

Методика досліджень

Для зміцнення молотків молоткової дробарки використовували установку електроерозійного легування моделі «Елітрон-22А», яка призначена для зміцнюючої електроіскрової обробки поверхонь деталей машин, штамів, ріжучого інструмента та ін. (рис. 2). Вона відрізняється простотою в використанні, компактними габаритними розмірами та невеликою масою, достатньою продуктивністю, зручна в транспортуванні і пристосована для роботи в будь-яких виробничих умовах.



Рис. 2. Установка „Елітрон – 22А”.

На якісні параметри покриттів впливає обраний режим роботи установки. Режими роботи установки моделі «Елітрон 22А» приведені в табл. 1.

На підставі літературного огляду, та з досвіду попередніх досліджень, для ЕІЛ молотків молоткових дробарок вибираємо 5-й режим роботи установки, при якому енергія розряду W_p , складає 0,39 Дж.

Для проведення досліджень і визначення найбільш раціонального матеріалу легуючого електрода використовували матеріали з різними фізико-механічними властивостями (табл. 2): хром та тверді сплави ВК8 і Т15К6.

Для порівняльних випробувань використовували дробарку КДУ-2 українського виробництва з розмірами молотка 110×50×5 мм. Молоток (рис. 3) виготовлений зі сталі 65Г з наступною термічною обробкою на твердість поверхні 50-55 HRC.

Робоче місце оператора оснащується місцевим ви-

світленням і місцевою проточно-витяжною вентиляцією для видалення виділень, які утворюються при ЕЕЛ. При висвітленні лампами накаливання, освітленість на рівні робочого місця повинна бути не менш 150 Лк, при висвітленні люмінесцентними лампами ДСТ 6825-74 - не менш 300 Лк. Робочий верстат оператора повинний бути обладнаний лещатами з губками з м'якого металу. Процес ЕІЛ робочих поверхонь молотків відбувається наступним чином:

- спочатку поверхню молотків, на яку наносили зміцнююче покриття, знежирюють (обробляють ацетоном, уайт-спіритом, спиртом та ін.);
- молоток закріплюють в лещатах під кутом 70°, що є оптимальним для кращого нанесення матеріалу електроду і зчеплення з основою;
- закріплюють електрод $\varnothing 3$ мм та довжиною 40 мм в ручний вібратор, та починають ЕІЛ.

Товщина прирощеного шару вимірялась мікрометром по найбільш виступаючих нерівностях. Середнє арифметичне відхилення нерівностей профілю поверхні (Ra), мкм - визначалось за допомогою профілографа-профілометра моделі 201 заводу «Калібр». Приблизна оцінка суцільності виконується за допомогою лупи 4-7 кратного збільшення за ГОСТ 25706.

Після нанесення покриттів молотки встановлювали на дробарку КДУ-2 і випробували в умовах виробництва. В процесі проведення випробувань через кожні 50 годин проводили зупинку дробарки і замір величини зносу робочих граней молотків по передній та по задній поверхні (рис. 4).

На рис. 4 з показані етапи зношування та найбільш вразливі ділянки зношування молотка зернової дробарки.



Рис. 3. Области зносу молотка дробарки КДУ.

Таблиця 1. Режими роботи установки моделі «Елітрон 22А»

№ режиму	Напруга холостого ходу $U_{х.х.}$, В	Робочий струм I_p , А	Ємність накопичувального конденсатора C , мкФ	Енергія розряду W_p , Дж
1	15	0,4-0,7	360	0,02
2	22	0,7-0,8		0,05
3	35	0,9-1,3		0,13
4	50	1,4-1,8		0,27
5	60	1,9-2,3		0,39
6	70	2,4-2,8		0,52

Таблиця 2. Фізико-механічні властивості матеріалів, застосовуваних при ЕЕЛ як анод (легуючого електрода).

