

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ РУХУ
ПОТОКІВ НА КАСКАДІ ПОЛИЦЬ В БАГАТОСТУПІНЧАСТИХ
ГРАВІТАЦІЙНИХ СУШАРКАХ**

**Н. О. Артюхова, аспірантка,
М. П. Юхименко, канд. техн. наук, доцент,
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна;
E-mail: pohnp@yandex.ru**

Наведено результати експериментальних досліджень гідродинаміки руху потоків в межах гравітаційної поличної сушарки. Одержано графічні залежності, які демонструють вплив конструкції поличних контактів на гідродинаміку руху сушального агенту. Досліджено основні режими руху зернистого матеріалу на каскаді полиць.

Ключові слова: гравітаційна полична сушарка, гідродинаміка, експеримент.

ВСТУП

Застосування в технології конвективного сушіння зернистих матеріалів багатоступневих апаратів з вертикальним секціонуванням робочого простору дозволяє створити сприятливі умови для видалення вологи та знизити питомі енерговитрати на здійснення цього процесу [1; 2].

Зважаючи на те, що в існуючих літературних джерелах недостатньо уваги приділено застосуванню апаратів поличного типу для проведення процесу сушіння, визначенню оптимальних гідродинамічних чинників руху потоків, впливає доцільність комплексного дослідження методу сушіння у вертикально-секціонованих гравітаційних апаратах завислого шару і створення нового способу та пристрою для його здійснення [3]. При цьому важливо дослідити гідродинаміку не окремого поличного контакту (вивчення цього питання було проведено попередніми авторами [4]), а каскаду полиць в цілому. Результати проведених досліджень повинні лягти в основу розробки вдосконалених конструкцій багатоступневих гравітаційних поличних апаратів для проведення процесу зневоднення зернистих матеріалів.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою статті є визначення оптимальних гідродинамічних умов руху сушального агенту та зернистого матеріалу в робочому об'ємі багатоступневої гравітаційної поличної сушарки з каскадом поличних контактів.

Об'єкт дослідження – гравітаційні поличні сушарки для зневоднення зернистих матеріалів.

Предмет дослідження – гідродинаміка руху потоків в межах каскаду поличних контактів.

Для вирішення поставленої мети необхідно послідовне розв'язання наступних завдань:

- визначення впливу конструкції поличного контакту на рух газового потоку в надполичному просторі сушарки і каскаді полиць;
- встановлення механізму взаємного впливу кожної з полиць каскаду одна на одну;
- підбір оптимальної конструкції полиці для різних умов сушіння зернистих матеріалів;
- дослідження основних режимів руху зернистого матеріалу на полицях сушарки;

– аналіз результатів експериментальних досліджень та вдосконалення гідродинамічних умов руху потоків в поличних сушарках.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Основна мета проведення експерименту – перевірка адекватності запропонованої математичної моделі гідродинаміки руху однофазного і двофазного потоків в межах поличної сушарки [5] на дослідній установці. Розроблена теоретична база повинна пройти перевірку експериментальними дослідженнями. На основі зіставлення результатів експерименту та теоретичного опису процесу, який досліджується, приймається рішення про можливість використання математичної моделі в промислових умовах.

Задача експериментальних досліджень полягає у встановленні впливу технологічних (витрата, швидкість руху газового потоку) та конструктивних (геометричних розмірів, конфігурації окремих елементів пристрою) параметрів на гідродинаміку потоків у робочому просторі поличної сушарки.

Роботу дослідного зразка гравітаційної поличної сушарки експериментально досліджено в лабораторних умовах кафедри «Процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв» (ПОХНВ) Сумського державного університету (СумДУ). Для проведення експериментів з дослідження гідродинамічних характеристик гравітаційної поличної сушарки спроектовано та виготовлено експериментальну сушильну установку, схему якої наведено на рис. 1. Модель установки, її монтажне креслення та фотографія експериментального стенду наведені на рис. 2.

