

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ

Михайлов Є. В., д. т. н.,

Задосна Н. О., інж.,

Афанасьєв О. О., асп.*

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-12-65

Анотація – в роботі представлено теоретичне дослідження визначення параметрів псевдозрідження зернового матеріалу у машині попереднього очищення зерна із замкненою повітряною системою.

Ключові слова – пневмосепарація, псевдозріджений стан, зерновий ворох, повітрявідокремлюючі домішки, очищення.

Постановка проблеми. Більшість зерно- і насіннесочисних машин для очищення зернового матеріалу від домішок у виробничих умовах мають невисоку ефективність технологічного процесу.

Низька ефективність виділення важковідокремлюємих домішок із насінневого матеріалу в більшості випадків викликає необхідність додаткового пропускання оброблюваного матеріалу через технологічні лінії, що призводить до втрат повноцінного насіння у фураж або відходи, а також до значного їх травмування [1].

Ця обставина обумовлює пошук, розробку і використання технічних рішень, спрямованих на вдосконалення конструкцій і основних робочих органів даних машин з метою підвищення ефективності їх роботи [2].

Аналіз останніх досліджень. В машинах попереднього очищення зерна актуальне значення має виділення крупних та повітря відокремлюємих сміттєвих домішок. Для вирішення цієї задачі може бути застосоване циліндричне решето (скальператор) [2]. У сільськогосподарському виробництві в області очищення та сушіння зерна використовуються процеси, в яких зерновий матеріал (ворох) знаходиться у псевдозрідженому стані [3, 4].

Доведено [5], що псевдозрідження зернового вороху підвищує продуктивність циліндричного решета із зовнішньою робочою

© Михайлов Є. В., Задосна Н. О., Афанасьєв О. О.

* Науковий керівник – д. т. н. Михайлов Є. В.

поверхнею до 2 разів. Тому застосування псевдозрідження для інтенсифікації попереднього очищення зерна є актуальною темою.

Формування цілей статті (постановка завдання). Теоретичне визначення параметрів процесу псевдозрідження зернового вороху в машині попереднього очищення зерна із замкненою повітряною системою.

Основна частина. Пневморешітний сепаратор зі замкненою повітряною системою [6] містить такі агрегати: діаметральний вентилятор, повітряроздавальний канал, завантажувальний пристрій, горизонтальне циліндричне решето із зовнішньою робочою поверхнею, лоток-інтенсифікатор, пневмосепаруючу камеру, двоступеневу осадову камеру, пристрої виводу сходових фракцій, всмоктуючий канал.

На рис. 1 приведена частина схеми технологічної лабораторно-виробничого стенду машини попереднього очищення зерна. Потік зернового матеріалу з бункера 1 поступає на лоток-інтенсифікатор 2. Нагнітаючий повітряний потік переводить зернову суміш на перфорованому лотку-інтенсифікаторі у псевдозріджений стан.

Пил, солома, збоїна та деякі великі, легкі і повітрявідокремлювані домішки переміщуються у верхній шар, а повноцінне зерно і дрібні важкі домішки – в нижній. Великі домішки відокремлюються циліндричним решетом 3, крізь яке проходить очищене зерно. Блок керованих жалюзі 5, додатково виділяє легкі домішки і виводить їх з циліндричного решета 3. Очисна щітка 4 відокремлює з поверхні решета застряглі крупні домішки. Такий пристрій збільшує питому продуктивність циліндричного решета до 2-х разів за рахунок переводу зернової суміші у псевдозріджений стан.

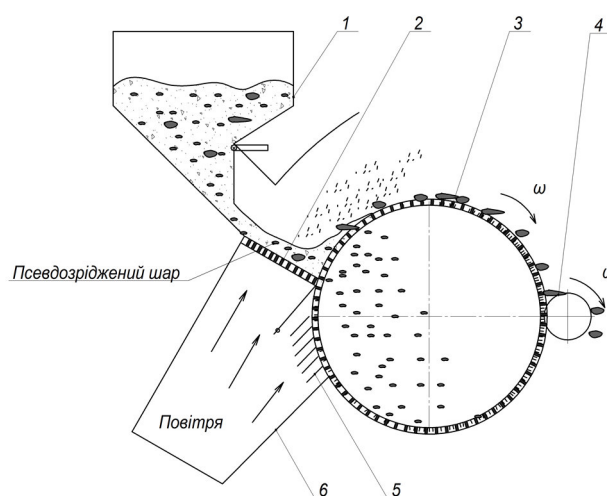


Рис. 1. Схема технологічна повітророзподільного пристрою лабораторно-виробничого стенду: 1 – бункер; 2 – лоток-інтенсифікатор; 3 – циліндричне решето; 4 – очисна щітка; 5 – блок керованих жалюзі; 6 – повітророзподільник

При псевдозрідженні зернової суміші проходять процеси сегрегації та сепарації. На них здійснюють вплив: фізико-механічні властивості матеріалу; сипучість; вологість; коефіцієнти внутрішнього та зовнішнього тертя часток; співвідношення кількості легких, малих та великих домішок; різниця компонентів по формі, стану поверхні, щільності, аеродинамічним властивостям [6].