Марка матеріалу	Температура плавлення, °С	Твердість	Теплопровідність, Вт/(м·К)	Коефіцієнт лінійного розширення, 10^{-6} град ⁻¹
Твердий сплав ВК8	-	88,5 HRA	5,0	5,1
Твердий сплав Т15К6	-	90,2 HRA	12,5	5,6
Хром	1860	52 HRA	88,6	6,2
65Г*	1563	269 HB	115	11,1

* матеріал виготовлення молотків дробарки.

Знос поверхонь замірявся за допомогою інструментального мікроскопу МІМ-9. Для нормальної роботи дробарки критерієм зносу є знос поверхні на величину яка не повинна перевищувати 4мм.

Викладення основного матеріалу досліджень

Одержання покриттів методом ЕІА є складним фізичним процесом, залежним від багатьох факторів. Поверхня яка зміцнюється піддається термічному і механічному впливу, дії навколишнього середовища. При електроерозійному розряді відбувається ерозія матеріалу і відкладення його на поверхні катода.

При зближенні електродів напруженість електричного поля збільшується. На деякій відстані між електродами вона стає достатньою для виникнення електричного розряду. Через виникаючий канал наскрізної провідності пучок електронів вдаряється об тверду металеву поверхню аноду (електроду). Енергія руху зупинених електронів виділяється в поверхневих шарах аноду. У зв'язку з тим, що в даний момент система стрибкоподібно звільняє накопичену енергію, щільність струму значно перевершує критичні значення. У результаті цього від аноду відокремлюється крапля розплавленого металу, що рухається до катода (деталі), випереджаючи анод, що також рухається.

У процесі відділення від анода крапля, що летить, устигає нагрітися до високої температури, закипає або „вибухає”. Ланцюг струму переривається, стискальні зусилля електромагнітного поля зникають і тому частки, що утворилися, летять широким фронтом. Так як перегріта крапля і частки знаходилися у контакті з газом (навколишнє середовище), то по складу і властивостям вони можуть відрізнятися від вихідного матеріалу анода. Розплавлені частки, досягши катода, зварюються з ним і частково упродовжуються в його поверхню. Слідом за частками рухається електрод, включений у систему, що встигла знову нагромадити енергію. Через розпечені частки, що лежать на катоді, проходить другий імпульс струму, що супроводжується механічним ударом рухомого електрода. На наступному етапі при механічному контакті електродів частки зварюються між собою і прогрівається тонкий шар поверхні катода. При цьому, крім дифузійного масопереносу, під дією електричного струму в тілі катода відбуваються хімічні реакції між частками, що наносяться, і матеріалом катода. Механічний удар електрода по розпеченій масі матеріалів покриває отримане покриття, що значно збільшує його однорідність і щільність. Далі анод рухається нагору, а на поверхні катода залишається міцно з'єднаний з ним шар матеріалу анода.

В табл. 3 приведені усереднені значення шорсткості сталі 65 Г в залежності від матеріалу легуючого електрода, та режиму легування.

Аналіз залежності шорсткості поверхні сталі 65Г від режиму легування показує, що з зростанням режиму ле-

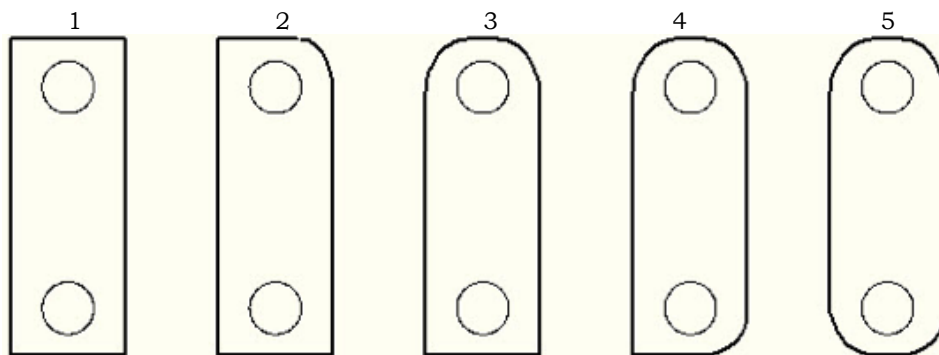


Рис. 4. Етапи та ділянки зношування молотка зернової дробарки.