Для проведення експериментальних досліджень використано набір поличних контактів різної довжини (рис. 3), які забезпечують регулювання кута їх встановлення в межах 0-25 градусів до горизонту. При цьому значення зазору між кінцем полиці та стінкою сушарки (розвантажувальний зазор) може змінюватись до 0,5 довжини апарату. Поличні контакти мають різне значення площі вільного перерізу: =15 %; 25 %; 30 %. В експериментальному зразку поличної сушарки встановлюється набір контактів; при цьому всі вони або мають одну конструкцію, або відрізняються довжиною і значенням вільного перерізу.

В основу фізичного моделювання покладено методи теорії подібності. У дослідях на моделі змінено (порівняно з промисловими умовами) масштаб установки. Геометрична подібність дотримується рівністю констант та інваріант геометричної подібності. Також мається на увазі, що обов'язково дотримується подібність руху відповідних частинок та їх траєкторій у натурі та в моделі.

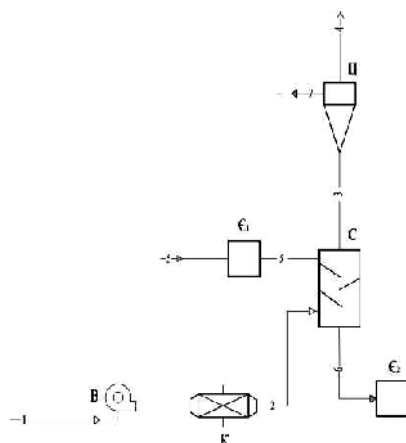


Рисунок 1 – Принципова схема експериментальної установки для дослідження гідродинаміки руху потоків в гравітаційних поличних апаратах:

В – вентилятор; К – калорифер;
С – гравітаційна полична сушарка;
Ц – циклон; Є₁ – ємність для вологого зернистого матеріалу; Є₂ – ємність для висушеного зернистого матеріалу;
1 – атмосферне повітря; 2 – нагріте атмосферне повітря; 3 – відпрацьоване повітря; 4 – очищене відпрацьоване повітря;
5 – вологий зернистий матеріал;
6 – висушений зернистий матеріал;
7 – дрібнодисперсний матеріал

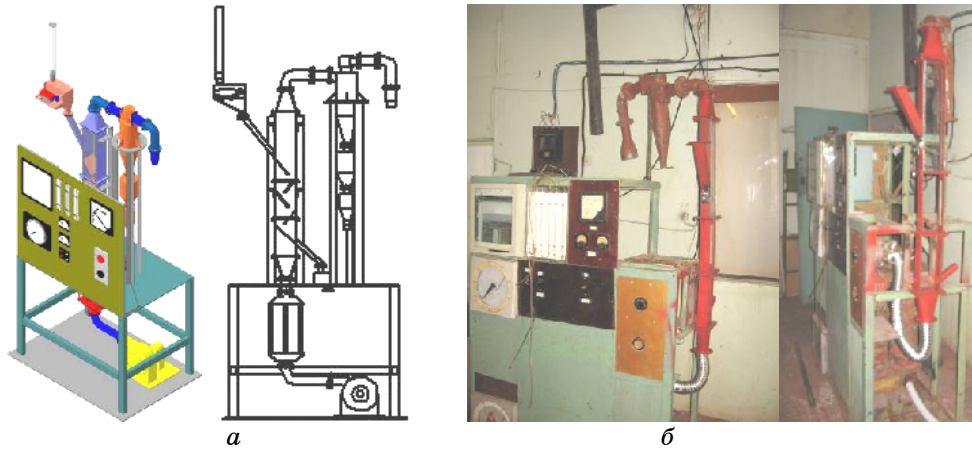


Рисунок 2 – Експериментальна установка для дослідження гідродинаміки руху потоків в гравітаційних полицних апаратах:
 а - модель установки та монтажне креслення; б - фото установки



Рисунок 3 – Конструкції полицних контактів

Під час проведення серії досліджень із кожним набором полицних контактів визначено поле швидкості руху газового потоку, траєкторію і час перебування зернистого матеріалу в полицній сушарці.