Сегрегація полягає в накопиченні частинок певного розміру і щільності в різних по висоті зонах шару. Причому всі компоненти зернової суміші залишаються в псевдозрідженому стані. Сегрегація може служити основою процесу сепарації в псевдозрідженому шарі, хоча сепарація може мати і інші механізми [7].

При сепарації в повітряному потоці поведінку важких складових вороху визначають в основному масовими силами. На поведінку легких частинок, що виділяються з вороху, вирішальний вплив здійснює аеродинамічна сила [8].

При проходженні повітряного потоку через шар зернового матеріалу його гідравлічний опір збільшується із збільшенням швидкості повітря, одночасно збільшується і аеродинамічна сила повітряного потоку F . При певній швидкості повітряного потоку аеродинамічна сила F зрівноважить зведену силу тяжіння частини ($G - A$), тобто [9]:

$$F = G - A, \quad (1)$$

де G – вага твердих частинок зернистого матеріалу, H ;

A – Архімедова сила, H .

При цьому втрата тиску при переході зернового матеріалу у псевдозріджений шар буде дорівнювати [9]:

$$\Delta P = G/S, \quad (2)$$

де S – площа поперечного перерізу псевдозрідженого шару, m^2 .

Тобто втрата тиску ΔP дорівнює сумарній вазі шару, віднесений до площі поперечного перерізу S , незалежно від величини швидкості повітря. Ця властивість ілюструється графіком (рис. 2).

При зрідженні матеріалу, між часточками якого є зчеплення, спостерігається раптове збільшення перепаду тиску ΔP^* (крива 3, рис. 2). Для сипких матеріалів його величина не перевищує 1,5-5,0%. В апаратах, переріз яких збільшується по висоті, величина ΔP^* може в 2-3 рази перевищувати втрату тиску ΔP в стані псевдозрідження. При цьому можливе утворення фонтануючого шару [10].

При швидкості повітряного потоку більше швидкості початку псевдозрідження ΔP має практично постійне значення, що пояснюється збільшенням порозності шару, меншим числом контактів частинок один з одним, перемішуванням по всім напрямкам [11].

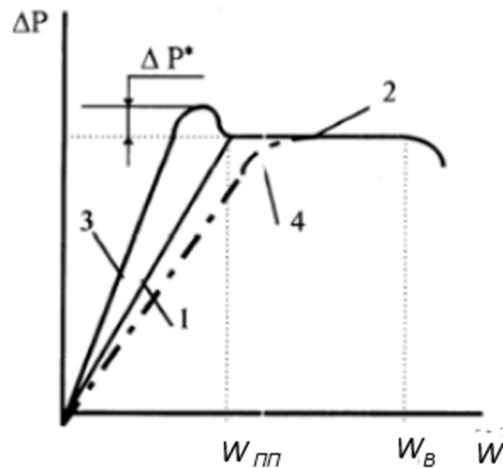


Рис. 2. Криві псевдозрідження зернистого матеріалу: 1 – крива фільтрації повітря крізь стаціонарний шар гладких сухих кульок; 2 – псевдозріджений стан; 3 – перехід у псевдозріджений стан шару з часточками між якими існує зчеплення; 4 – перехід у псевдозріджений стан полідисперсного матеріалу.

З урахуванням Архімедових сил перепад втрати тиску:

$$\Delta P^* = gH_0(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{п}})(1 - \varepsilon_0), \quad (3)$$

де ε_0 – порозність шару;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

H_0 – висота нерухомого шару часток, м;

$\rho_{\text{п}}$ – щільність зріджуючого агента, кг/м³;

$\rho_{\text{ч}}$ – щільність твердих часток, кг/м³.

Для зваженого шару твердих часток порозність визначається наступним виразом [12]:

$$\varepsilon_0 = \frac{V_{\text{ш}} - V_{\text{ч}}}{V_{\text{ш}}}, \quad (4)$$

де $V_{\text{ш}}$ і $V_{\text{ч}}$ – об'єм зваженого шару і об'єм, зайнятий безпосередньо твердими частками, відповідно.