гування шорсткість поверхні збільшується. На наш погляд найбільш прийнятним буде 5-й режим легування, який дозволить перенести достатню кількість легуючого матеріалу і при цьому зберегти достатньо невелику шорсткість поверхні $Ra=7,9$ мкм.

В табл. 4 та на рис. 5 приведені результати порівняльних випробувань молотків при подрібненні зерна.

З приведених результатів видно, що при застосуванні хрому в якості легуючого елементу ми отримали збільшення строку використання молотків приблизно в 1,8 рази, твердого сплаву ВК8 – в 2,3 рази, а твердого сплаву Т15К6 – 3,5 рази в порівнянні з строком використання без обробки.

Таким чином, в результаті проведених випробувань і аналізу отриманих даних, ми можемо вибрати найбільш ефективний матеріал легуючого електрода – твердий сплав Т15К6, завдяки якому строк використання молотків виріс приблизно у 3,5 рази.

Таким чином, в результаті проведених досліджень можна зробити наступні **висновки**:

Таблиця 3. Шорсткість поверхні сталі 65 Г після ЕІА хромом, твердим сплавом ВК8 та Т15К6

Матеріал основи	Матеріал електрода	Шорсткість, Ra, мкм			
		Режим ЕІА			
		1	3	5	6
Сталь	Хром	2,9	3,5	4,8	6,5
65 Г	ВК8	3,9	5,6	7,9	7,9
	Т15К6	3,9	5,6	7,9	10,9

1. Аналіз методів зміцнення молотків молоткових дробарок показав, що найбільш перспективною, в даному випадку, може бути технологія електроіскрового легування, яка дозволяє отримувати поверхневі структури з унікальними фізико-механічними і трибологічними властивостями. Перевагою ЕІА є екологічна безпека процесу, висока міцність зчеплення легуваного шару і матеріалу основи, можливість нанесення на зміцнювальну поверхню будь-яких струмопровідних мате-

Таблиця 4. Величини зносу молотків дробарки

Матеріал	Години роботи								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Т15К6	0,75	1,6	2,1	2,7	3,1	3,5	3,75	3,9	4,1
ВК8	1,3	2,2	2,8	3,4	4,0	-	-	-	-
Хром	1,5	2,6	3,3	4,0	-	-	-	-	-
65Г	2,3	3,8	5,1	-	-	-	-	-	-