Конструкція експериментального зразка гравітаційної полицної сушарки представлена на рисунку 4.



Рисунок 4 – Експериментальний зразок гравітаційної полицної сушарки:
 а - модель; б - фото

На підставі заміру швидкості руху газового потоку та дослідження руху «мічених» частинок визначаються характерні зони розподілення потоків і рівномірність створення зваженого шару.

Для вивчення гідродинаміки руху потоків зернистий матеріал подається на верхню полицю сушарки, проходить кожен зі ступенів, контактуючи з висхідним потоком повітря.

Витрата сушильного агента складає 0,41-0,8 м³/год, витрата зернистого матеріалу – 12-20 кг/год.

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Гідродинаміка руху газового потоку

Якісна картина розподілення швидкості руху газового потоку в надполичному просторі і розвантажувальному зазорі має вигляд, представлений на рисунку 5.

Довжина зони I визначається довжиною поличного контакту та кутом його встановлення. Закон розподілення швидкості в цій зоні залежить від величини вільного перерізу полиці, її довжини, кута її встановлення і витрат газового потоку. Довжина зони II визначається величиною розвантажувального зазору, закон розподілення швидкості в ній залежить від конструкції поличного контакту та витрат газового потоку.

Нижче проводиться аналіз епюр розподілення газового потоку по довжині апарату в надполичному просторі і розвантажувальному зазорі залежно від конструктивних параметрів поличного контакту та витрат газового потоку.

Аналіз результатів експерименту стосовно розподілення швидкості руху газового потоку на різних ступенях сушарки залежно від висоти їх встановлення (рис. 6) при однаковому конструктивному виконанні кожного ступеня показав, що:

- розподілення швидкості руху газового потоку стає більш рівномірним зі збільшенням значення розвантажувального зазору;

- епюра швидкості руху газового потоку для поличного контакту однієї конструкції кількісно змінює свій профіль. Це пояснюється перерозподілом газового потоку по перерізу сушарки за висотою, причому з її збільшенням він стає більш рівномірним.

При встановленні поличних контактів з різним розвантажувальним зазором епюра розподілення швидкості руху газового потоку має такі особливості (рис. 7):

- розподілення швидкості руху газового потоку має низхідний характер від стінки апарату до кінця поличного контакту. Це обумовлено різним перепадом по довжині тисків під поличним контактом і над ним;

- при зменшенні величини X/L , починаючи з середини поличного контакту, відбувається інтенсивне зниження швидкості руху газового потоку, яке обумовлене створенням вихрів в розвантажувальному зазорі. Зменшення величини розвантажувального зазору призводить до збільшення інтенсивності вихрів на кінці поличного контакту, який порушує висхідний рух газового потоку;

- значення мінімуму швидкості руху газового потоку на поличному контакті тим більше, чим менша величина розвантажувального зазору.