З кретиреальної залежності [13]:

$$\varepsilon_0 = \left[\left(\frac{18Re + 0.36Re^2}{Ar} \right) \right]^n, \quad (5)$$

де $n = 0,21$ – при однорідному псевдозрідженні;

$n = 0,1 \dots 0,2$ – при неоднорідному псевдозрідженні;

Re – критерій Рейнольдса;

Ar – критерій Архімеда.

$$Ar = \frac{gd^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}, \quad (6)$$

де d – еквівалентний діаметр несферичної частки, м;

ν – кінематична вязкість повітря, м²/с.

Еквівалентий діаметр несферичної частки розраховується з формули [12]:

$$d = d_{\text{ш}} \cdot \varphi, \quad (7)$$

де $d_{\text{ш}}$ – діаметр умовного шару, м,
 φ – фактор форми.

$$d_{\text{ш}} = \sqrt[3]{\frac{6V_{\text{ч}}}{\pi}}, \quad (8)$$

$$\varphi = \frac{\pi \cdot d_{\text{ш}}^2}{f}, \quad (9)$$

де f – коефіцієнт несферичності.

В апаратах змінного по висоті перерізу швидкість псевдозрідження досягається в різних перерізах неодноразомно. Під швидкістю псевдозрідження розуміють таку її величину, при якій зріджуються часточки в усіх перерізах апарату.

Швидкість початку псевдозрідження $W_{\text{пп}}$ розраховується за формулою [13]:

$$W_{\text{пп}} = \sqrt{\frac{2 \cdot d \cdot \rho_{\text{п}} \cdot \varepsilon_0^3 \cdot g}{f \cdot \lambda \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot (1 - \varepsilon_0)}}, \quad (10)$$

де λ – коефіцієнт тертя.

Також можливо розрахувати $W_{\text{пп}}$ через критерій Рейнольдса:

$$W_{\text{пп}} = \frac{Re \cdot \nu}{d} \quad (11)$$

$$Re_{\text{пп}} = \frac{Ar}{1400 + 5.22 \sqrt{Ar}} \quad (12)$$

Межі існування псевдозрідженого шару є обмеженими швидкістю початку псевдозрідження і швидкістю винесення часток. Коли відбувається зростання швидкості газу, псевдозріджений шар зернового матеріалу поступово розширюється, його висота збільшується і втрати тиску при цьому залишаються практично постійними.

Критерій Рейнольдса для визначення швидкості виносу частинок розраховується так [13]:

$$Re_{\text{в}} = \frac{Ar}{18 + 0.61 \sqrt{Ar}} \quad (13)$$

Відношення робочої (фіктивної) швидкості газу $W_{\text{ф}}$ до критичної швидкості псевдозрідження $W_{\text{пз}}$ називають числом псевдозрідження [14]:

$$K = \frac{W_{\text{ф}}}{W_{\text{пз}}} \quad (14)$$

Дійсна робоча швидкість потоку газу W_D у вільному перерізі між частками псевдозрідженого шару, або швидкість фільтрації, визначається виразом:

$$W_D = \frac{W_\Phi}{\varepsilon_0} \quad (15)$$

На практиці використовується сепарація зернистих матеріалів, заснована на виносі з псевдозрідженого шару часток з більш низькими швидкостями витання. Процес проводиться при робочій швидкості повітря, проміжної між швидкостями витання компонентів.

Висновки.

1. Описано використання способу псевдозрідження зернового вороху у машині попереднього очищення зерна із замкненою повітряною системою, який дозволяє підвищити питому продуктивність до 2-х разів.

2. Визначені параметри процесу псевдозрідження зернового вороху (швидкість початку псевдозрідження $W_{\text{пп}}$, швидкість фільтрації W_D , порозність ε_0 , число псевдозрідження K), які впливають на підвищення продуктивності процесу попереднього очищення зернового вороху.

Література:

1. *Дерев'інко Д. А., Тарасенко О. П., Оробінський В. І.* Вдосконалення пневмосепарування в зерноочисній машині та його вплив на травмування і якість насіння // *Механізація та електрифікація сільського господарства.* 2013. Вип. 97. С. 375-386.

2. *Саитов В. Е., Курбанов Р. Ф., Саитов А. В.* Технические решения по повышению эффективности функционирования пневмосистем зерноочистительных машин // *Современные наукоемкие технологии.* 2015. № 6. С. 36-40.

3. *Скринник І. О.* Обґрунтування параметрів зерносушарки каскадного типу для обробки насіння у киплячому шарі: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.05.11. Кіровоград, 2010. 17 с.

