

Харченко С. А.

Борщ Ю. П.

Харьковский
национальный
технический
университет сельского
хозяйства
им. Петра Василенко

Kharchenko S. A.

Borshch Y. P.

Kharkiv Petro Vasylenko
National Technical
University of Agriculture

УДК 631.362:53

К МОДЕЛИРОВАНИЮ ДИНАМИКИ РАССЛОЕННОЙ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ В ВЕРТИКАЛЬНОМ КАНАЛЕ ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЗЕРНОВЫХ СЕПАРАТОРОВ

В статье рассмотрено предварительное моделирование динамики частиц зерновой смеси в вертикальных каналах пневмосепарирующих устройств с учетом их предварительного расслоения.

Ключевые слова: зерновая смесь, псевдооживленная смесь, расслоение, воздушный поток.

Постановка проблемы. В результате исследований предложен способ повышения эффективности пневмосепарирования [1], который заключается в предварительном расслоении зерновых смесей (ЗС) при помощи воздухопроницаемой чешуйчатой поверхности. Обоснование параметров процесса очистки ЗС на разработанном пневмосепарирующем устройстве принято разбить на этапы. Первый этап исследований заключался в моделировании динамики частиц ЗС по скатной чешуйчатой поверхности [1, 2]. Далее с учетом полученных зависимостей проведено моделирование процесса расслоения ЗС по скатной чешуйчатой поверхности с учетом действия воздушного потока [3, 4]. В результате получены закономерности перераспределения частиц примеси в слое ЗС – расслоение при различных конструктивно-технологических параметрах разработанного пневмосепарирующего устройства и свойств ЗС.

Используя данные закономерности, как исходные данные, есть возможность повысить эффективность вертикальных каналов пневмосепарирующих устройств проведя соответствующие исследования.

Цель работы: повышение эффективности процесса очистки ЗС в вертикальных каналах пневмосепарирующих устройств за счет их предварительного расслоения.

Основной материал. В пневмосепарирующем канале на частицы действуют сила тяжести, противоположно направленная сила от взаимодействия частицы с воздушным потоком. В зависимости от соотношения этих сил частица может двигаться как вниз, так и вверх. Таким образом происходит разделение частиц – более легкие частицы примеси выносятся вверх, более тяжелые – падают вниз [5]. Воздушный поток в пневмосепарирующем канале, как правило, в той или иной степени неравномерный. Зерновая смесь поступает в канал с некоторой скоростью под углом и примеси, прежде чем отделиться от зерна должны перейти в верхний слой ЗС.

На наклонной скатывающей поверхности типа “чешуйчатое” решето под действие продуваемого воздушного потока ЗС переходит в псевдооживленное состояние. При этом примеси частично смещаются в верхние подслои зернового потока. Сепарация такой расслоенной зерновой смеси значительно более эффективна. Однако существующие методики расчета процессов, происходящих в пневмосепарирующих каналах, предполагают равномерное перемешивание зерновой смеси с примесями при поступлении в канал.

Обычно при рассмотрении процессов в пневмосепарирующем канале ограничиваются рассмотрением траекторий движения отдельных частиц, пренебрегая их



взаимодействием [5]. Хотя, силы, обусловленные столкновениями частиц между собой, играют весьма существенную роль.

Уравнения движения частицы ЗС, поступающей в вертикальный канал, под действием силы тяжести и силы ее взаимодействия с воздушным потоком имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dx^2} = 0 \\ \frac{d^2y}{dx^2} = -g + \frac{F}{m} \end{cases} \quad (1)$$

где m – масса частицы, g – ускорение свободного падения, F – направленная вертикально вверх сила, действующая на частицу со стороны воздушного потока.

Направим ось OX горизонтально, а ось OY – вертикально и поместим начало системы координат в точку входа скатной поверхности в пневмосепарирующий канал (рис. 1).