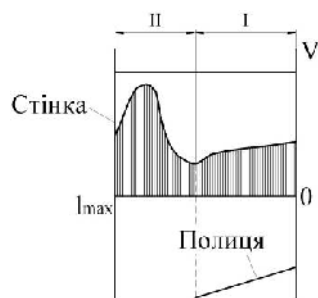


Рисунок 5 – Епюра розподілення швидкості руху газового потоку по довжині апарату

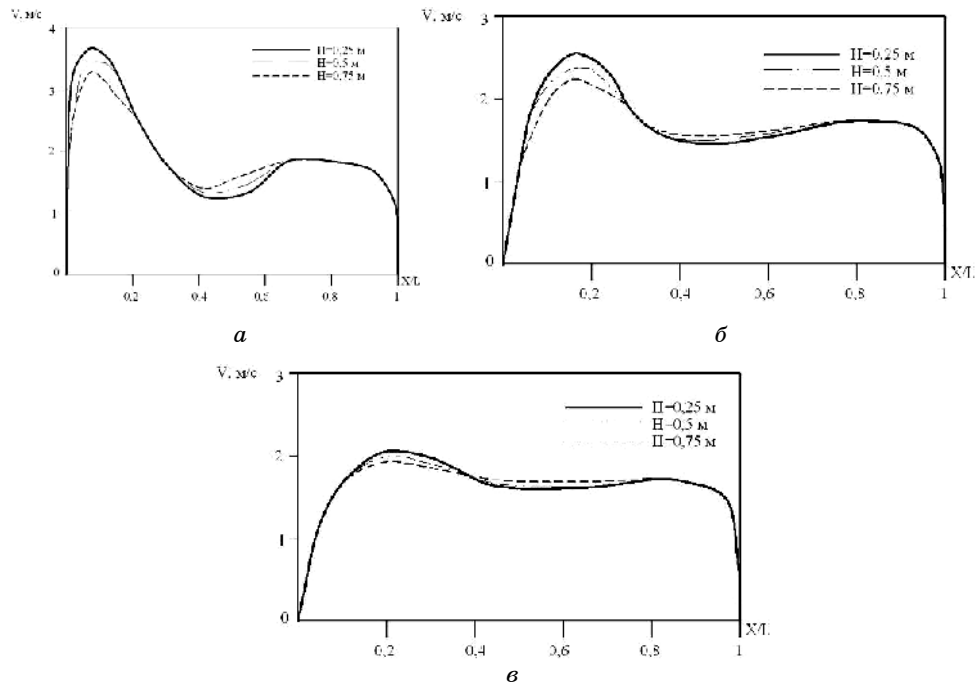


Рисунок 6 – Епюра розподілення швидкості руху газового потоку по довжині апарату залежно від висоти встановлення поличних контактів H :
 а – при вільному перерізі $\varphi=15\%$ та величині зазору $X/L=0,15$;
 б – при $\varphi=15\%$ та $X/L=0,3$; в – $\varphi=15\%$ та $X/L=0,5$

При встановленні в об'ємі сушарки поличного контакту з різним значенням величини вільного перерізу (збільшення величини вільного перерізу) спостерігається така картина (рис. 8):

- частково вирівнюється профіль швидкості руху газового потоку на поличному контакті;
- спостерігається зменшення піку швидкості руху газового потоку в розвантажувальному зазорі;
- епюра швидкості руху газового потоку в місці переходу від поличного контакту до розвантажувального зазору має більш плавний характер.

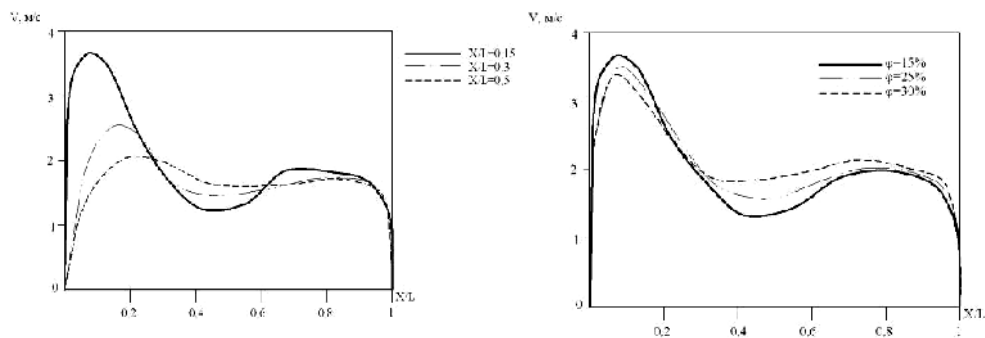


Рисунок 7 – Епюра розподілення швидкості руху газового потоку по ширині апарату залежно від X/L при $H=0,25$ м та $\varphi=15\%$

Рисунок 8 – Епюра розподілення швидкості руху газового потоку по довжині апарату залежно від $X/L=0,15$ і $H=0,25$ м

Збільшення кута встановлення полицного контакту при постійному значенні зазору X/L вносить свої особливості в епюру розподілення швидкості руху газового потоку (рис. 9):

- відбувається зменшення піку швидкості руху газового потоку на полиці, епюра вирівнюється;

- пік швидкості руху газового потоку в розвантажувальному зазорі зменшується;

- зона максимальної швидкості руху газового потоку в розвантажувальному зазорі розширюється з вирівнюванням епюри.