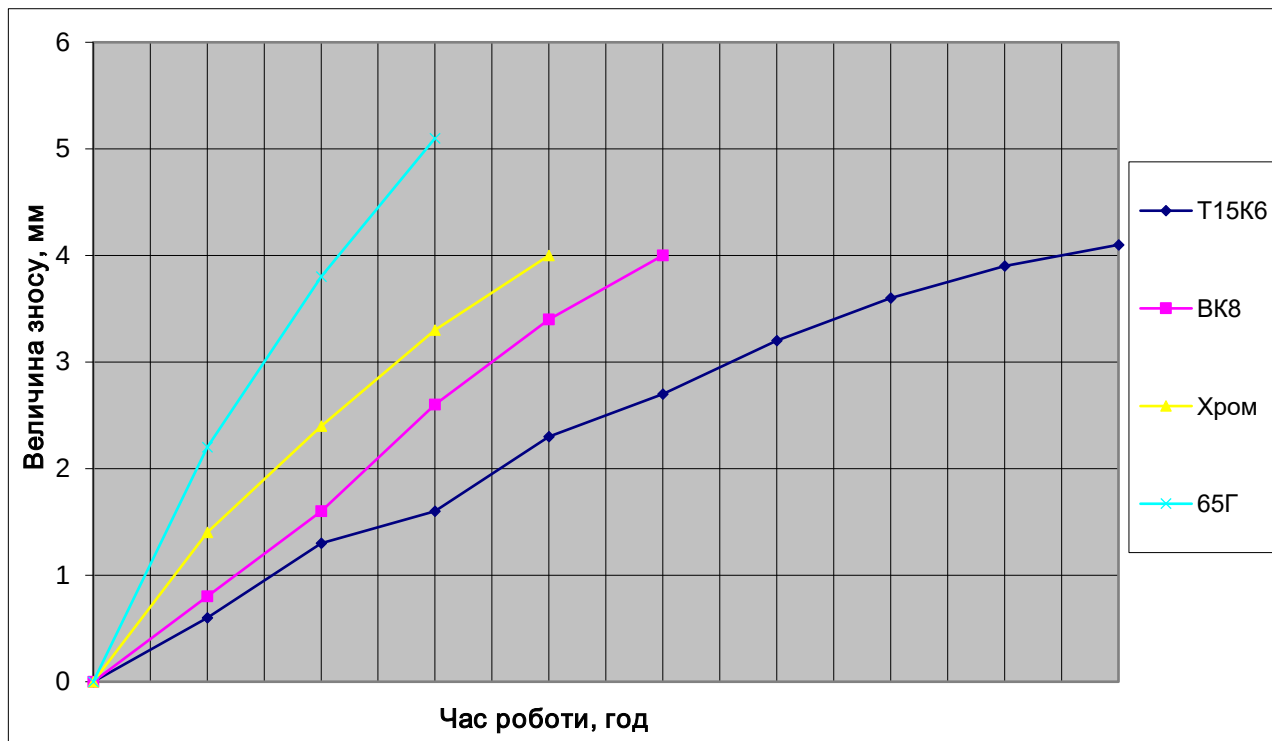


Рис. 5. Графік залежності величини зносу молотків від часу роботи дробарки і матеріалу легування.

ріалів, низька енергоємність процесу, простота виконання технологічної операції.

2. Аналіз заміру шорсткості поверхні показав, що найбільш цікавим режимом зміцнення молотків дробарки є 6-ий режим, що дозволяє перенести велику кількість матеріалу легуючого електроду і при цьому зберегти достатньо невелику шорсткість поверхні $Ra=7,9$ мкм.

3. В якості матеріалу легування, на основі проведених порівняльних випробувань, обрали твердий сплав T15K6.

Література:

1. Нанка О.В., Бойко І.Г. Шляхи зниження енергоємності подрібнення зернових кормів та підвищення якості подрібнення. Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка

2008. С. 55-58.

2. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм.-А.: Колос, 1978.-560 с.

3. Гвоздев О.В., Шпиганович Т.О., Ялпачик О.В. Вдосконалення процесу подрібнення зерна. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету №9 2011 р. С. 143-150.

4. Поярков М.С. Совершенствование рабочего процесса молотковых дробилок с жалюзийными сепараторами при одно- и двухступенчатом измельчении зерна. Автореф. дис. ...канд. техн. наук. Киров – 2001. -22 с.

5. Алешкин В.Р. Повышение эффективности процесса и технических средств механизации измельчения кормов: Дис...д-ра техн. наук.- Киров, 1995.- 412с.

6. Черепанов С.В. Современные технологии дробления: от идеи до воплощения./ С.В. Черепанов, В.О. Карпушенко, М.В. Архипова // Хранение и переработка зерна. 2004.- №1. С. 37-38.

7. Деклараційний патент України на винахід № 61505 А МПК В 02В 3/02./ Ялпачик Ф.Ю., Фучаджи Н.О., Гвоздев О.В. Бюл. №11, від 17. 11. 2003.

8. Шпиганович Т.О. Обґрунтування конструктивних параметрів дробарки зерна прямого удару з попере-

дньою сепарацією зернового матеріалу// Т.О. Шпиганович, О.В. Ялпачик. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.- Мелітополь: ТДАТУ. Вип. 10, т.3. – 2010. С.23 – 35.

9. Патент на винахід № 95435. Україна, А23N5/00, В02С 13/00/ Пристрій для луцення та подрібнення зерна./ Т.О. Шпиганович, О.В. Ялпачик. Бюл.№14 від 25.07.2011.

