметр дисперсійної частки залежить від прискорення потоку рідини при русі молочної емульсії крізь канали переривника ПА (отвори ротора та статора) [5]. Прискорення потоку молока викликає різницю швидкості (ковзання) жирової кульки відносно молочної плазми, яка і призводить до руйнування жирової частки. Для визначення середнього розміру жирової кульки після гомогенізації необхідно розрахувати величину середнього прискорення молочної емульсії. Для цього потрібно розв’язати рівняння зміни площі перерізу модулятора ПА з ВР.

У роторно-пульсаційних апаратах (РПА) закон зміни площі прохідного перерізу модулятора за часом $S(t)$ головним чином визначає величину імпульсів тиску і, як наслідок, інтенсивність кавітації, що вважається головною причиною руйнування дисперсної фази в роторно-пульсаційних диспергаторах. Для створення розрідження в каналах статора РПА, що необхідно для виникнення кавітації, необхідне раптове (швидке) закриття модулятора. Через це отвори РПА мають прямокутну форму і зазор δ намагаються зробити якомога меншими. Крім того, найважливішим проміжком часу в роботі РПА є закриття отворів модулятора. Неточності при описі функції $S(t)$ на цьому проміжку призводять до істотних помилок у визначенні величини імпульсів тиску, а отже, й ефективності роботи РПА в цілому.

Для отворів статора і ротора прямокутної форми рівняння $S(t)$ представляє собою трапецію на інтервалі процесу відкривання та закривання отворів [6]. Отвори овальної форми приводяться до прямокутної за допомогою відповідних виразів. Унаслідок малих зазорів, які необхідні в РПА, що проектується для отримання максимальної кавітації, проміжком між ротором і статором нехтують. Для ПА з ВР немає необхідності у створенні мінімального зазору, тому його величиною неможна зневажати.

У [7, 8, 9] функція $S(t)$ для початку процесу закривання отворів має розрив похідної, що неприпустимо. Основна причина цього — представлення функції $S(t)$ у вигляді кускової функції. Цикл зміни площі переривника поділяють на 4 дільниці: відкривання отворів модулятора, повністю відкриті отвори, закривання отворів і повністю закриті отвори, для кожної з яких визначають свою функцію $S(t)$. У [10] запропонована модель зміни $S(t)$, яка враховує течію через зазори модулятора не тільки за шириною, але й за висотою каналу модулятора, але використання її обмежена РПА з малими δ .

Таким чином, на сьогодні розроблені достатньо інформативні математичні моделі зміни площі прохідного перетину модулятора РПА. Основними недоліками цих моделей є громіздкість і обмеженість — застосування рівнянь для розрахунку РПА тільки з великими або тільки з малими зазорами між ротором і статором.

Для ПА з ВР визначальним фактором гомогенізації є прискорення руху емульсії в отворах модулятора, тому немає необхідності у створенні мінімальних зазорів δ , можливо використовувати отвори модулятора круглої форми, що технологічно простіше і не потребує абсолютно точного опису функції $S(t)$ при закриванні отворів модулятора.

Мета статті. Описати залежність $S(t)$ безперервною функцією для уникнення зайвої громіздкості та можливості отримання зручних для використання при розрахунку ПА з ВР залежностей.

Результати і обговорення. Розрахункова схема пульсаційного апарата з вібруючим ротором представлена на рис. 1.