Епюра розподілення швидкості руху газового потоку зі збільшенням його витрати має однаковий якісний закон, але характеризується такими відмінними рисами (рис. 10):

- згладжування піку в середині полицного контакту;

- вирівнювання швидкості по довжині полицного контакту;

- пік швидкості руху газового потоку в розвантажувальному зазорі має більш яскраво виражений характер.

Епюри розподілу швидкості руху газового потоку дають можливість визначити зони гравітаційного руху зернистого матеріалу, його витання в апараті, сепарації та можливого винесення. Для повного опису гідродинаміки руху зернистого матеріалу, визначення траєкторії його руху та часу перебування в об'ємі сушарки та впливу на ці параметри конструкції полицного контакту та витрати газового потоку необхідно дослідити основні режими переміщення зернистого матеріалу.

Гідродинаміка руху зернистого матеріалу

При проведенні експериментальних досліджень руху зернистого матеріалу в полицній сушарці, крім зазначеного вище, стає можливим додатково визначити вплив руху пакетів частинок один на одного (зони зіткнення пакетів, вихроутворення руху зернистого матеріалу з більшою чи меншою інтенсивністю і т. п.).

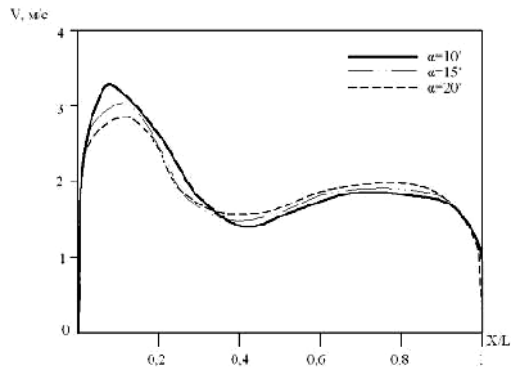


Рисунок 9 – Епюра розподілення швидкості руху газового потоку по довжині апарату залежно від величини кута встановлення полиці при $X/L=0,15$ і $H=0,25$ м

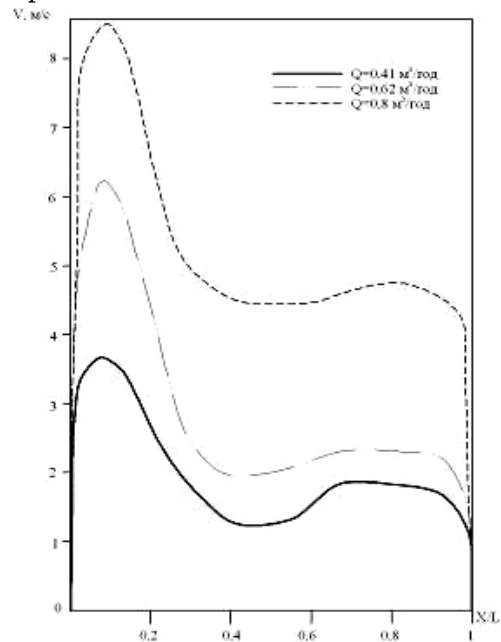


Рисунок 10 – Епюра розподілення швидкості руху газового потоку по довжині апарату залежно від величини витрати газового потоку при значенні величини розвантажувального зазору $X/L=0,15$ і висоті встановлення полицних контактів $H=0,25$ м

Основні режими руху зернистого матеріалу, визначені за результатами експериментальних досліджень:

1. Режим гравітаційного падаючого шару (рис. 11). Цей режим досліджено при витраті сушильного агента $0,41 \text{ м}^3/\text{год}$ і зернистого матеріалу $12 \text{ кг}/\text{год}$. Зернистий матеріал рухається по поверхні полиці за рахунок сили інерції, яка зумовлена передачею йому імпульсу при завантаженні з патрубку чи при переході з попередньої полки, та сили скочування по похилій поверхні. При цьому дія сили висхідного потоку сушильного агента не чинить значного впливу на режим руху зернистого матеріалу.