10. Петров А. А. Повышение надежности рабочих органов кормодробилок молоткового типа : дис. канд. : 05.20.03 / Петров Алексей Анатольевич – Оренбург, 2007. – 153 с.

11. Федченко З. А. Обґрунтування параметрів сепаруючих решіт молоткових зернових дробарок : дис. канд. : 05.05.11 / ФЕДЧЕНКО Зоя Анатоліївна – Тернопіль, 2017. – 182 с.

12. Подрібнення зерна і компонентів комбікормів [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://soft-agro.com/uk/kormovirobnictvo/podribnennya-zerna-i-komponentiv-kombikormiv.html>.

13. Тарельник В. Б. Управление качеством поверхностей деталей комбинированным электроэрозионным легированием: монография / В. Б. Тарельник. – Сумы : МагДен, 2002. – 324 с.

14. Гитлевич А. Е. Электроискровое легирование металлических поверхностей / А. Е. Гитлевич, В. В. Михайлов, Н. Я. Парканский, В. М. Ревуцкий. – Кишинёв: Штиинца, 1985. –196 с.

15. Тарельник В. Б. Модернизация и ремонт роторных машин: монография / В. Б. Тарельник, В. С. Марцинковский. – Сумы: Издательство «Казацкий вал», 2005. – 364 с.

16. Михайлов В. В. Электроискровое легирование титана и его сплавов, физико-технологические аспекты и возможность практического использования. Краткий обзор. Часть I. Особенности массопереноса, структурные и фазовые превращения в поверхностных слоях, их изнoso- и жаростойкость / В. В. Михайлов, А. Е. Гитлевич, А. Д. Верхотуров, А. И. Михайлюк, А. В. Беляков, Л. А. Коневцов // Электронная обработка материалов. – 2013. – №49(5). – С. 21-44.

С. М. Сабадаш, к. т. н., доцент, Д. Д. Казаков, ст. викладач (Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна)

Визначення режимів псевдозрідження під час сушіння дисперсних продуктів

Викладено підходи до моделювання процесу сушіння термолабільних матеріалів, в рамках якого процес сушіння розглядається як поєднаний процес термічного зневоднення і термічної деструкції на прикладі сушарок з псевдозрідженим шаром.

Ключові слова: сушарка, киплячий шар, поразність шару, режим початку псевдозрідження, стійкого фонтанування і винесення частинок.

Изложены подходы к моделированию процесса сушки термолабильных материалов, в рамках которого процесс сушки рассматривается как совмещенный процесс термического обезвоживания и термической деструкции на примере сушилок с псевдооживленным слоем.

Ключевые слова: сушилка, кипящей слой, поразность слоя, режим начала псевдооживления, устойчивого фонтанирования и вынесения частиц.

The approaches to the modeling of the drying process of thermolabile materials are outlined, within which the drying process is considered as a combined process of thermal dehydration and thermal destruction using the example of fluidized bed dryers. A mathematical model is presented that makes it possible to obtain data on the final moisture content of the material and the yield of the target substance based on the technological parameters of the process, the physicochemical properties of the substances and the initial parameters of the process.

Key words: dryer, boiling bed, peaking layer, the mode of the onset of fluidization, sustainable spouting and removal of particles.

Постановка проблеми

Дослідження гідродинамічних характеристик сушильних апаратів зумовлено впливом сукупності різноманітних чинників, які у свою чергу пов'язані з рухом і умовами переміщення газової та твердої фаз. Це істотно впливає на процес сушіння, в якому гідродинаміка визначає тривалість перебування висушених частинок матеріалу в апараті.

Гідродинаміка сушильних апаратів у своїй основі визначає енергетичні витрати на сушіння, що для такого енергоємного процесу має важливе значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Гідродинаміка зважених частинок у потоці наочно описується кривою, яка показує зміну опору шару матеріалу Δp залежно від швидкості теплоносія w [1; 2]. На кривій псевдозрідження розрізняють стадії, які характеризують перехід щільного шару дисперсного матеріалу в псевдозріджений шар:

- режим фільтрації;
- втрата стійкості;
- початок псевдозрідження;
- стійке псевдозрідження.

