

УДК 664.061.4:084

STUDY OF ENERGY INDICATORS OF PERIODIC VIBRO-EXTRACTION

V. Zavialov, T. Misyura, V. Bodrov, N. Popova, J. Zaporozhets, V. Dekanskiy
National University of Food Technologies

Key words:

Vibro-extraction
Energy costs
Operating parameters
Hydraulic resistance
Work environment
Pulsating flow
Batch process
Power

ABSTRACT

Current research deals with energy costs of periodic and continuous vibro-extraction process of plant material. It has been determined that vibration stirring during vibro-extraction process allows more efficient use of energy invested per unit volume of the vehicle, evenly distributing it to the cross section of the device. This data can be used to create a compact mass exchange apparatus having high unit capacity. The method of calculating the energy consumption for this process has been proposed.

Article history:

Received 15.07.2014
Received in revised form
22.07.2014
Accepted 07.08.2014

Corresponding author:

V. Zavialov
Email:
npnuht@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОЦЕСУ ПЕРІОДИЧНОГО ВІБРОЕКСТРАГУВАННЯ

В.Л. Зав'ялов, Т.Г. Мисюра, В.С. Бодров, Н.В. Попова, Ю.В. Запорожець,
В.Є. Деканський

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено енерговитрати на періодичний процес віброекстрагування з рослинної сировини. Встановлено, що вібраційне перемішування при віброекстрагуванні надає можливість більш ефективно використати енергію, що вкладається в одиницю робочого об'єму двофазової системи, рівномірно розподіляючи її у поперечному перерізі апарата, що може бути використано під час створення компактних масообмінних апаратів великої одиничної продуктивності. Запропоновано методу розрахунку енерговитрат на процес.

Ключові слова: *віброекстрагування, витрати енергії, режимні параметри, гідравлічний опір, робоче середовище, пульсуючий потік, періодичний процес, потужність.*

Вступ. Конструкції основних вузлів віброекстракційних апаратів відрізняються від традиційних екстракторів, що викликає необхідність пошуку й розроблення їх привідної та віброперемішувальної систем. Унаслідок цього віброекстрактори мають іншу, відмінну структуру гідродинамічних потоків та особливості енерговитрат на процес. Разом з тим, у більшості випадків відомі методи розрахунку їх енергетичних характеристик є непридатними для практичного використання, тому до сьогодення залишається нез'ясованою низка важливих енергетичних питань, вирішення яких сприятиме цілеспрямованому конструюванню апаратів такого типу.

Оцінювання витрати енергії при віброперемішуванні, як і при інших механічних способах інтенсифікації екстрагування, можливо виконати на основі встановлення залежності критерію потужності від критерія Рейнольдса. У такому випадку для кожної конструкції апарата залежність, яку можна отримати на основі результатів випробувань, матиме конкретний вигляд. Слід зазначити, що навіть незначні конструктивні зміни апаратів вимагають проведення спеціальних досліджень у лабораторних або промислових умовах. Інший можливий шлях визначення витрати енергії при віброперемішуванні — розрахунок усіх енергетичних витратних складових, а саме: енергії на подолання сил інерції, що виникають при зворотно-поступальному русі коливальних рухомих частин апарата, енергії на переміщення вверх-униз перемішувальних пристроїв, їх допоміжних і приводних елементів, а також енергії на подолання сил тертя перемішувальних пристроїв об робоче середовище.

Постановка завдання. Встановити вплив режимних і конструктивних параметрів на енергетичні витрати в умовах періодичного процесу з урахуванням особливостей віброекстрагування цільових компонентів із рослинної сировини.

Виклад основного матеріалу. Досліджувався вплив низькочастотних механічних коливань як джерела створення пульсуючих вібротурбулізуючих знакозмінних струменів у системі рідина — тверде тіло на енерговитрати при періодичному екстрагуванні з рослинної сировини.

Конструкція віброекстрактора періодичної дії (рис.1) має циліндричний корпус 1 діаметром 0,31м і висотою 0,4 м, в якому розміщено віброперемішувальну систему, що складається з гнучкого контейнера 5 спеціальної конструкції, закріпленого на сітчастій опорі 7 та з'єднаного штоком 3 через верхній перфорований диск 4 з віброприводом 2.