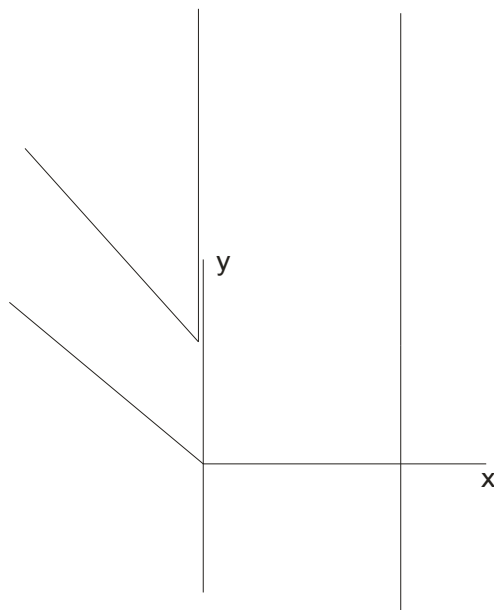


Рис. 1. Схема вертикального канала разработанного пневмосепарирующего устройства

Тогда решение системы (1) имеет вид:

$$\begin{cases} x = u_0 \cos \theta \cdot t \\ y = \left(-g + \frac{F}{m}\right) \frac{t^2}{2} - u_0 \sin \theta \cdot t \end{cases} \quad (2)$$

где u_0 – скорость, с которой частица поступает в вертикальный канал, θ – угол ее входа.

Выразим время из первого уравнения системы (2), подставим во второе и получим

траекторию движения одиночной частицы в пневмосепарирующем канале

$$y = \frac{1}{2} \left(-g + \frac{F}{m}\right) \left(\frac{x}{u_0 \cos \theta}\right)^2 - tg \theta \cdot x + y_0, \quad (3)$$

где y_0 – расстояние частицы от скатной поверхности в начальный момент времени. Это уравнение параболы [5] (рис. 2).

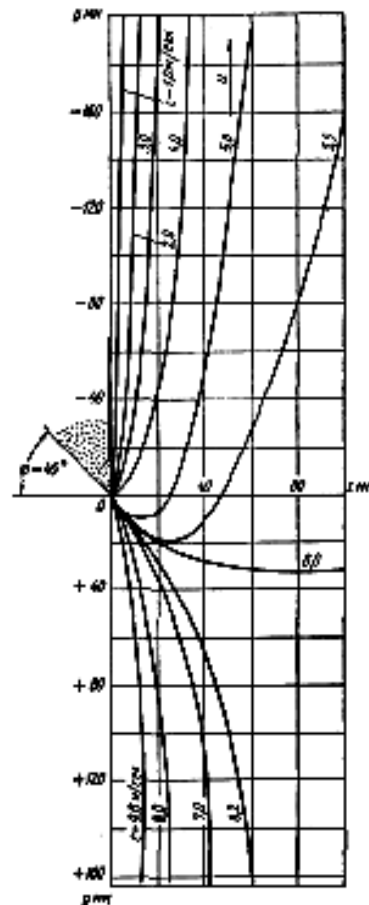


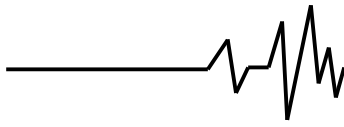
Рис. 2. Траектории движения частиц ЗС в вертикальном канале

Вначале все частицы движутся вниз, затем частицы примеси, скорости витания которых меньше скорости воздушного потока, изменяют направление движения и начинают

двигаться вверх. Для таких частиц $\frac{F}{m} > g$.

Остальные частицы, более тяжелые, движутся вниз. Для этих частиц, очевидно, $\frac{F}{m} < g$.

Однако нужно учесть, что в вертикальный канал поступают не отдельные частицы, а поток зерновой смеси. В таком потоке частицы примеси при своем движении вверх будут сталкиваться с движущимися вниз частицами



зерна. Это затруднит процесс сепарации, так как только после выхода частицы примеси из зернового потока она начинает двигаться ускоренно вверх под действием струй воздушного потока. До выхода частицы примеси из зернового потока существенную роль играют силы ее взаимодействия с другими частицами потока.

