

Калиновська О. П.

Строган О. І.

Черевко І. Г.

Національний  
університет  
„Львівська політехніка”

УДК 66.047

## ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ТЕПЛО - МАСООБМІННИХ УСТАНОВОК

*В статье рассмотрены вопросы исследования, разработки, опытной эксплуатации вибрационных тепло-массообменных установок, которые при уменьшении энергетических затрат обеспечивают непрерывное ведение технологического процесса при сохранении и улучшении качества обрабатываемого сыпучего продукта.*

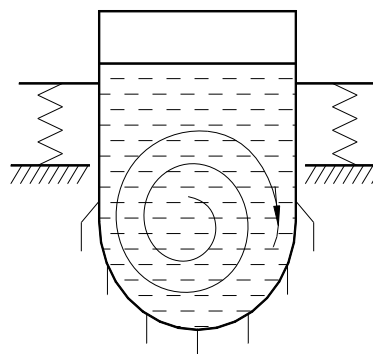
*Research questions are considered in the article, to installation and check-out phase of тепло-массообменных options of vibrations, which at diminishing of power expenses provide the continuous conduct of technological process at saving and improvement of quality of the processed friable product.*

**Вступ.** Відомо, що тепло-масообмінні процеси – енерговитратні, вони потребують значної кількості енергії для роботи основного та допоміжного обладнання, для ведення технологічного процесу. В зв'язку з цим актуальним є дослідження та впровадження тепло-масообмінних процесів з меншими витратами енергії.

**Аналіз основних досліджень та публікацій.** Дослідження показали [1,2,4], що накладання імпульсів коливань на шар сипких матеріалів з одночасною подачею повітря утворює віброкиплячий шар, який має властивості «текучості». При цьому енергія повітряних струменів витрачається тільки на відведення вологи, що значно зменшує енергетичні витрати в порівнянні з іншими методами тепло-масообміну. Слід відзначити, що достатньо складним технологічним завданням є розробка вібраційних тепло-масообмінних установок з комплексними рішенням конструкцій, що забезпечують найменший гідродинамічний опір при безперервному завантаженні, транспортуванні в зоні робочої камери та вивантаженні, і як наслідок – найменші енергетичні витрати.

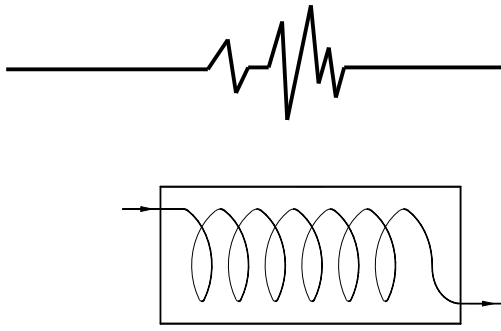
**Постановка задачі.** Аналіз досліджень гідродинамічних особливостей та кінетики тепло-масообмінних процесів віброкиплячого шару сипких продуктів та розробка на їх основі вібраційних установок з криволінійною формою поверхонь в зоні контакту фаз.

**Основна частина.** Дослідження були проведені на експериментальній вібраційній установці, нижня поверхня робочої камери якої була перфорована і мала криволінійну U-подібну форму (Рис.1).



**Рис. 1. Поперечний переріз перфорованої решітки та траєкторія руху частинок матеріалу**

Під дією механічних інерційних регульованих вібраторів робоча камера мала кругову траєкторію руху. Криволінійна поверхня віброуючої перфорованої решітки забезпечувала рух віброкиплячого шару сипкого або формованого продукту з меншим гідродинамічним опором. Під дією вібрації а також тиску продукту, що безперервно завантажуються, сипкий матеріал рухається по гвинтовій траєкторії до вивантаження з робочої камери (Рис.2).



**Рис. 2. Траєкторія руху сипкого матеріалу в контейнері робочої камери.**

Для визначення продуктивності тепло-масообмінної установки при оптимальних параметрах віброкиплячого шару була досліджена швидкість руху сипкого продукту на прикладі гранульованих комбікормів вологого пресування [1]. Була прийнята однопараметрична дифузійна модель, яка враховує продольне переміщення гранул продукту [3]. Виведено критеріальне рівняння руху  $W_m$  гранул в робочій камері вібраційної установки:

$$\frac{W_m}{\sqrt{V_g l}} = 0,062 \left( \frac{fV}{g} \right)^{0,83} \cdot \left( \frac{f^2 A}{g} \right)^{1,45}, \quad (1)$$

де  $g$  – висота вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  
 $l$  – висота відкритої частини патрубків вивантаження продукту, м;  $f$  – частота коливань, Гц;  $A$  – амплітуда коливань, м;  $V$  – швидкість руху повітря в перерізі робочої камери, м/с.