В апараті передбачена можливість створення турбулентних пульсуючих знакозмінних потоків, напрямлених як до периферії апарата, так і до центральної його частини. Гідродинамічні властивості цих потоків визначають їх дію як турбулізуючого фактора на мікрорівні й макромасштабного фактора, що усуває застійні зони.

Екстрактор працює таким чином: у підготовлений та очищений гнучкий контейнер 5 екстрактора завантажують сировину, закривають кришку апарата 11 і після заповнення екстрагентом робочого об'єму апарата вмикають вібропривід 2. При цьому екстрагент починає вільно перемішуватися в центральній і периферійній зоні всього робочого об'єму апарата.

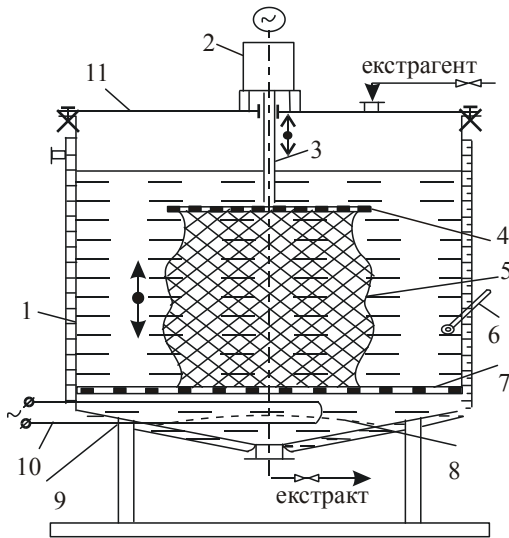


Рис.1. Схема лабораторного віброекстрактора періодичної дії:

- 1 — корпус апарата; 2 — вібропривід; 3 — штوک;
4 — перфорований диск; 5 — гнучкий контейнер;
6 — термометр; 7 — сітчаста опора; 8 — фільтр;
9 — оболонка; 10 — нагрівальний елемент; 11 — кришка

міші в об'ємі апарата віброперемішувальними пристроями різних конструкцій [1, 3] здійснювалось у системі чайна сировина — вода за коефіцієнтом розчинення модельних зразків сірчаноокислого алюмінію за методикою, описану у [3].

Потужність, необхідна для виконання роботи при віброперемішуванні, визначалась електричним методом за різницею потужностей робочого і холостого ходу (без робочого середовища) з урахуванням втрат на активний опір електродвигуна за рівнянням:

$$N = N_{\text{роб}} - N_x - (I_{\text{роб}}^2 - I_x^2)R, \quad (1)$$

де N — загальна потужність, необхідна для виконання роботи при віброперемішуванні, Вт; $I_{\text{роб}}$, $N_{\text{роб}}$ — відповідно сила струму і потужність, необхідна для виконання роботи під час робочого ходу, А, Вт; I_x , N_x — відповідно сила струму і потужність, необхідна для виконання роботи холостого ходу, А, Вт; $R = 20$ Ом — активний опір електродвигуна привода установки. Електрична схема вимірювань показана на рис.2.

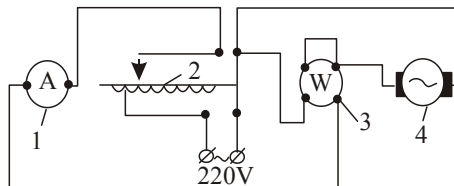


Рис.2. Принципова схема лабораторних електровимірювань:

- 1 — амперметр; 2 — автотрансформатор (ЛАТР); 3 — ватметр; 4 — електродвигун

При робочій амплітуді та частоті коливань вібраційної системи інтенсивність перемішування оцінюється швидкістю обтікання екстрагентом поверхні частинок твердої фази. Пульсуючий потік середовища, генерований перфорованою перегородкою 4, спрямований також до дна апарата, збудує шар частинок у контейнері 5. За відсутності парової мережі апарат обігрівають гарячою водою через оболонку 9 від зовнішнього підігрівача або електронагрівальних елементів 10.