Как известно, при малых скоростях движения частиц сопротивление среды обусловлено практически только силами трения. По мере увеличения скорости в сопротивлении начинают преобладать силы давления, вязкость среды играет все меньшую роль. Главной в этой ситуации становится ее плотность и скорость, тогда [6]:

$$F = \zeta \frac{d^2 \rho_z U^2}{2}, \quad (4)$$

где ζ – некоторый эмпирический коэффициент (при достаточно высоких скоростях $\zeta \approx 0,4 \div 0,5$ [7]), ρ_z – плотность воздуха, скорость U соответствует скорости воздушного потока в вертикальном канале, а d – эквивалентный диаметр частицы.

Так как взаимодействие частиц зернового слоя друг с другом в пневмосепарирующем канале приводит к выравниванию скоростей движения, то можно полагать, что в основном частицы качественного зерна имеют близкие скорости движения. Тогда уравнение верхней границы зернового потока, которое вытекает из (3) при $y_0 = H$ с учетом усреднения скорости имеет вид:

$$y = \frac{1}{2} \frac{-g + \zeta \frac{3\rho_z U^2}{\pi \rho d}}{(\tilde{u} \cos \theta)^2} x^2 - tg\theta \cdot x + H, \quad (5)$$

где $\tilde{u} = \frac{1}{H} \int_0^H u(y) dy \approx \sqrt{\frac{\rho g H \sin \theta}{\mu_x}} \left[\beta + \frac{2}{5} H \right]$ – средняя по сечению скорость движения зернового слоя [2]; d , ρ – эквивалентный диаметр и плотность частиц зернового слоя.

Пока частица примеси находится внутри зернового потока, на ее движение существенно сказывается взаимодействие с другими (качественными) частицами зернового потока, которые движутся вниз и увлекают ее. Взаимодействие частицы примеси с частицами зернового слоя в пневмосепарирующем канале будет приводить к выравниванию горизонтальных скоростей движения частиц. Из-за малого времени релаксации вертикальная скорость частиц примеси относительно потока близка к постоянной.

Поэтому траектория движения частицы примеси в пределах зернового потока определяется формулой, следующей из (1):

$$y = \frac{1}{2} \frac{-g + \zeta \frac{3\rho_z U^2}{\pi \rho d}}{(\tilde{u} \cos \theta)^2} x^2 + \left(\frac{W}{\tilde{u} \cos \theta} - tg\theta \right) \cdot x + y_0, \quad (6)$$

где y_0 – расстояние частицы примеси от скатной поверхности в момент входа в вертикальный канал; W – относительная скорость движения частицы примеси вверх. Эта скорость определяется из равновесия действующих на частицу примеси сил. Основными из них являются сила сопротивления движению, сила от воздействия на частицу примеси воздушного потока, которые определяются по формуле (4), и гравитационная сила.

Таким образом:

$$W = \sqrt{\frac{\rho_z U^2 - \frac{\pi}{3\zeta} d_p \rho_p g}{\rho_0 (1 - \varepsilon)}}, \quad (7)$$

где d_p , ρ_p – диаметр и плотность частицы примеси, соответственно; r_0 – насыпная плотность зерна; ε – порозность слоя в момент входа в пневмосепарирующий канал [3].

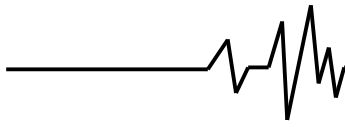
Выводы

В результате исследований получено выражение для определения траекторий движения частиц примеси в пределах зернового потока. В нем учтено положение частиц примеси в слое зерновой смеси на входе в канал и их начальная скорость, свойства смеси (размеры и плотность частиц примеси), скорость воздушного потока и конструктивные параметры канала.

Полученное математическое выражение позволит исследовать динамику частиц примеси в вертикальном канале и в последующем повысить эффективность пневмосепарирующих устройств зерновых сепараторов.

Список использованных источников

1. Тищенко Л.Н. Способ повышения эффективности пневмосепарирования зерновых смесей в пневмосепарирующих устройствах / Л.Н. Тищенко, С.А. Харченко,



Ю.П. Борщ, М.М. Абдуев // Вісник ХНТУСГ: Механізація сільськогосподарського виробництва. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – Вип. 148. – С. 150–159.

2. Харченко С.А. Моделирование динамики псевдооживленной зерновой смеси по наклонной чешуйчатой поверхности пневмосепарирующих устройств / Харченко С.А., Борщ Ю.П. // Вестник БГАТУ: МНПК «Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК», 2014. – С. 79–86.