2. Перший перехідний режим (рис. 12). При збільшенні витрати сушильного агента до $0,5 \text{ м}^3/\text{год}$ дія сили його висхідного агента при збереженні витрати зернистого матеріалу призводить до поступової зміни траєкторії його руху з поступальної до поступально-пульсаційної у напрямку розвантажувального зазору. При цьому зернистий матеріал починає переходити у зважений стан, значення сили інерції компенсується силою висхідного потоку сушильного агента, поступальний напрям руху обумовлений лише силою скочування по похилій поверхні.

3. Режим зваженого шару (рис. 13). При збільшенні витрати сушильного агента до $0,55\text{-}0,6 \text{ м}^3/\text{год}$ дія сили його висхідного потоку при постійності витрати зернистого матеріалу призводить до створення стабільного зваженого шару за рахунок компенсації сили інерції та сили скочування по похилій поверхні.



Рисунок 11 – Робота сушарки у режимі гравітаційного падаючого шару зернистого матеріалу



Рисунок 12 – Перший перехідний режим роботи сушарки

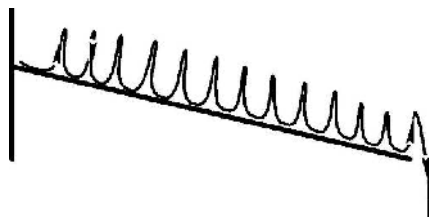


Рисунок 13 – Робота сушарки у режимі зваженого шару зернистого матеріалу

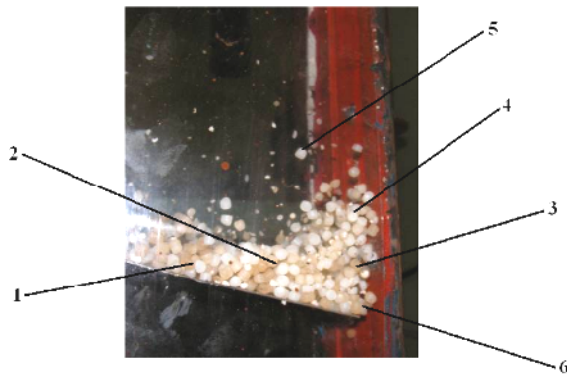


Рисунок 14 – Характерні зони руху зернистого матеріалу в гравітаційному полицному апараті: 1 – зона створення зваженого шару на полиці; 2 – зона пониження інтенсивності зваженого шару; 3 – зона створення вихору; 4 – зона підвищеної швидкості руху зернистого матеріалу над розвантажувальним зазором; 5 – зона сепарації дрібного зернистого матеріалу; 6 – зона вивантаження зернистого матеріалу з полиці

В такому режимі на контактній полиці сушарки і в розвантажувальному зазорі виникає декілька характерних зон (рис. 14).

В зоні створення зваженого шару 1 рух зернистого матеріалу відбувається його поступально-пульсаційне переміщення до розвантажувального зазору; в зоні пониження інтенсивності зваженого шару 2 за рахунок зменшення швидкості руху сушильного агента внаслідок збільшення перепаду тиску по довжині полиці зернистий матеріал втрачає частину вертикального переміщення вздовж вісі пристрою.

По мірі переміщення до кінця полиці зернистий матеріал поступово приходить зони створення вихору 3, яка утворюється при огинанні сушильним агентом полиці, зону швидкості руху над розвантажувальним зазором 4 і відводиться з полиці через зону 6. За умови сушіння полідисперсного зернистого матеріалу дрібна фракція визначеного розрахунками розміру сепарується в зоні 5.

4. Другий перехідний режим (рис. 15) виникає при збільшенні витрати сушильного агента до 0,6-0,7 м³/год і характеризується переважною дією на зернистий матеріал сили висхідного потоку, збільшенням вертикальної складової його переміщення; при цьому частина зернистого матеріалу починає виноситись з поверхні полиці до надходження в розвантажувальний зазор.