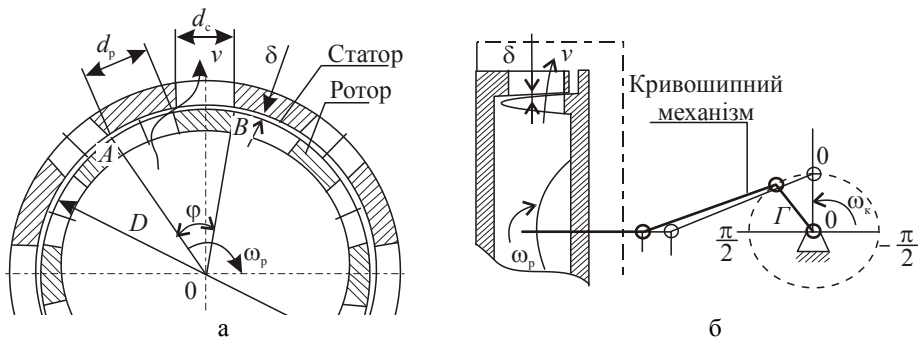


Рис. 1. Схема обертового і коливального рухів ротора ПА:

а — обертового руху ротора; б — коливального руху вздовж вісі ротора

Для виконання вимоги створення гармонійних пульсацій емульсії в отворах ПА для синхронізації з осьовими коливаннями ротора і рівності умов

пульсацій швидкості емульсії V в кожному каналі статора і ротора необхідне виконання умов рівності:

- кількість отворів ротора і статора $z_p = z_c = z$;
- діаметрів отворів ротора і статора $d_p = d_c$.

Приймаємо, що ротор обертається з постійною кутовою швидкістю ω_p , а кривошип приводу осьових рухів ротора — зі швидкістю ω_k .

У положенні ротора, що зображене на рис. 1а, отвори статора повністю закриті проміжками між отворами ротора. Площа переривника ПА з ВР S при цьому мінімальна і дорівнює:

$$S_{\min} = \pi d_p \delta z, \quad (1)$$

де δ — радіальний зазор між ротором і статором, м.

При обертанні ротора зі швидкістю ω_p у певний момент часу отвори ротора збігатимуться з отворами статора. У цьому положенні площа переривника сягає максимального значення:

$$S_{\max} = \frac{\pi d_p^2}{4} z. \quad (2)$$

При повертанні ротора з точки A в точку B (рис. 1а) площа знову набуде мінімального значення. При подальшому обертанні цикл зміни площі переривника повторюється.

Зміна площі отворів переривника ПА з круглими отворами із задовільною точністю описується рівняннями (у безрозмірній формі, де за $S(t)_{\max} = 1$ при $\delta = 0$)

$$S(t) = \frac{1}{2} + \frac{\sin(t\omega_p z - \frac{\pi}{2})}{2}, \quad (3)$$

Або, враховуючи, що $t = \varphi / \omega_p$, у функції від кута повороту, де в момент часу $t = 0$ відповідає такий φ , при якому отвори ротора перекриті проміжками між отворами статора (рис. 1).

$$S(\varphi) = \frac{1}{2} + \frac{\sin\left(\varphi z - \frac{\pi}{2}\right)}{2}, \quad (4)$$

де φ — кут повороту ротора, рад.

Час циклу-зміни площі перерізу модулятора $t_{\text{ц}}$ дорівнює:

$$t_{\text{ц}} = 2\pi / z\omega_p. \quad (5)$$

З урахуванням зазору між статором і ротором δ у функції від кута повороту ротора залежність (4) набуває вигляду (рис. 2):

$$S(\varphi) = S_{\max} \left(\frac{1}{2} + \frac{\sin\left(\varphi z - \frac{\pi}{2}\right)}{2} \right) + S_{\min}, \quad (6)$$

де S_{\max} — максимально можлива площа переривника ПА, м²; S_{\min} — мінімально можлива площа переривника ПА (при закритих отворах ротора), м².