Проаналізувавши криві псевдозрідження та результати візуального спостереження, можна одержати повне уявлення про процес, який відбувається в апараті.

Найбільшу зацікавленість у дослідників викликає визначення умов початку псевдозрідження і максимальної величини гідравлічного опору шару Δp . Очевидно, це пояснюється необхідністю визначення мінімальної витрати газу для отримання стійкого режиму фонтанування і специфічного для псевдозрідженого шару надлишкового напору газу, що необхідний для запуску апарата. Чим вищий тиск в апаратах із псевдозрідженим шаром, тим вищі енерговитрати на псевдозрідження матеріалу, що у свою чергу призводить до зменшення економічності процесу [3; 4; 5].

Вибираючи конструкцію камери для сушіння післяспиртової зернової барди, ми насамперед керувалися властивостями висушеного матеріалу, зважаючи на

злипання післяспиртової барди. Зазначена проблема значною мірою вирішується під час сушіння барди в конічно-циліндричній камері з нижнім підведенням газоподібного сушального агента через отвір у центральній частині [3; 6; 7].

Гідродинаміку сушіння післяспиртової барди досліджували на установці в конічно-циліндричній камері (рис. 1.).

Метою роботи є дослідження гідродинамічних характеристик сушарок у псевдозрідженому шарі інертного носія.

Обговорення результатів дослідження.

Першим етапом є вивчення режимів псевдозрідження фторопластової крихти та післяспиртової барди на описаній раніше експериментальній установці. Основною розрахунку стали критична швидкість на початку кипіння ($W_{п.к.}$) і швидкість винесення частинок, яка називається швидкістю витання ($W_{вит.}$) [8]. Співвідношення швидкостей витання і початку кипіння називається числом псевдозрідження:

$$K = W_{вит.} / W_{п.к.} \quad (1)$$

Порівняно з киплячим шаром, характерним для циліндричних апаратів, псевдозрідження в конічних апаратах має значно ширший діапазон кипіння – такий шар називається фонтануючим [8].

Найбільш зручною залежністю для розрахунку швидкості початку псевдозрідження є формула В.Д. Горошко, Р.Б. Розенбаума, О.М. Тодеса [9]. Її перевагою над іншими залежностями, є можливість використання для всіх режимів обтікання частинок:

$$Re_{п.к.} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}} \quad (2)$$

$$\text{де } Ar = \frac{gd^3(\rho_t - \rho_{ж.})}{\nu_{ж.}^2 \cdot \rho_{ж.}};$$

$$Re_{n.к.} = \frac{W_{n.к.} \cdot d}{\nu_{жс}},$$

де d – діаметр (зазвичай еквівалентний) твердих частинок;
 ν_p – кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини або газу;
 $\rho_{ж}, \rho_t$ – відповідно густина зрідженого агента і частинок.

Аналогічно рівнянню О.М. Тодеса, отриманому з рівняння Ергона [10] стосовно циліндричних апаратів, за участю авторів [11] була одержана залежність для розрахунку критичної швидкості псевдозрідження в конічних апаратах:

$$Re_{n.к.} = \frac{Ar}{1400 \frac{d_0}{d_e} + 3 \sqrt{Ar \frac{d_0}{d_e} \left(\frac{d_0^2}{d_e^2} + \frac{d_0}{d_e} + 1 \right)}} \quad (3)$$

де d_0, d_e – нижній і верхній діаметри шару.

Залежності (1) і (2) отримано для початку процесу псевдозрідження $\left(\varepsilon = \frac{V_{с.в.}}{V_{шару}} = 0,4 \right)$.