3. Харченко С.А. К моделированию процесса расслоения псевдооживленной зерновой смеси на воздухопроницаемой скатной плоскости типа “чешуйчатое” решето / Харченко С.А., Борщ Ю.П. // MOTROL «Motorization and power industry in agriculture». – Poland: Lublin, 2014.

4. Харченко С.А. Математическая модель расслоения псевдооживленной зерновой смеси на воздухопроницаемой скатной плоскости типа “чешуйчатое” решето / Харченко С.А., Борщ Ю.П. // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2014. – Вип. 14. Т. 2. – С. 86–91.

5. Малис А.Я., Демидов А.Р. Машины для очистки зерна воздушным потоком. – М. : Гос. изд-во машиностроительной лит-ры, 1962. – 174 с.

6. Разумов И.М. Псевдооживление и пневмотранспорт сыпучих материалов. – М. : Химия, 1972. – 122 с.

7. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. – М. : Наука, 1981. – 175 с.

Список источников в транслитерации

1. Tishchenko L.N. Sposob povysheniya effektivnosti pnevmoseparirovaniya zernovoykh smesey v pnevmosepariruyushchikh ustroystvakh / L.N. Tishchenko, S.A. Kharchenko, Y.P. Borshch, M.M. Abduev // Vestnik KHNTUSG: Mekhanizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva. – Khar'kov: KHNTUSKH, 2014. – Vyp. 148. – S. 150–159.

2. Kharchenko S.A. Modelirovaniye dinamiki psevdoozhivlennoy zernovoy smesi po naklonnoy cheshuychatoy poverkhnosti pnevmosepariruyushchikh ustroystv / Kharchenko S.A., Borshch Y.P. // Vestnik komkat: MNPК «Sovremennyye problemy osvoyeniya novoy tekhniki, tekhnologii, organizatsii tekhnicheskogo servisa v АПК», 2014. – S. 79–86.

3. Kharchenko S.A. K modelirovaniyu protsessa rassloyeniya psevdoozhivlennoy zernovoy smesi na vozdukhopronitsayemoy skatnoy ploskosti tipa "cheshuychatoye" resheto / Kharchenko S.A., Borshch Y.P. // MOTROL «Motorization and power industry in agriculture». – Poland: Lublin, 2014.

4. Kharchenko S.A. Matematicheskaya model' rassloyeniya psevdoozhivlennoy zernovoy smesi na vozdukhopronitsayemoy skatnoy ploskosti tipa "cheshuychatoye" resheto / Kharchenko S.A., Borshch YU.P. // Trudy TDATU. – Melitopol, 2014. – Vyp. 14. T. 2. – S. 86–91.

5. Malis A.YA., Demidov A.R. Mashiny dlya ochistki zerna vozдушnym potokom. – М. : Gos. izd-vo mashinostroitel'noy lit-ry, 1962. – 174 s.

6. Razumov I.M. Psevdoozhivleniya i pnevmotransport syuchikh materialov. – М. : Khimiya, 1972. – 122 s.

7. Mednikov Ye.P. Turbulentnyy perenos i osazhdeniya aerозoley. – М. : Nauka, 1981. – 175 s.

ДО МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ РОЗШАРОВАНОЇ ЗЕРНОВОЇ СУМІШІ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ КАНАЛІ ПНЕВМОСЕПАРАТУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ЗЕРНОВИХ СЕПАРАТОРІВ

Анотація. В статті розглянуто попереднє моделювання динаміки частинок зернової суміші у вертикальних каналах пневмосепаруючих пристроїв з урахуванням їх попереднього розшарування.

Ключові слова: зернова суміш, псевдозріджена суміш, розшарування, повітряний потік.

BY MODELING THE DYNAMICS OF STRATIFIED CEREAL MIXTURE IN A VERTICAL CHANNEL DEVICES PNEVMOSEPARIRUYUSCHIH GRAIN SEPARATORS

Annotation. In the article the previous design of dynamics of particles of grain mixture is considered in the vertical channels of air separating built on taking into account their previous stratification.

Key words: grain mixture, fluidized mixture, bundle, air flow.