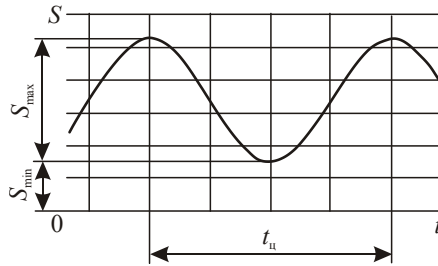


Рис. 2. Характер зміни площі модулятора ПА з ВР

З урахуванням (1) і (2) формула (6) набуває вигляду:

- у функції часу:

$$S(t) = \frac{\pi d_p^2 z}{8} \left(1 + \sin \left(t \omega_p z - \frac{\pi}{2} \right) \right) + \pi d_p \delta z ; \quad (7)$$

- у функції кута повороту ротора:

$$S(\varphi) = \frac{\pi d_p^2 z}{8} \left(1 + \sin \left(\varphi z - \frac{\pi}{2} \right) \right) + \pi d_p \delta z . \quad (8)$$

Кількість отворів ротора пов'язана з діаметром ротора D , м і діаметром отворів співвідношенням, яке впливає з очевидних геометричних перетворень:

$$d_p = \frac{\pi D}{2z} . \quad (9)$$

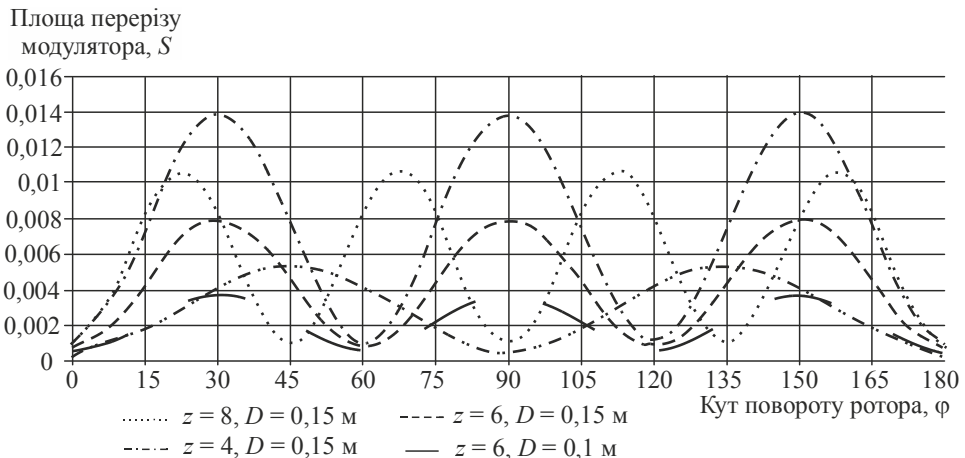


Рис. 3. Залежності площі перерізу модулятора від діаметра ротора і кількості отворів при $\delta = 1$ мм

З урахуванням останнього виразу формули (7) і (8) набувають вигляду:

- у функції часу:

$$S(t) = \frac{\pi^2 D}{2} \left(\frac{\pi D}{16z} \left(1 + \sin \left(t\omega_p z - \frac{\pi}{2} \right) \right) + \delta \right); \quad (10)$$

- у функції кута повороту ротора:

$$S(\varphi) = \frac{\pi^2 D}{2} \left(\frac{\pi D}{16z} \left(1 + \sin \left(\varphi z - \frac{\pi}{2} \right) \right) + \delta \right). \quad (11)$$

Зміна кількості отворів істотно змінює фазу коливання площі перерізу модулятора (рис. 3). Діаметр ротора найбільше впливає на величину площі перерізу модулятора, не змінюючи його фази. Збільшення діаметра ротора призводить до збільшення площі перерізу модулятора S приблизно у D^2 разів.

Висновки

Зміну площі прохідного перерізу модулятора РПА представляють у вигляді кускової функції — набором рівнянь на різних проміжках часу, що підвищує складність математичного опису процесу. При описі цієї функції для ПА з ВР унаслідок використання круглих отворів і рівності їх кількості в роторі та статорі стало можливим із задовільною точністю використати безперервну функцію, що значно спрощує подальший математичний опис процесу руху рідини в переривнику апарата. Рівняння не мають обмежень на величину зазору між ротором та статором і можуть бути використані при розрахунку ПА з ВР з будь-якими зазорами між ротором і статором.