Встановлення зв'язку між параметрами коливань робочих органів і витратою енергії на створення коливань, а також дослідження енерговитрат на турбулізацію двофазової суміші

При зміні параметрів коливань віброперемішувальної системи встановлювалась залежність питомої потужності від інтенсивності коливань для апарата періодичної дії з гнучким контейнером (рис.3) у координатах $N/(\rho nF) = \varphi(Af)$, де ρ — густина робочого середовища, кг/м^3 ; n — кількість вібрувальних елементів (тарілок); F — площа поперечного перерізу апарата, м^2 ; $A \cdot f$ — інтенсивність коливань віброперемішувальної системи, м/с .

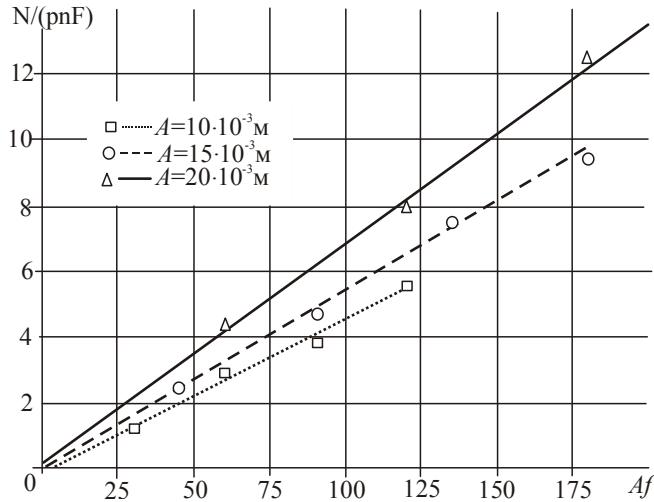


Рис.3. Залежність питомої потужності на періодичний процес віброекстрагування від інтенсивності коливань віброперемішувальної системи для різних амплітуд її коливань

Як видно з графіка на рис.3, питома потужність, необхідна для здійснення роботи при віброперемішуванні, суттєво залежить від параметрів коливань віброперемішувальної системи. Причому амплітуда коливань більше впливає на енерговитрати, ніж частота.

Аналізуючи розмірність складових комплексу ординати наведеного графіка, є очевидним його фізичний зміст: $(\text{Вт/кг})/(\text{м}^2/\text{м}^3)$ — відношення питомої енергії до питомої об'ємної поверхні контакту фаз.

На цьому ж графіку нанесено відповідні розрахункові дані для амплітуди коливань $A = 15 \cdot 10^{-3}$ м за методикою, що пропонується для визначення енерговитрат при перемішуванні в умовах періодичного віброекстрагування. Характер розташування цих точок підтверджує правомірність використання такої методики для інженерних розрахунків. Представлені графічні залежності показують, що витрата енергії збільшується із збільшенням інтенсивності коливань віброперемішувальної системи.

На рис.4 показана залежність коефіцієнта розчинення модельних зразків сірчаноокислого алюмінію від споживаної потужності при віброперемішуванні.

Із рис. 4 видно, що при інтенсифікації зовнішнього масоперенесення в системі тверде тіло — рідина за моделлю, що використовується, з режимних параметрів роботи періодично діючого віброекстрактора встановлено, що амплітуда коливань чинить найбільший вплив, але разом з тим призводить до більших енерговитрат, тому рекомендованою слід вважати частоту до 9 Гц при амплітудах віброперемішувальної системи до $20 \cdot 10^{-3}$ м.

