

Л. Ф. Павлоцька, В. І. Жогло: Харківський державний університет харчування та торгівлі – №200602841; Заяв. 13.03.2006; Опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1.

Стаття надійшла до редакції 10.09.2015

УДК 664.661.12.021.3

Білонога Ю. Л.¹, д. т. н., професор, **Білонога Д. М.²**, к. фіз.-мат. н., доцент,
Максисько О. Р.¹, к. т. н., доцент, **Турчин І. М.¹**, к. т. н., доцент,
Варивода Ю. Ю.¹, к. т. н., доцент ©

¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького., Україна

²Національний Університет «Львівська Політехніка», Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО ШАРУ З ВРАХУВАННЯМ «ЕКВІВАЛЕНТНОГО ДІАМЕТРА КАНАЛІВ»

Визначені пріоритетні шляхи оптимізації параметрів псевдозріженого шару (ПЗШ) в системі тверде тіло – рідина (ТТ-Р) або тверде тіло – газ (ТТ-Г). Виведена формула 6 для оптимізації співвідношень «еквівалентного діаметра каналів» у ПЗШ до середньої товщини ламінарного приповерхневого шару (ЛПШ), що виникає навколо окремої твердої частинки в ПЗШ..

Представлена також нерівність параметрів оптимізації в ПЗШ для системи ТТ-Р або ТТ-Г, яка включає параметр оптимізації B , що виведений нами раніше [1,2], а також оптимальну неоднорідність і оптимальну висоту ПЗШ. Показано, що виведені формули розрахунку параметра оптимізації дифузійних процесів B , середньої оптимальної товщини ЛПШ, співвідношень «еквівалентного діаметра каналів» у ПЗШ до середньої товщини ЛПШ можуть застосовуватися для мінімізації енерговитрат в умовах тепло- масообмінних процесів, зокрема сушіння, екстрагування та інші в полі гравітаційних та відцентрових сил. Розраховані критерії оптимізації B , співвідношення «еквівалентного діаметра каналів» у ПЗШ до середньої товщини ЛПШ на ділянках кривої псевдозрідження ОК і КВ і показано, що за цими співвідношеннями можна оптимізувати процес псевдозрідження в системі ТТ-Р або ТТ-Г, виходячи з числових значень цих співвідношень. Залежно від умов псевдозрідження запропонована нерівність 7 має параметр оптимізації B або $V_{\text{ц}}$ для ПЗШ в полі гравітаційних або відцентрових сил, відповідно.

Ключові слова: псевдозрідений шар, ламінарний приповерхневий шар, «еквівалентний діаметр каналів» в псевдозріженому шарі .

УДК 664.661.12.021.3

Білонога Ю. Л.¹, д. т. н., професор, **Білонога Д. М.²**, к. физико-математических н., доцент, **Максисько О. Р.¹**, к. т. н., доцент, **Турчин И. М.¹**, к. т. н., доцент,
Варивода Ю. Ю.¹, к. т. н., доцент

¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького., Україна

²Національний університет «Львівська Політехніка», Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПСЕВДООЖИЖЕНОГО СЛОЯ С УЧЕТОМ «ЕКВІВАЛЕНТНОГО ДІАМЕТРА КАНАЛІВ»

Обозначены приоритетные пути оптимизации параметров псевдооживленного слоя (ПОС) в системе твердое тело – жидкость (ТТ-Ж) или твердое тело – газ (ТТ-

Г). Виведена формула 6 для оптимізації соотношений «еквівалентного діаметра каналів» в ПОС к середній товщині ламінарного приповерхностного слоя (ЛПС), що виникає вокруг отдельной твердой частицы в ЛПС.

Представлено також нерівність параметрів оптимізації в ПОС для системи ТТ-Ж или ТТ-Г, которое включает в себя параметр оптимізації B , который виведен нами раньше [1,2], а также оптимальную неоднородность и оптимальную высоту ПОС. Показано, что виведенные формулы расчета параметра оптимізації диффузионных процессов B , средней оптимальной толщины ЛПС, соотношений «эквівалентного діаметра каналів» в ПОС к средней толщине ЛПС могут применяться для минимизации энергозатрат в условиях тепло- массообменных процессов, в частности сушки, экстрагирования и др. в поле гравитационных и центробежных сил. Расчитаны критерий оптимізації B , соотношения «эквівалентного діаметра каналів» в ПОС к средней толщине ЛПС на участках кривой псевдооживления ОК и КВ и показано, что за этими соотношениями можно оптимізировать процесс псевдооживления в системе ТТ-Ж или ТТ-Г, исходя из числовых значений этих соотношений. В зависимости от условий псевдооживления предложенное неравенство 7 имеет параметр оптимізації B или B_c для ПОС в поле гравитационных или центробежных сил, соответственно.