Отримана функція є необхідною при визначенні таких важливих характеристик ПА з ВР, як миттєва швидкість, прискорення та ступінь дисперсності жирової емульсії після обробки.

Література

1. *Нужин Е.В.* Гомогенизация и гомогенизаторы / Е.В. Нужин, А.К. Гладушняк. Монография. — Одесса: Печатный дом, 2007. — 264 с.
2. *Фиалкова Е.А.* Гомогенизация. Новый взгляд: Монография-справочник / Е.А. Фиалкова — Спб.: ГИОРД, 2006. — 392 с.
3. Пат. 2203728 РФ, МКИ7 В 01 F 7/00. Роторно-пульсационный аппарат с вибрирующим ротором / Иванец Г.Е., Плотников В.А., Сафонова Е.А., Артемасов В.В. и др. (РФ) // — № 2001111249/12; заявл. 23.04.2001; опубл. 10.05.2003, Бюл. № 13.
4. *Самойчук К.О.* Експериментальні дослідження диспергування жирової емульсії в пульсационному апараті з вібруючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івженко // Обладнання та технології харчових виробництв. — 2013. — Вип. 30. — С. 155—161.
5. *Самойчук К.О.* Механізми диспергування жирової фази в пульсационному апараті з вібруючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івженко // Праці ТДАТУ.: Мелітополь. — 2013. — Вип. 13, Т. 7. — С. 11—20.
6. *Балабудкин М.А.* Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности / М.А. Балабудкин. — М.: Медицина, 1983. — 160 с.
7. *Юдаев В.Ф.* Роторные аппараты с модуляцией потока и импульсным возбуждением кавитации для интенсификации процессов химической технологии: дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.08 / Юдаев Василий Фёдорович. — М., 1984. — 454 с.
8. *Юдаев В.Ф.* Методы расчёта гидравлических и динамических характеристик модулятора роторного аппарата / В.Ф. Юдаев, А.И. Зимин, Л.Г. Базадзе // Изв. вузов. Машиностроение. — 1985. — № 1. — С. 65—70.

9. Юдаев В.Ф. Гидромеханические процессы в роторных аппаратах с модуляцией проходного сечения потока обрабатываемой среды / В.Ф. Юдаев // Теорет. основы хим. технологии. — 1994. — Т. 28, № 6. — С. 581—590.

10. 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» / В.М. Червяков. — Тамбов, 2007. — 35 с.

УРАВНЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ ПРОХОДНОГО СЕЧЕНИЯ МОДУЛЯТОРА В ПУЛЬСАЦИОННОМ АППАРАТЕ С ВИБРИРУЮЩИМ РОТОРОМ

К.О. Самойчук, А.А. Ивженко

Таврический государственный агротехнологический университет

В статье приведен анализ существующих аналитических моделей изменения площади проходного сечения модулятора в роторно-пульсационных аппаратах. Определены особенности применения этих моделей для пульсационного аппарата с вибрирующим ротором с учетом основного механизма диспергирования эмульсий. Используя классические гидравлические и математические зависимости, для выполнения требования создания гармоничных пульсаций эмульсии в отверстиях модулятора для синхронизации с осевыми колебаниями ротора и равенства условий пульсаций скорости эмульсии в каждом канале статора и ротора, определено уравнение изменения площади проходного сечения модулятора в пульсационном аппарате с вибрирующим ротором в виде непрерывной функции. Это значительно упрощает математическое описание функции и дальнейшую аналитическую модель движения эмульсии в аппаратах такого типа. Полученное уравнение является необходимым при определении таких характеристик, как мгновенная скорость, ускорение эмульсии и диаметр дисперсной фазы после обработки.

Ключевые слова: *роторно-пульсационный аппарат, пульсационный аппарат с вибрирующим ротором, диспергатор, площадь модулятора.*