

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ РУХУ ПОТОКІВ В ГРАВІТАЦІЙНИХ ПОЛИЧНИХ СУШАРКАХ

Артюхова Н.О, аспірантка,  
Сумський державний університет, м. Суми

Наведено результати експериментальних досліджень гідродинаміки руху сушильного агента у вдосконалених конструкціях гравітаційних полицних сушарках. Показано, що за рахунок підбору оптимальної конструкції полиці стає можливим створення рівномірного розподілення швидкості руху сушильного агента по перерізу апарата. Представлено варіанти вдосконалення конструкції полиць та особливості руху сушильного агента над ними.

The experimental studies results of hydrodynamic motion for the drying agent in improving designs of gravity shelf dryers are presented. It is shown that the uniform distribution of the drying agent speed in the device section creating is possible by the optimal shelf design choosing. The improving options of shelves designs and features of the drying agent motion over them are presented.

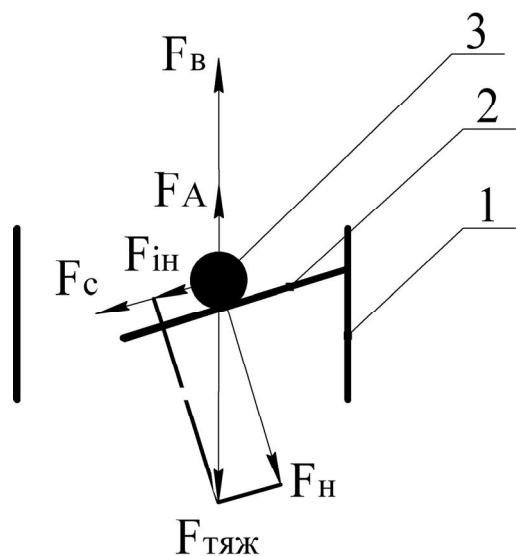
**Ключові слова:** сушильний агент, гідродинаміка, гравітаційний, полицний.

Застосування в технології конвективного сушіння апаратів з вертикальним секціонуванням внутрішнього простору дозволяє скоротити енергетичні витрати та підвищити ефективність видалення вологи при компактному конструктивному виконанні апарата [1,2]. При цьому важливим показником при розрахунку апаратів такого типу є ефективність окремого ступеню [3,4], яка залежить від особливостей конструкції полиці та часу перебування зернистого матеріалу на ній.

Однією з переваг багатоступневих гравітаційних полицних сушарок є можливість управління рухом зернистого матеріалу за рахунок підбору оптимальної конструкції полиці на кожному ступені. При цьому на окремому ступені сушарки матеріал може перебувати різний проміжок часу та знаходитись у завислому шарі різної інтенсивності. В окремому об'ємі пристрою може проводитись сепарація дрібних фракцій з матеріалу, первинне його прогрівання та інтенсивне зневоднення. На характер протікання цих процесів істотним чином впливають гідродинамічні показники руху сушильного агента [5,6].

Метою представленої статті є обґрунтування можливості вдосконалення гідродинаміки руху потоків в гравітаційних полицних сушарках шляхом підбору оптимальної конструкції полиці, яка забезпечує рівномірність розподілення епюр швидкості руху сушильного агента та стабільний зважений шар зернистого матеріалу.

Аналіз впливу на рух частинки зернистого матеріалу зовнішніх сил (рисунок 1) показує, що його переміщення вздовж полиці до розвантажувального зазору зумовлене дією скокуючої складової  $F_c$  сили тяжіння  $F_{ТЯЖ}$ . У разі відсутності дії висхідного потоку сушильного агента матеріал рухається в режимі гравітаційного падаючого шару з мінімальним часом перебування на полиці. Додаткове зменшення часу перебування зернистого матеріалу на полиці може бути зумовлене дією сили інерції  $F_{ін}$ . Виникає вона під час надходження зернистого



1 – корпус сушарки; 2 – полиця; 3 – зернистий матеріал;  $F_{ТЯЖ}$  – сила тяжіння,  $F_A$  – сила Архімеда;  $F_B$  – аеродинамічна сила потоку сушильного агента;  $F_{ін}$  – сила інерції частинки;  $F_c$  – скокуюча складова сили тяжіння;  $F_n$  – нормальна реакція полиці

**Рис. 1** – Сили, що діють на зернистий матеріал в полицній сушарці

матеріалу з завантажувального патрубку (на перший ступінь сушарки) або з вище розташованої полиці (на наступні ступені сушарки).