Ключевые слова: псевдооживленный слой, ламінарный приповерхностный слой, «эквівалентный діаметр каналів» в псевдооживленном слое.

UDC 664.661.12.021.3

Bilonoha YU. L.¹, doctor of science., professor,

Bilonoha D. M.², candidate of physical and mathematical sciences,

Maksysko O. R.¹, phd., associate professor, **Turchin I. M.**¹, phd., associate professor,

Varyvoda Yu. Yu.¹, phd., associate professor

1Lvivsky National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S. Z. Gzhytsky., Ukraine

2Natsionalnyy University «Lviv Polytechnic», Ukraine

PARAMETER OPTIMIZATION FLUIDIZED BED FROM ACCOUNT «EQUIVALENT DIAMETER CHANNEL»

Priority ways to optimize the parameters of the fluidized bed (FB) system solid - liquid (S-S) or solid - gas (S-G). Formulas 6 to optimize the ratio «equivalent diameter channels» in the average thickness of the laminar boundary layer (LBL) arising separate solid particles around in FB. Presented also inequalities optimization parameters in FB for system S-S or S-G, in which comprises themselves in the parameter optimization, which of withdrawal by us earlier [1,2], as well as optimalnuyu inhomogeneities optimalnuyu height and FB.

It is shown that the calculation formula vivedenyye optimization parameter in diffusion processes B , the optimal average thickness of LBL ratios «equivalent diameter of the channels» in FB to the average thickness of LBL can be employed to minimize energy in a thermal mass transfer processes, including drying, extraction, et al. field of gravitational and centrifugal forces. Calculate optimization criterion B ratio "equivalent diameter of the channel" in the village to the average thickness of LBL in the areas of the curve fluidization OK and AC shown that these relationships can optimize the process of fluidization in the S-S or S-G, based on the numerical values of these ratios. Depending on the conditions of the fluidization inequality 7 has proposed optimization option in FB for the LBL or in the field or gravitatsionnih tsentrobezhnih forces, respectively.

Key words: fluidized bed, the superficial layer of laminar, "equivalent diameter of the channels" in a fluidized bed.

Вступ. Псевдозріджений шар (ПЗШ) описується кривою, яка має критичні точки К і В, в межах яких реалізується процес псевдозрідження (рис. 1).

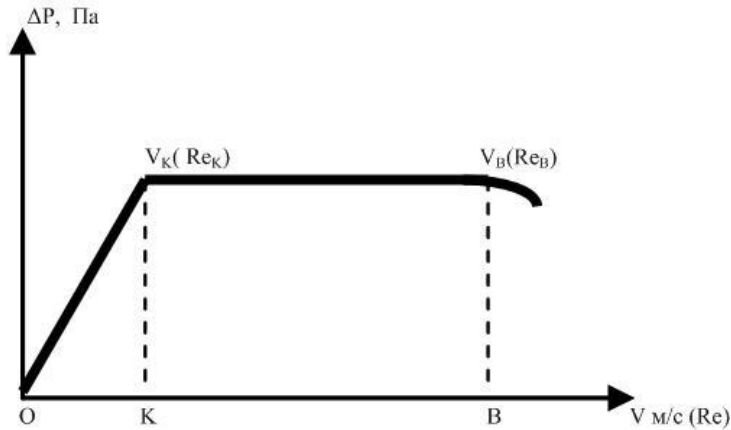


Рис.1. Крива псевдозрідження

Результати дослідження. Відомо, що в умовах ПЗШ активізуються всі теплообмінні та дифузійні процеси, передовсім, за рахунок того, що в даних умовах суттєво зростає фактична площа контакту суцільної та подрібненої твердої чи диспергованої рідкої фаз. Важливо показати оптимальний діапазон значень числа Рейнольдса в ПЗШ, за якого маємо максимальну інтенсивність тепло- та масообмінних процесів за мінімальних енергетичних витрат.