Швидкість руху продукту залежить від (1) частоти коливань робочої камери в степені 3,73, від амплітуди коливань – в степені 1,45, а від швидкості струменів повітря тільки в степені 0,83. Експериментально були досліджені також швидкості руху зерна, гранул полістеролу, дражованого насіння цукрового буряка та ін.

Продуктивність вібраційних тепло-масообмінних установок безперервної дії залежить від кінцевої середньої вологості  $W_{cp}$  сипкого продукту. Для розрахунку  $W_{cp}$  була прийнята однопараметрична дифузійна модель ідеального витиснення [3]. Середню вологість гранул на виході з сушарки розраховували по відомій залежності [1]:

$$W_{cp} = \int_0^{\infty} W(\Theta) C(\Theta) d(\Theta), \quad (2)$$

де  $\Theta$  – безвимірний час;  $W(\Theta)$  – вологість гранул для стаціонарного режиму, %;  $C(\Theta)$  – функція розподілу гранул, яка визначає частину гранул, що виходять з вібраційної сушарки через час  $\Theta + d\Theta$ .

Отримана залежність середньої вологості ( $W_{cp}$ ) гранул на виході з сушарки дозволяє теоретично розраховувати необхідні

технологічні параметри для конкретної продуктивності. Порівняння результатів експериментальних значень замірів середньої вологості на дослідній установці з теоретичними значеннями дали відхиленнями в різних дослідах від 0,5 до 5,7% [1]. Особливо важливо те, що віброкиплячий шар інтенсифікує процес тепло-масообміну при різних способах: конвективному, кондуктивному, радіаційному, комбінованому та інших за рахунок оновлення поверхні часточок сипкого матеріалу. Відбувається інтенсивний масообмін. Крім постійного оновлення поверхні вирівнюється температура матеріалу в об'ємі шару. При сушінні процес іде рівномірно в об'ємі шару, немає місцевих перегрівів, що є головним чинником для термолабільних матеріалів, тому що виключає втрати вітамінів та інших корисних речовин. Крім того, накладання вібраційних коливань дозволяє вести безперервну роботу та суміщати з тепло-масообмінном процесі ущільнення, формування оболонки, розподіл на фракції та інше.

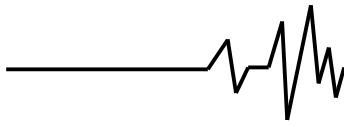
Результати експериментальних досліджень використані при розробці дослідних вібраційних тепло-масообмінних установок для гранул комбікорму вологого пресування. Перш за все, це вібросушарки з  $U$ -подібною формою перфорованої решітки, яка складалася з одного, або декількох паралельно розташованих  $U$ -подібних жолобів. Були випробувані дослідні вібраційні сушарки, робоча камера яких складалася спочатку з одного  $U$ -подібного перфорованого жолоба, потім з двох  $U$ -подібних жолобів. На основі цих випробувань була спроектована дослідна вібраційна сушарка, технічна характеристика якої приведена нижче.

Продуктивність, кг/г:	
за випареною вологою	– 480-640;
за готовим продуктом	– 2500.
Робоча поверхня перфорованої решітки, м <sup>2</sup>	– 3,5.
Кількість $U$ -подібних жолобів	– 4.
Температура теплоносія, °С,	80 -140.
Швидкість руху повітря в перерізі робочої камери, м/с	– 1,5-3.
Частота коливань, Гц	– 14-17.

Амплітуда коливань, $\frac{A_G}{A_B}$ , мм -	$\frac{1,7 - 1,85}{2,0 - 2,5}$ .
----------------------------------------------	----------------------------------

Встановлена потужність, кВт	– 9.
Кількість встановлених електродвигунів, шт.	– 3.
Габаритні розміри, м	– 3,675×2,82×2,65.

Випробування дослідних установок показало.



1. Конструювання робочих  $U$ - подібних жолобів з різною площею перерізу забезпечую різну швидкість транспортування віброкиплячого шару матеріалу.

2. В залежності від властивості сипкого матеріалу є можливість в різних жолобах сушити його при різних температурах або проводити циклічно процеси сушіння та охолодження.

3. Для забезпечення однакової швидкості струменів повітря в об'ємі віброкиплячого шару доцільно проектувати перфорацію нижньої поверхні  $U$ - подібних жолобів з постійно зменшеною до периферії площею живого січення отворів.