Для значення $1 > \varepsilon > \varepsilon_0$ можна скористатися методом Тодеса [10], яким визначено залежності швидкості псевдозрідження від порізності та інших параметрів шару. Якщо перетворити рівняння (3), помноживши чисельник та знаменник на число $18/1400$, отримаємо такий вираз:

$$Re_0 = \frac{\frac{18}{1400} Ar}{18 \frac{d_0}{d_e} + 3 \sqrt{\left(\frac{18}{1400} \right)^2 Ar \frac{d_0}{d_e} \left(\frac{d_0^2}{d_e^2} + \frac{d_0}{d_e} + 1 \right)}}; \quad (4)$$

Після перетворення отримано:

$$Re_0 = \frac{0,01286 Ar}{18 \frac{d_0}{d_e} + 0,34 \sqrt{0,01286 Ar \frac{d_0}{d_e} \left(\frac{d_0^2}{d_e^2} + \frac{d_0}{d_e} + 1 \right)}}.$$

Число 0,01286 є функцією порізності для початку псевдозрідження $\varepsilon = \varepsilon_0 = 0,4$. Очевидно, що в режимі винесення порізність і функція порізності будуть прямувати до одиниці $\Phi(\varepsilon=1) = 1$. У загальному вигляді рівняння матиме вигляд:

$$Re = \frac{Ar \cdot \phi(\varepsilon)}{18 \frac{d_0}{d_e} + 0,34 \sqrt{\phi(\varepsilon) Ar \frac{d_0}{d_e} \left(\frac{d_0^2}{d_e^2} + \frac{d_0}{d_e} + 1 \right)}}. \quad (5)$$

Як наслідок, для дослідження процесу псевдозрідження

частинки у конічному апараті були використані методи О.М.Тодеса й авторів [10]. Унаслідок перетворення рівняння Ергона-Тодеса, отримано залежності для розрахунку швидкостей фонтанування від початку псевдозрідження ($\varepsilon = \varepsilon_0 = 0,4$) до винесення частинок ($\varepsilon = 1$). У ході експериментальних досліджень отримано значення швидкостей для різних режимів псевдозрідження (табл. 1).

Експериментальні дослідження з визначення режимів псевдозрідження проводилися в камері з конічним дном і такими геометричними параметрами (рис. 1): $d_0 = 50$ мм, $D_u = 120$ мм, $H = 125$ мм.

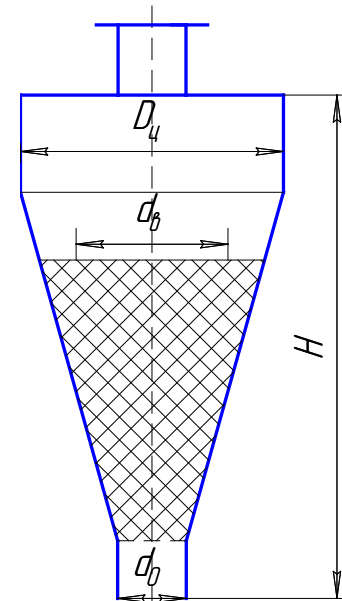


Рис. 1. Апарат із фонтануючим шаром: D_u – діаметр циліндричної частини апарата; d_0 – діаметр вхідного отвору; d_e – діаметр верхнього перерізу; H – висота камери дробарки КДУ.

Під час досліджень виміряли витрати повітря витратомірною шайбою. Висота шару фторопластової крихти з еквівалентним діаметром $d_e = 4$ мм, становила 30 мм, $d_b = 74$ мм. Результати розрахунків за наведеними залежностями і дані експериментів подано на рис. 2.

Висновки.

1. Показано, що при порізності шару від 0,4 до 0,5 швидкість теплоносія є незначною, це свідчить про нерухомість шару.

2. При порізності шару від 0,5 до 0,9 швидкість прямолінійно зростає і розпочинається процес стійкого псевдозрідження.