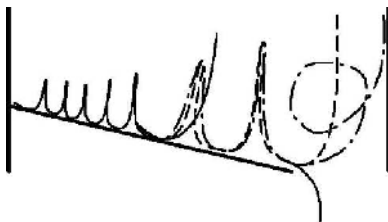


Рисунок 15 – Другий перехідний режим роботи сушарки



Рисунок 16 – Робота сушарки у режимі унесення зернистого матеріалу

5. Режим унесення зернистого матеріалу (рис. 16) виникає при збільшенні витрати сушильного агента до $0,8 \text{ м}^3/\text{год}$; він характеризується збільшенням вертикальної складової і винесенням зернистого матеріалу товарної фракції з меж контактної полиці без переміщення на наступний ступінь сушарки. В цьому режимі сила висхідного руху сушильного агента значно перевищує суму сил інерції та скочування по похилій поверхні, які обумовлюють поступальний рух зернистого матеріалу вздовж полиці.

ВИСНОВКИ

Одержані в ході проведення експериментальних досліджень результати дозволяють спрогнозувати поведінку зернистого матеріалу в разі зміни конструкції полицного контакту в каскаді та технологічних характеристик сушильного агента. Управління рухом зернистого матеріалу в гравітаційній полицній сушарці дає можливість корегування часу його перебування залежно від початкових властивостей та вимог до кінцевої якості. Аналіз результатів досліджень покладені в основу удосконалення конструкції пристрою для сушіння шляхом збільшення рівномірності контакту сушильного агента з потоком зернистого матеріалу, регулювання часу його перебування та створення покращеної гідродинаміки руху потоків [6; 7].

EXPERIMENTAL STUDY IN HYDRODYNAMICS OF FLOWS' TRAFFIC ON CASCADE OF SHELVES IN A MULTISTAGE GRAVITATIONAL DRYER

*N. O. Artyukhova, M. P. Yuhimenko,
Sumy State University
2, R-Korsakov Str., 40007 Sumy, Ukraine,
E-mail: pohnp@yandex.ru*

The results of experimental studies in hydrodynamic of flow traffic within the gravitational shelf dryer are presented. Graphical dependencies, which show the influence of shelf contacts design on hydrodynamics of drying agent traffic, were obtained. The basic regimes of granular material motion on shelves cascade were studied.

Key words: *gravitational shelf dryer, hydrodynamics, experiment.*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКОВ НА КАСКАДЕ ПОЛОК В МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ СУШИЛКАХ

*Н. А. Артюхова, Н. П. Юхименко,
Сумский государственный университет,
ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, 40007, Украина,
E-mail: pohnp@yandex.ru*

Представлены результаты экспериментальных исследований гидродинамики движения потоков в пределах гравитационной полочной сушилки. Получены графические зависимости, которые демонстрируют влияние конструкции полочных контактов на гидродинамику движения сушильного агента. Исследованы основные режимы движения зернистого материала на каскаде полок.

Ключевые слова: *вращающийся вибрационный гранулятор плава, грануляционная башня, качество, аммиачная селитра.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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. – P. 323-324.
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. – P. 41-43.

3. 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. – 2012. – № 17(188), Ч. 1. – С. 234-239.
4. Апарати завислого шару. Теоретичні основи і розрахунок] / Юхименко М. П., Вакал С. В., Кононенко М. П., Філонов А. П. – Суми : Собор, 2003. – 304 с.
5. Артюхова Н. О. Визначення аеродинамічних характеристик гравітаційної полицної сушарки / Н. О. Артюхова // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Механізація та автоматизація виробничих процесів. – 2012. – Вип. 24. – С. 87-91.
6. 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.
7. Патент України. Заявка № u201300468 від 14.01.2013 р., МПК (2012) А26И 3.02, А26И 17.12. Пристрій для сушіння дисперсних матеріалів / Н. О. Артюхова, М. П. Юхименко, А. Є. Артюхов, О. Б. Шандиба.

Надійшла до редакції 29 березня 2013 р.