4. Дослідження підтвердили – оптимальні режими вібраційного сушіння гранул комбікорму, коли вони переміщуються по круговій траєкторії.

5. Проектування промислових вібраційних тепло-масообмінних установок вимагає потужних вібраторів, що в свою чергу обмежується допустимим навантаженням на підшипники вібраторів. Доцільно застосовувати агрегацію простих двохопорних вібраторів паралельно  $U$ - подібним жолобам або послідовно (на одній уявній осі).

З урахуванням п.5 рекомендовано проектувати вібраційні тепло-масообмінні установки за двома напрямками.

1. При паралельному розташуванні  $U$ - подібних робочих жолобів, вали вібраторів розташовувати також паралельно вздовж жолобів. Приводи двохопорних вібраторів в процесі роботи самосинхронізуються.

2. Встановлювати вали вібраторів на протилежних торцевих стінках робочої камери в підшипникових вузлах на одній уявній вісі. Приводити вібраторів також само синхронізуються..

В роботі (5) обґрунтовано – для забезпечення стійких кругових коливань віброуючої робочої камери необхідно витримати умову:

$$m \cdot l / J > 2, \quad (3)$$

де  $m$  - маса віброуючої робочої камери, кг;  $l$  - відстань від вісі вала вібраторів до центра маси, м;  $J$  - центральний момент інерції,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ .

При установці вібраторів на протилежних торцевих стінках робочих камер умовою стійких кругових коливань є наступна залежність:

$$m \cdot l / 2 \left( \frac{1}{J_x} + \frac{1}{J_y} - \frac{h^2}{J_z \cdot l} \right) > 1, \quad (4)$$

де  $m$ ,  $J_x$ ,  $J_y$ ,  $J_z$  – маса та центральні моменти інерції віброуючої робочої камери, м та  $\text{кг}/\text{м}^2$  відповідно;  $2 l$  – відстань між площинами

дебалансами важелів, м;  $h$  – відстань вісі вібраторів відносно центральної вісі інерції, м.

Перспективною є вібраційна сушарка з віброприводами на торцевих стінках робочої камери.

Розрахункова продуктивність, кг/г	
гранул комбікорму	-1200.
Розрахункова продуктивність за вологою, кг/г	-174.
Початкова вологість гранул, %	- 20-30.
Кінцева вологість гранул, %	-12-14,5.
Розрахунковий час процесу, с	- 720.
Температура теплоносія, $^{\circ}\text{K}$	- 363.
Витрати теплоносія, $\text{м}^3/\text{г}$	- 13600.
Потужність електродвигунів, кВт	- 4,4.
Кількість електродвигунів, шт	- 2.
Габаритні розміри вібросушарки, м	- 2, 7×2,01×3,7.
Поперечний переріз робочої камери, яка складається з трьох $U$ - подібних жолобів, $\text{м}^2$	- 2,05.

**Висновок.** Проведені експериментальні дослідження [1,2,4] дозволили обґрунтувати переваги вібраційних тепло-масообмінних процесів, розробити технологічні параметри сушіння та охолодження конкретних сипких матеріалів (гранульованих комбікормів, зерна, гранул полістеролу і, ін). Розроблені та дослідженні дослідні вібраційні тепло-масообмінні установки.

Розроблені удосконалені дослідні установки з трьома та чотирма паралельно розташованими контейнерами  $U$ - подібної форми.

#### Література

1. Калиновський А.О., Топчій В.І., Калиновська О.П. Вплив геометричного моделювання обладнання та технологічних процесів на собівартість продукції// Геометричне та комп'ютерне моделювання. Збірник наук. праць – Харків: ХДУХТ, 2007 – Вип. 18 – с.73-75.

2. Калиновська О.П., Панкевич Б.В., Топчій В.І. Строган О.І. Аспекти застосування системи SOLID WORKS для моделювання апаратів з круговою траєкторією руху// Наукові нотатки. Міжвузівський збірник - Луцьк: ЛДТУ, 2008- Вип. 22 – Частина1- с. 128-132.

3. Ликов А.В. Теорія сушки. 2-е видання - М: Енергія, 1968 – 471с.

4. Калиновський А.О., Черевко І.Г., Калиновська О.П. Математична модель безперервних фізичних процесів.// Наук. конф. проф-викл. сладу інституту прикл. математики та фонд. наук. Тези доповідей – Львів, 2005 – С. 88.

5. Блехман І.І. Синхронизация динамических систем. – М: Наука, 1971 – 896с.