Нами показано, що процес оптимізації параметрів ПЗШ можна отримати, використавши параметр оптимізації (рівність 1) [1,2].

$$B = 3,07 \cdot \sqrt[6]{\frac{(\sigma \cdot \cos \cdot \theta)^3 \cdot \rho_c^2}{\mu^4 g (\rho_t - \rho_c)}} \quad (1)$$

де ρ_t, ρ_c - густина подрібненої та суцільної фаз відповідно, кг/м^3 ;
 g - прискорення вільного падіння, м/с^2 ; μ - коефіцієнт динамічної в'язкості рідкого або газоподібного середовища, $\text{Па}\cdot\text{с}$. σ - коефіцієнт поверхневого натягу на межі тверде тіло - повітря або тверде тіло - рідина, Н/м ; $\cos \cdot \theta$ - гідрофільність поверхні твердого тіла.

Однак, цей метод не враховує можливостей співударяння частинок в ПЗШ, тобто так званий коефіцієнт тисноти цього шару.

ПЗШ має спільні властивості як процесу фільтрування, так і процесу осадження. Зокрема, на першій стадії, яка описується ділянкою ОК кривої псевдозрідження (рис.1.), переважають «фільтрувальні» властивості ПЗШ, а на ділянці KB - властивості за осаджування окремих частинок.

Мета даної роботи - показати оптимальні значення співвідношень «еквівалентного діаметра каналів» і середньої товщини ламінарного приповерхневого шару (ЛПШ) для можливості інтенсивного і енергоефективного проведення теплообмінних і дифузійних процесів сушіння, екстрагування та інш. в умовах ПЗШ.

Перепад тиску рідини або газу, що подаються через псевдозріджений зернистий шар, можна визначити з рівності 2 [3].

$$\Delta P = g \cdot (\rho_T - \rho_C) \cdot (1 - \varepsilon) \cdot h, \quad (2)$$

де ΔP – перепад тиску по обидві сторони шару, Па; g – прискорення вільного падіння, m/c^2 ; ρ_T, ρ_C – густина твердих частинок зернистого матеріалу і рідини або газу, відповідно, kg/m^3 ; ε – (неоднорідність) доля пустот у псевдозрідженому шарі; де h – висота шару в стані псевдозрідження при заданому значенні ε , м.

Для нерухомого шару величина долі пустот, як правило, приймається $\varepsilon_0 = 0,4$. Тобто, в стані псевдозрідження величини h і ε залежать між собою прямо пропорційно. При збільшенні швидкості подачі середовища шар починає “дихати”, тобто зростає його висота h і відповідно неоднорідність ε .

Враховуючи те, що навколо кожної частинки за її осадження виникає ЛПШ, ПЗШ в системі ТТ – Р можна змоделювати як суму багатьох капілярів, де діють сили поверхневого натягу, і записати аналогічно як для процесу фільтрування, рівність 3 [4], яка дуже подібна до відомої формули Лапласа.

$$\Delta P = \varepsilon \frac{4 \sigma \cdot \cos \theta}{d_{EKB}}, \quad (3)$$

Прирівнюючи співвідношення 2 і 3, отримуємо 4.

$$d_{EKB} = \sqrt{\frac{4 \sigma \cdot \cos \theta \cdot \varepsilon}{g(\rho_T - \rho_C) \cdot (1 - \varepsilon)}}, \quad (4)$$

де d_{EKB} – «еквівалентний діаметр каналів» у ПЗШ, м; σ – коефіцієнт поверхневого натягу рідини або газу, N/m ; ρ_T, ρ_C – густина твердих частинок зернистого матеріалу і середовища відповідно, kg/m^3 ; ε – (неоднорідність), доля пустот у ПЗШ; $\cos \theta$ – гідрофільність частинки.

В умовах ПЗШ твердого зернистого матеріалу в турбулізованому середовищі навколо кожної частинки, як і в процесі осадження, існує ЛПШ. Середня товщина ЛПШ може бути розрахована за формулою 5 [1,2].

$$\delta = \sqrt{\frac{9,42 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{g(\rho_T - \rho_C)}} \cdot K_T, \quad (5)$$

де δ – середня товщина ЛПШ, що виникає навколо рухомої частинки в ПЗШ, м; K_T – коефіцієнт турбулізації ЛПШ.