Перехід зернистого матеріалу в режим зваженого шару та компенсація дії скочувальної сил  $F_c$  та  $F_{in}$  відбувається по мірі збільшення швидкості руху сушильного агента (наслідком чого є виникнення аеродинамічної сили  $F_B$ ). Враховуючи незначність сили Архімеда  $F_A$  в порівнянні з іншими силами, які розглядаються (в разі газового зваження), а також непостійної дією сили інерції, рух зернистого матеріалу обумовлюється головним чином дією сил  $F_c$  та  $F_B$ .

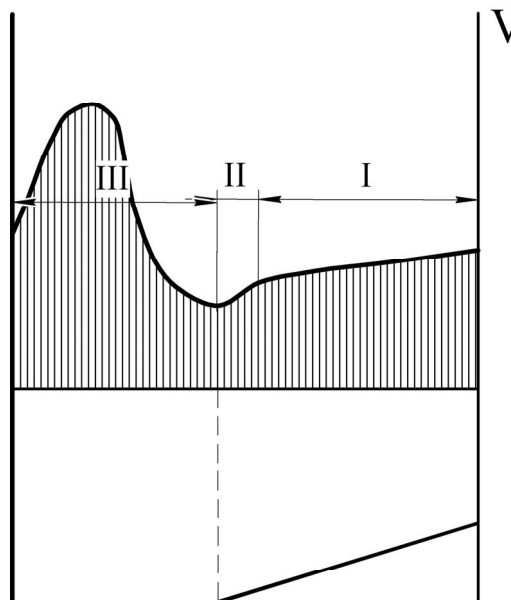


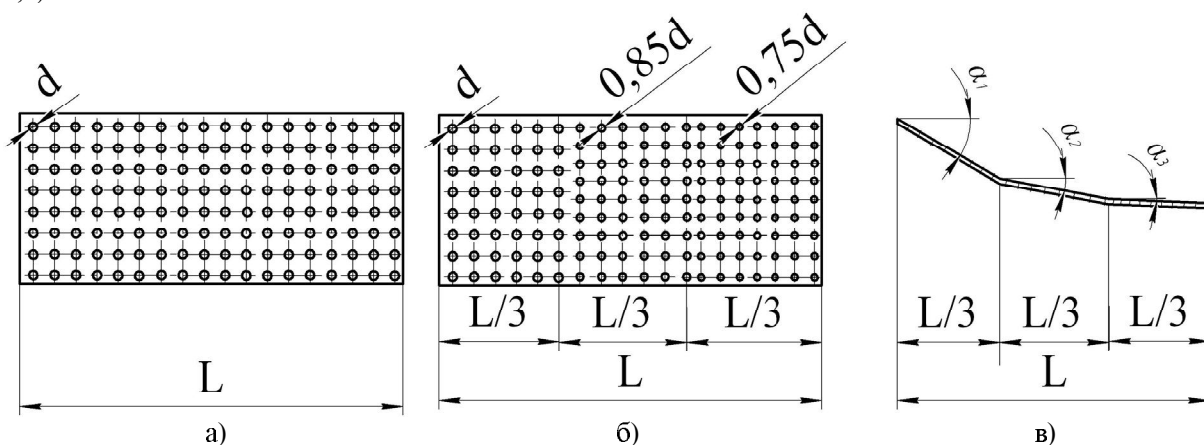
Рис. 2 – Епюра розподілення швидкості руху сушильного агента над полицею в гравітаційній сушарці

В загальному випадку епюра швидкості руху сушильного агента над полицею по довжині гравітаційної сушарки має вигляд, зображений на рисунку 2. Слід виділити три характерні зони швидкості руху сушильного агента:

- зона I – рівномірне розподілення швидкості руху сушильного агента (деяке зниження швидкості обумовлене опором тертя по довжині полиці);
- зона II – інтенсивне зниження швидкості руху сушильного агента;
- зона III – підвищення швидкості руху сушильного агента в розвантажувальному зазорі.

В зоні I та II зернистий матеріал знаходиться у зваженому стані, але, враховуючи нерівномірність розподілення швидкості в зоні II, по довжині полиці зважений шар має нерівномірну структуру. Такий гідродинамічний стан призводить до того, що час перебування зернистого матеріалу на полиці може значно коливатись. Наслідком цього може бути як недогрівання матеріалу, так і його перегрівання з наступним руйнуванням (в разі зневоднення термолабільних матеріалів).