4. *Васильев Д. В.* Повышение эффективности процесса аэродинамического транспортирования зернового вороха за счет управления параметрами воздушного потока: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Санкт-Петербург, 2014. 156 с.

5. *Михайлов Е. В.* Методы и средства интенсификации процесса предварительной очистки зерна: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Ленинград - Пушкин, 1983. 213 с.

6. Пневморешітний сепаратор із замкненою повітряною системою: пат. 116021 Україна: МПК В07В 4/02 (2006.01), В07В 1/28 (2006.01). № u201609901; Заявл. 26.09.2016; Опубл. 10.05.2017. Бюл. № 9.

7. Расслоение в псевдоожигеном слое. URL: <https://repetitora.com/rassloenie-v-psevdoozhizhenom-sloe> (дата звернення: 19.07.2019).

8. *Нелюбов А. И., Ветров Е. Ф.* Пневмосепарирующие системы сельскохозяйственных машин. Москва: Машиностроение, 1977. 192 с.

9. Расчеты аппаратов кипящего слоя: справочник / А. П. Баскалов и др. Ленинград: Химия, 1986. 352 с.

10. *Ковенский Г. И.* Управляемое псевдоожигение. Минск: АНК ИТМО НАНБ, 1999. 144 с.

11. Техника и технологии псевдоожигения: гидродинамика и теплообмен с погруженными телами: монография / С. И. Дворецкий и др. Тамбов, 2005. 168 с.

12. *Бедарев С. В.* Применение технологии кипящего слоя в энергетике: магистерская диссертация. Барнаул, 2017.

13. *Тодес О. М., Цитович О. Б.* Аппараты с кипящим зернистым слоем: Гидравлические и тепловые основы. Ленинград: Химия, 1981. 296 с.

14. *Корнієнко Я. М., Сачок Р. В.* Процеси переносу в дисперсних системах: навч. посібник. Київ, 2011. 132 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА

Михайлов Е. В., Задосная Н. А., Афанасьев О. О.

Аннотация – большинство машин для очистки зернового материала от примесей в производственных условиях имеют невысокую эффективность технологического процесса.

Это обстоятельство обуславливает поиск, разработку и использование технических решений, направленных на совершенствование конструкций и основных рабочих органов данных машин с целью повышения эффективности их работы.

Доказано, что псевдоожигения зернового вороха повышает производительность цилиндрического решета с внешней рабочей поверхностью. Поэтому применение псевдоожигения для интенсификации предварительной очистки зерна является актуальной темой.

В статье описано использование способа псевдоожигения зернового вороха в машине предварительной очистки зерна с замкнутой воздушной системой, который позволяет повысить удельную производительность до 2-х раз.

Определены параметры процесса псевдоожигения зернового вороха (скорость начала псевдоожигения, скорость

филтрации, порозность, число псевдооживения, которые влияют на повышение производительности процесса предварительной очистки зернового вороха).

THEORETICAL ANALYSIS OF THE PROCESS FLUIDIZATION OF THE GRAIN MIXTURE

E. Mikhailov, N. Zadosnaya, O. Afanasiev

Summary

Most machines for cleaning grain material from impurities in a production environment have a low efficiency of the process.

This circumstance determines the search, development and use of technical solutions aimed at improving the designs and main working bodies of these machines in order to increase the efficiency of their work.

It has been proven that fluidization of a heap of grain improves the performance of a cylindrical sieve with an outer working surface. Therefore, the use of fluidization for the intensification of pre-cleaning of grain is a hot topic.

The article describes the use of the method of fluidization of grain heap in a grain pre-cleaning machine with a closed air system, which allows to increase the specific productivity up to 2 times.

The article discusses the analysis of the effective forces during the passage of air flow through a layer of grain material. The pseudo-discharge curves of the grain material are given, namely, the curve of air filtrations through the stationary layer of smooth balls, the fluidized state curve, the fluidized state transition of the layer, as well as the fluidized state transition of the polydisperse material.

The parameters of the process of fluidization of the grain heap (the speed of the onset of fluidization, filtration rate, porosity, number of fluidization, which affect the performance of the process of preliminary cleaning of the grain heap) are determined.

The theoretical analysis made it possible to formulate the following conclusions: the use of the method of fluidization of grain heap in the machine of preliminary cleaning of grain with the closed air system which allows to increase specific productivity up to 2 times is described; the parameters of the grain heap fluidization process (the rate of onset of the fluidization W_{min} , the filtration rate W_{f} , the porosity ε_0 , the number of fluidization K) that influence the productivity of the pre-cleaning process of the grain heap are determined.