Співставляючи рівності 4 і 5, отримуємо співвідношення 6:

$$\frac{d_{EKB}}{\delta} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\varepsilon}{(1 - \varepsilon)}} K_T, \quad (6)$$

Для ефективної масопередачі у ПЗШ рідке або газоподібне середовище повинно рухатися навколо частинки за турбулентного режиму. В такому випадку маємо максимальні значення коефіцієнтів тепло – і масовіддачі. Виходячи з того, що ПЗШ залежно від зміни швидкості подачі середовища в діапазоні $Re_K - Re_B$ (рис. 1.), розширюється або звужується, тобто відповідно зростають або зменшуються величини ε і h (частка пустот і висота псевдозрідженого шару), «еквівалентний діаметр каналів» у ПЗШ d_{EKB} повинен бути достатнім для того, щоб режим руху рідини в ньому був не ламінарним. Тому ефективна масовіддача у ПЗШ наступить за певних значень ε і h а, також за певних значень «еквівалентного діаметра каналів» d_{EKB} і середньої товщини ЛПШ δ . Співвідношення 6 є безрозмірним емпіричним критеріальним рівнянням. З рівності 6 видно, що

відношення $\frac{d_{\text{ЕКВ}}}{\delta}$ зростає зі збільшенням коефіцієнта турбулізації ЛПШ, тобто при зростанні швидкості подачі середовища через ПЗШ.

Оскільки визначальним параметром в умовах псевдозрідження є число Архімеда, то визначення оптимального діапазону подрібнення є аналогічним, як для процесу осадження. Враховуючи критеріальне співвідношення 6, і те, що оптимальним коефіцієнтом турбулізації ЛПШ є параметр оптимізації В (формула 1)[1,2], можемо твердити, що відношення «еквівалентного діаметра каналів» у ПЗШ до середньої товщини ЛПШ навколо частинки повинно відповідати нерівності 7:

$$\frac{d_{\text{ЕКВ(ОПТ.)}}}{\delta_{\text{ОПТ.}}} \geq \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{ОПТ.}}}{(1 - \varepsilon_{\text{ОПТ.}})}} \cdot B, \quad (7)$$

тобто це відношення повинно бути чисельно більше або рівне робочому значенню числа Рейнольдса за оптимальних параметрів подрібнення сировини і, відповідно, оптимальних параметрів ПЗШ в системі ТТ – Р або ТТ-Г.

З попередніх розрахунків відомо, що неоднорідність ПЗШ ε за оптимальних умов, тобто за оптимальних параметрів подрібнення сировини з максимальною інтенсивністю дифузійного процесу може знаходитися в діапазоні $\varepsilon = (0,8-0,99)$. Тоді, підставивши мінімальні значення неоднорідності $\varepsilon = 0,8$ в критеріальне

співвідношення 7, отримаємо: $\frac{d_{\text{ЕКВ}}}{\delta} \geq 4/3B$, або $\frac{d_{\text{ЕКВ}}}{\delta} \geq 2/3Re_{\text{ОПТ.}}$. Зрозуміло, що за

таких значень відношення $\frac{d_{\text{ЕКВ}}}{\delta}$ ймовірність співударів окремих частинок у

псевдозрідженому стані є достатньо малою, оскільки значення $Re_{\text{ОПТ.}}$ є близькими до числа 100 і далеко більшими. Іншими словами, вільний простір між окремими частинками $d_{\text{ЕКВ}}$ за умов оптимальних параметрів ПЗШ є на 2 порядки більшим, ніж оптимальне значення ЛПШ $\delta_{\text{ОПТ.}}$, що говорить про можливість максимальної турбулізації ЛПШ навколо частинки, а отже, достатньої активізації теплообмінних та дифузійних процесів [5, 6]. Разом з тим, коли шар зернистого подрібненого матеріалу ще не перебуває в стані псевдозрідження, тобто рідина “фільтрується” через подрібнену сировину і процес проходить на ділянці ОК кривої псевдозрідження (рис. 1.), величина неоднорідності шару $\varepsilon_0 \approx 0,4$ [3, с.50]. Тоді, підставивши значення $\varepsilon_0 \approx 0,4$ у співвідношення 7, відношення