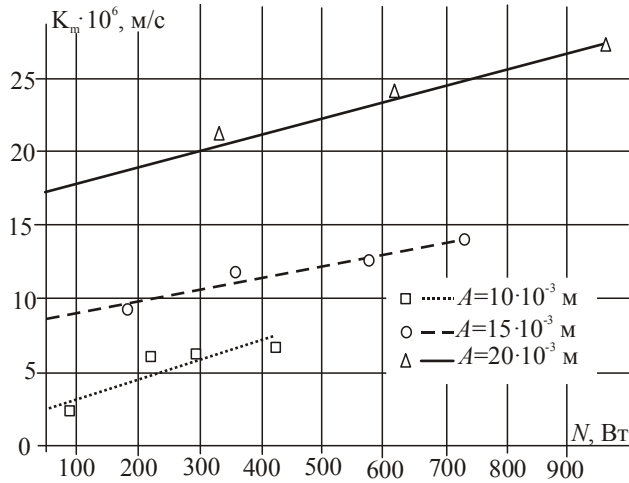


Рис.4. Залежність коефіцієнта розчинення (масовіддачі) модельного зразка сірчаноокислого алюмінію від потужності на віброперемішування

Таким чином, враховуючи реалії періодичного віброекстрагування для розрахунку енерговитрат на процес, як приклад, для розробленої нами більш складної конструкції віброекстрактора періодичної дії з гнучкими мембранами [1] пропонується такий порядок розрахунку відповідних показників для встановлення енергетичних витрат:

Об'єм суміші, що переміщується однією мембраною в межах однієї комірки, м³:

$$V_k = 0,393AD^2, \quad (2)$$

де A — амплітуда коливань мембрани, м; D — діаметр мембрани, м.

Маса суміші, яка переміщується однією мембраною в робочому об'ємі в межах однієї комірки, кг:

$$M_m = V_k \rho_{\text{сум}}, \quad (3)$$

де ρ — густина суміші, кг/м³.

Маса суміші, яку N мембран екстрактора переміщують вгору або вниз, кг:

$$M_{\text{м.е}} = M_m N_k. \quad (4)$$

Сила, що потрібна на переміщення маси суміші, Н:

$$\text{- вгору} \quad F_B = M_e (a + g); \quad (5)$$

$$\text{- вниз} \quad F_H = M_e (a - g), \quad (6)$$

де a — прискорення, що надається суміші мембраною, м/с²; g — прискорення вільного падіння, м/с²; A — амплітуда коливань мембрани, м; f — частота коливань, с⁻¹.

Робота на переміщення маси суміші всіма N тарілками, Дж:

$$A_{\text{ме}} = 2(F_B + F_H) A. \quad (7)$$

Потужність на переміщення маси суміші, Вт:

$$N_{\text{ме}} = A_{\text{ме}} N. \quad (8)$$

Потужність на переміщення мас N мембран і мас рухомих вузлів віброприводу, Вт:

$$N_{\text{ТВ}} = 2(A_{\text{T}} + A_{\text{В}}) A, \quad (9)$$

де A_{T} — робота на переміщення маси мембран, Дж:

$$A_{\text{T}} = M_{\text{T}}(a + g) + M_{\text{T}}(a - g) = 2aM_{\text{T}}; \quad (10)$$

$A_{\text{В}}$ — робота на переміщення маси рухомих вузлів, Дж:

$$A_{\text{В}} = 2aM_{\text{В}}, \quad (11)$$

де M_{T} , $M_{\text{В}}$ — відповідно сумарні маси мембран та рухомих вузлів, кг; a — прискорення руху мембран та руху вузлів, м/с^2 .

Потужність на подолання опору середовища вібрувального робочого елемента при русі мембрани вгору і вниз:

$$N_{\text{оп}} = w_0 \frac{\pi d_{e_i}^2}{4} \cdot \Delta p_i, \quad (12)$$

де $\Delta p_i = \rho \frac{w_0^2}{2} (\xi_0 + \xi_3)$ — перепад тиску по обидві сторони мембрани; ξ_0 , ξ_3 — коефіцієнти місцевих гідравлічних опорів при перетоку робочого середовища через отвори в мембрані та перетоку через зазор між корпусом і мембраною; $w_0 = 2Af(1 - \varepsilon)/\varepsilon$ — початкова середньоінтегральна за період коливань швидкість пульсуючих потоків; A , f — відповідно амплітуда та частота коливань; ε — відносний загальний вільний переріз мембрани.