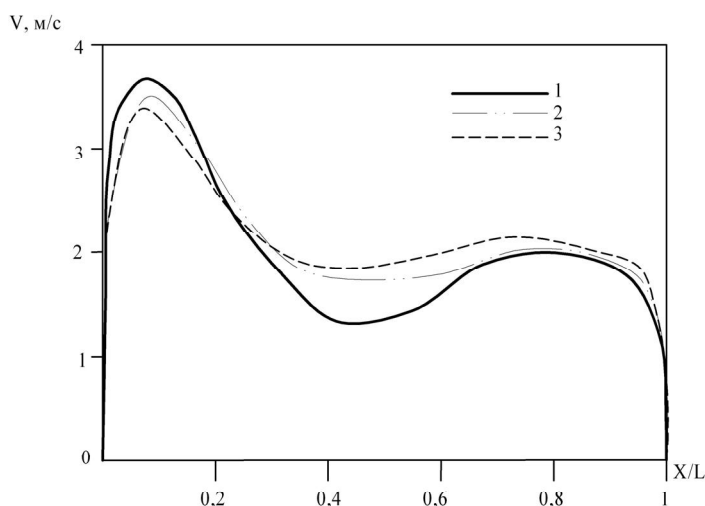
Враховуючи те, що значення сили  $F_c$  залежить від кута нахилу полиці до горизонту, а сили  $F_B$  – від її перфорації, запропоновано [7,8] нові конструкції сушарок з вдосконаленою гідродинамікою, обумовленою особливостями конструкції полиці (рисунки 3, б, в).



а – полиця з постійною перфорацією по довжині; б – секціонована полиця зі змінною перфорацією секцій; в – секціонована полиця з постійною перфорацією секцій та змінним кутом їх нахилу;  $d$  – діаметр отвору перфорації;  $L$  – довжина полиці;  $\alpha_i$  – кут нахилу секції полиці до горизонту

Рис. 3 – Конструкції полиць багатоступеневої гравітаційної полицної сушарки

Запропоновані конструкції полиць дозволяють зменшити величину зони II за довжиною полиці, а також більш рівномірно розподілити швидкість руху сушильного агента в ній. Порівняльні епюри розподілення швидкості руху сушильного агента по довжині апарата при різному конструктивному виконанні полиць подана на рисунку 4.



1 – полиця з постійною перфорацією по довжині (рисунк 1, а); 2 – секціонувана полиця зі змінною перфорацією секцій (рисунк 1, б); 3 – секціонувана полиця з постійною перфорацією секцій та змінним кутом їх нахилу (рисунк 1, в)

**Рис. 4 – Розподілення епори швидкості руху сушильного агента по відносній довжині апарату X/L залежно від конструктивного виконання полиці**

Представлені в роботі результати теоретичного аналізу впливу на рух зернистого матеріалу зовнішніх сил та дана експериментальних досліджень з розподілу швидкості сушильного агента по довжині полиці сушарки дозволяють визначити оптимальний режим її роботи з мінімальними енергетичними витратами. Одержані результати, доповнені дослідженнями з визначення раціональної організації руху сушильного агента в полицній сушарці [9] покладені в основу методики гідродинамічного і інженерного розрахунків багатоступеневих полицних апаратів для зневоднення зернистих матеріалів.

#### Література

1. Артюхова Н.О. Гравітаційні полицні апарати для сушіння зернистих матеріалів / Н.О. Артюхова, М.П. Юхименко, М.О. Кочергін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ. – 2012. – № 17(188). – Ч.1. – С. 234-239.
2. Artyukhova N.A. Multistaged drying-classification apparatus of energy recovery / N.A. Artyukhova, N.P. Yuhimenko // II International Kazakhstan-Russian Conference on Chemistry and Chemical Engineering. – Karaganda, Kazakhstan. – 2012. – Vol. 1. – pp. 41-43.
3. Шандиба Н.О. Методика рекурентного розрахунку гравітаційної полицної сушарки / Н.О. Шандиба, М.П. Юхименко // Наукові праці ОНАХТ. – Випуск 39. – Т.2. – Одеса. – 2011. С. 44-48.
4. Shandyba N.A. Energy rate optimization under fluidized bed drying / N.A. Shandyba, N.P. Yuhimenko, V.N. Pokotilo // IV International Conference «Strategy of Quality in Industry and Education». – Varna, Bulgaria. – 2011. – Vol. 2. – pp. 323-324.
5. Артюхова Н.О. Визначення аеродинамічних характеристик гравітаційної полицної сушарки / Н.О. Артюхова // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. – Суми. – 2012. – Вип. 24. – С. 87-91.
6. Артюхова Н.О. Оптимізація технологічних характеристик багатоступеневої гравітаційної сушарки / Н.О. Артюхова, О.Б. Шандиба Збірник наукових статей VIII міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення». – Х.: Райдер, 2012. – Т.2. – С.282–285.
7. Патент на корисну модель №74070 Україна МПК F26B 3/02 (2006/01), F26B 17/12 (2006/01). Пристрій для сушіння дисперсних матеріалів / Н.О. Артюхова, М.П. Юхименко, А.Є. Артюхов, О.Б. Шандиба. - №u201205954; Заявлено 16.05.2012; Надрук. 10.10.2012, Бюл. №19, 2012 р.
8. Патент України. Заявка № u201300468 від 14.01.2013 р., МПК (2012) F26B 3/02, F26B 17/12. Пристрій для сушіння дисперсних матеріалів / Н.О. Артюхова, М.П. Юхименко, А.Є. Артюхов, О.Б. Шандиба (позитивний висновок про видачу від 23.04.13 №9230/ЗУ/13).