$\frac{d_{\text{ЕКВ}}}{\delta} < 0,27 \cdot Re_K$. При значеннях числа Архімеда $Ar \approx 600$ з рівності –

$$Re_K = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}} = \frac{600}{1400 + 5,22\sqrt{600}} = 0,39. \text{ Тоді } \frac{d_{\text{ЕКВ}}}{\delta} < 0,27 \cdot 0,39 \text{ або } \frac{d_{\text{ЕКВ}}}{\delta} < 0,106. \text{ Це}$$

говорить про те, що «еквівалентний діаметр каналів» на порядок менший від середньої товщини ЛПШ, зернистий подрібнений напівфабрикат на ділянці ОК практично злипається, дуже повільно пропускає потік рідини або газу, який в каналах шару має ламінарний режим. В таких умовах дифузійні та теплообмінні процеси із подрібненого матеріалу є низькоєфективними.

Висновки.

1. Запропонований алгоритм знаходження оптимальних параметрів ПЗШ для інтенсивного та енергоефективного проведення тепло- і масообмінних процесів.

2. Отримані нами співвідношення 6,7 можуть застосовуватися для оптимізації тепло- масообмінних процесів з ПЗШ.

Перспективи подальших досліджень. Подальші наукові дослідження будуть спрямовані на удосконалення алгоритмів оптимізації апаратів з ПЗШ, а також на оптимізацію параметрів їх ефективної роботи.

Література

1. Білонога Ю. Л. Оптимізація параметрів подрібнення твердої сировини під час розчинення та екстракції в полі гравітаційних або відцентрових сил [Текст] / Вісник НУ «Львівська політехніка» Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2004. – № 515. – С. 104–116.

2. Білонога Ю. Л. Критерій оптимізації гравітаційного процесу екстракції в системі тверде тіло-рідина або рідина-рідина [Текст] / Ю. Л. Білонога, Д. М. Білонога // Вісник НУ «Львівська політехніка» Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2003. – № 480. – С. 3–6.

3. Бородуля В. А. Гидродинамика и теплообмен в псевдооживленном слое под давлением / В. А. Бородуля, В. Л. Ганжа, В. И. Ковенский. – Минск: Наука и техника, 1982. – 206 с.

4. Білонога Ю. Л. Інтенсифікація процесу фільтрування при використанні поверхнево-активних речовин (ПАР) // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2001. – №1. – С. 35–38.

5. Про техніко-економічну доцільність використання псевдозріженого шару при виробництві інсуліну / Ю. Л. Білонога, Б. Р. Ціж, Д. М. Білонога, Ю. Ю. Варивода // Науковий вісник ЛДАВМ імені С.З.Гжицького. – 2002. – Т.4, №.1. – С.156–159.

6. Білонога Ю. Л. Оптимальні параметри подрібнення сировини при виробництві інсуліну з використанням псевдозріженого шару / Ю. Л. Білонога, Д. М. Білонога // Науковий вісник ЛДАВМ ім. С.З.Гжицького. – 2003. – Т.5. – №.2. – Ч. 1. – С.115–119.

Стаття надійшла до редакції 21.09.2015

УДК 637.146.2

Боднарчук О. В., к.т.н. (E-mail: dnistranka@mail.ru)[©]
Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна

**ДОСЛІДЖЕННЯ АМІНОКИСЛОТНОГО СКЛАДУ ПЛАЗМИ
КИСЛОВЕРШКОВОГО ТА СОЛОДКОВЕРШКОВОГО МАСЛА ПІД ЧАС
ЗБЕРІГАННЯ**

Досліджено зміни кількісного та якісного складу вільних амінокислот у плазмі кисловершкового та солодковершкового масла у споживчому пакуванні за температури $-(5-0)^{\circ}\text{C}$ впродовж 45 діб та у моноліті за температури $-(6-11)^{\circ}\text{C}$ впродовж 12 міс зберігання. На основі отриманих результатів встановлено вплив кислотності плазми кисловершкового масла на динаміку нагромадження вільних амінокислот та проведено порівняльний аналіз з солодковершковим маслом. Порівняно високі концентрації вільних амінокислот за температури $-(5-0)^{\circ}\text{C}$ та кислотності плазми $40-48^{\circ}\text{T}$ свідчать про інтенсивніший перебіг протеолітичних процесів в плазмі кисловершкового масла.