3. При порізності, що дорівнює 1, настає режим винесення частинок і швидкість теплоносія набуває свого

Таблиця 1. Рівняння для визначення швидкостей псевдозрідження

ε	Розрахункові формули	Застосування
0,4	$Re_n = \frac{Ar \cdot 0,01286}{18 \frac{d_0}{d_b} + 0,038 \sqrt{Ar \frac{d_0}{d_b} \left(\frac{d_0^2}{d_b^2} + \frac{d_0}{d_b} + 1 \right)}}$	Рівняння для початку режиму псевдозрідження
0,5÷0,9	$Re_n = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 \frac{d_0}{d_b} + 0,34 \sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75} \frac{d_0}{d_b} \left(\frac{d_0^2}{d_b^2} + \frac{d_0}{d_b} + 1 \right)}}$	Рівняння для стійкого режиму псевдозрідження
1	$Re_n = \frac{Ar}{18 \frac{d_0}{d_b} + 0,34 \sqrt{Ar \frac{d_0}{d_b} \left(\frac{d_0^2}{d_b^2} + \frac{d_0}{d_b} + 1 \right)}}$	Рівняння для режиму унесення частинок

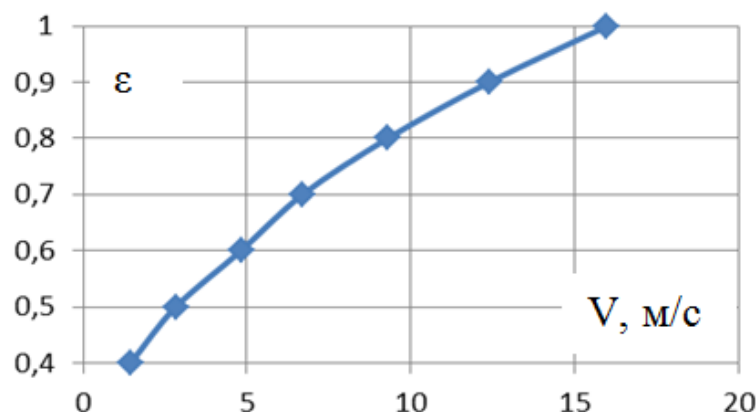


Рис. 2. Пористість псевдозрідженого шару (за розрахунками табл. 1).

максимуму.

Література:

1. Муштаев В.И. Сушка в условиях пневмотранспорта / В.И. Муштаев, В.М. Ульянов, А.С. Тимонин. – М.: Химия, 1984. – 232 с.
2. Регер Э.О. Исследование процесса сушки пастообразных азокрасителей на инертных телах в фонтанирующем слое : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.17.08 "Процессы и аппараты химических технологий" / Э.О. Регер. -Л., 1965. - 16 с.
3. Романков П.Г. Сушка во взвешенном состоянии / П. Г. Романков, Н.Б. Рошковская. - М. - Л.: - Химия. - 1979. -С.272.
4. Муштаев В.И. Сушка дисперсных материалов / В.И. Муштаев В.М. Ульянов. - М.: Химия. - 1988. - 352 с.
5. Сажин Б.С. Основы техники сушки / Б.С. Сажин. М.: Химия. - 1984.-320 с.

6. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа. - 1967. - 600 с.
7. Мандреа А.Г. Спиртовая барда. Технология утилизации. Компания «Westfalia Separator» / А.Г. Мандреа // Пищевая промышленность. - 2004. - №3.-С. 54-55.
8. Романков П.Г. Сушка во взвешенном состоянии / П. Г. Романков, Н.Б. Рошковская. - М. - Л.: - Химия. - 1979. -С.15-19.
9. Горошко В.Д. Приближенные закономерности гидравлики взвешенного слоя и стесненного падения / В.Д. Горошко, Р.Б. Розенбаум, О.М. Тодес // Изв. вузов. Нефть и газ. - 1958. - № 1. - С. 125-131.
10. Тодес О.М. Аппараты с кипящим зернистым слоем / О.М. Тодес, О.Б. Цитович. – Л.: - Химия. - 1981. - 296 с.
12. Якуба О.Р. Критическая скорость псевдооживления в конических аппаратах / О.Р. Якуба, И. Ф. Кузьмин // ЖПХ. -.1989. - № 6. С.-391-392.