9. Артюхова Н.О.М.П. Вплив організації руху сушильного агента на якість сушіння матеріалів у гравітаційних поличних апаратах / Н.О. Артюхова, М.П. Юхименко // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса. – 2012. – Випуск 41. – Т.2. – С. 233–237.

УДК 532.528

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНОГО СОПЛА З КАМЕРОЮ РОЗШИРЕННЯ

Анісімов В. В., аспірант, Єрмаков П. П., д.т.н., проф.,  
Бурмістр М. В., д.т.н., проф.

Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпропетровськ

Представлено конструкцію кавітаційного сопла з камерою розширення. Проведено багатофакторні експериментальні дослідження впливу геометричних розмірів елементів даного сопла на інтенсивність кавітації та визначено оптимальне їх співвідношення.

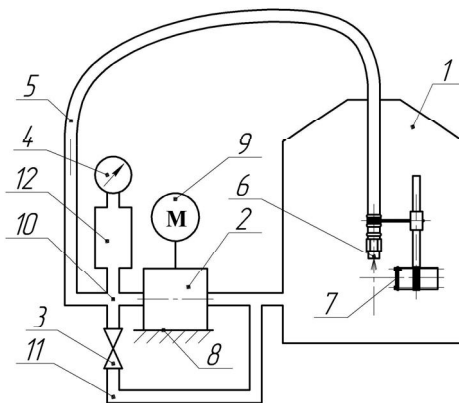
*A cavitation nozzle with expansion chamber is presented. Multifactorial experimental researches of present-ed nozzle geometric sizes impact on cavitation intensity are carried out and optimal ratio is determined.*

**Ключові слова:** кавітаційне сопло, камера розширення, інтенсивність кавітації.

**Вступ.** Кавітація – явище виникнення в рідині парових, газових або парогазових бульбашок із зародків під дією локальних низьких тисків з можливим наступним їх схлопуванням.

Кавітацію досліджують не тільки як негативне явище [1,2], а також як засіб інтенсифікації технологічних процесів, зокрема процесів хімічної технології [2-4]. У зв'язку з широким застосуванням кавітації у хімічній промисловості, актуальною задачею є розробка нових, більш ефективних кавітаторів. Одними з найперспективніших з цієї точки зору є гідродинамічні кавітатори, зокрема кавітаційні сопла, які дозволяють проводити інтенсивну кавітаційну обробку при малих енерговитратах і з високою продуктивністю.

**Опис експериментальної установки.** Дослідження проводились на експериментальній струменевій кавітаційній установці (рис. 1).



1 – буферна ємність; 2 – шестеренний насос; 3 – вентиль; 4 – манометр; 5 – напірний трубопровід; 6 – кавітаційне сопло; 7 – датчик; 8 – плита; 9 – двигун; 10 – розподільчий вузол; 11 – трубопровід скидання; 12 – компенсатор тиску.

**Рис. 1 – Загальний вигляд кавітаційної установки**

Установка працює наступним чином. Рідина з буферної ємності 1 всмоктується шестеренним насосом 2, з якого під тиском, що задається вентилем 3 та вимірюється манометром 4, подається через напірний трубопровід 5 до кавітаційного сопла 6. В кавітаційному соплі 6 рідина значно прискорюється і в ній починають зростати кавітаційні бульбашки. Після виходу з сопла кавітаційні бульбашки схлопуються, а імпульси тиску, що при цьому виникають, фіксуються датчиком 7 на базі п'єзоелектричного елемента та передаються на комп'ютер у вигляді осцилограми. Такі акустичні дослідження дозволяють проводити