Сумарна потужність на переміщення мас суміші, мембран і рухомих вузлів апарата, Вт:

$$N_3 = (N_{\text{ме}} + N_{\text{ТВ}} + N_{\text{оп}}) \quad (13)$$

Розрахункова загальна потужність віброприводу для здійснення роботи при віброперемішуванні для даного типу віброекстрактора періодичної дії, Вт:

$$N_{\text{ВП}} = \frac{(N_{\text{ме}} + N_{\text{ТВ}} + N_{\text{оп}})}{\eta_{\text{п}}}, \quad (14)$$

де $\eta_{\text{п}}$ — загальний ККД приводу.

Висновки

Перевага вібраційного способу перемішування в умовах процесу твердофазового екстрагування, порівняно з перемішуванням найбільш перспективною на сьогодні турбінною мішалкою, досягається за рахунок кращої масообмінної й енергетичної реалізації пульсуючих потоків робочого середо-

вища. Потужність, необхідна для здійснення роботи при віброперемішуванні, визначається силою інерції при коливальному русі і силою опору, створеною в'язким тертям перемішувального пристрою у в'язкому робочому середовищі. Отже, технологічні й енергетичні характеристики віброекстракторів роблять їх конкурентоспроможними на вітчизняному та світовому ринку екстракційного обладнання.

Література

1. Патент 99991 UA на винахід, МПК В01D 11/02 (2006.01) Віброекстрактор / Зав'ялов В.Л., Бодров В.С., Попова Н.В., Мисюра Т.Г., Варганова І.В., Мілютін О.І.; заявник Національний університет харчових технологій. — № u201112896; заявл. 02.11.2011; опубл. 25.10.2012, Бюл. № 20, 2012 р.
2. Патент 14515 UA, МПК В01D 11/2 (2006) Вібраційний Екстрактор / Бодров В.С., Зав'ялов В.Л., Попов Н.В., Мисюра Т.Г.; заявник Національний університет харчових технологій. — № u 200511361; заявл. 30.11.2005; опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5, 2006 р.
3. Патент 85436 UA, МПК В01D 11/2 (2009) Екстрактор / Зав'ялов В.Л., Попов Н.В.; заявник Національний університет харчових технологій. — № a200703027; заявл. 22.03.2007; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2, 2009 р.
4. Лобода П.П., Стабников В.Н. Влияние интенсивности механических колебаний на скорость растворения // Пищевая технология. — 1965. — № 2. — С. 165—170.
5. Вибрационные массообменные аппараты / И.Я. Городецкий, А.А. Васин, В.М. Олевский, П.А. Лупанов; Под ред. В.М. Олевского. — М.: Химия, 1980. — 192 с.
6. Плановський А.Н. Процеси і апарати хімічної і нафтехімічної технології. / А.Н. Плановський, П.І. Николаєв. — М., Хімія, 1972. — С. 493.
7. Карпачева С.М. Применение пульсационной техники для интенсификации химического производства / С.М. Карпачева, Л.С. Рагинский, Л.П. Хорхорина // Журнал прикладной химии. — 1986. — № 9. — С. 195.
8. Карпачева С.М., Рябчикова Б.Е. Пульсационная аппаратура химической технологии. — М.: Химия, 1983. — 224 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ПЕРИОДИЧЕСКОГО ВИБРОЭКСТРАГИРОВАНИЯ

В.Л. Зав'ялов, Т.Г. Мисюра, В.С. Бодров, Н.В. Попова, Ю.В. Запорожец, В.Е. Деканский

Національний університет пищевых технологий

В статье представлены результаты исследования энергозатрат на периодический процесс виброэкстрагирования из растительного сырья. Установлено, что вибрационное перемешивание при виброэкстрагировании позволяет более эффективно использовать энергию, вкладываемую в единицу рабо-

чего объема двухфазной системы, равномерно распределяя ее в поперечном сечении аппарата, что может быть использовано при создании компактных массообменных аппаратов большой единичной производительности. Предложена методика расчета энергозатрат на процесс.

Ключевые слова: виброэкстрагирование, расход энергии, режимные параметры, гидравлическое сопротивление, рабочая среда, пульсирующий поток, периодический процесс, мощность.