

Впровадження інноваційних технологій та обладнання

The introduction of innovative technologies and equipmen

УДК 631.362:532

О ДВИЖЕНИИ ПО ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНОМУ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМУ РЕШЕТУ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ С ВЯЗКО-СУХИМ ТРЕНИЕМ

Тищенко Л.Н., д.т.н., проф., академик НААНУ, Ольшанский В.П., д.ф.-м.н., проф.,
Ольшанский С.В., к.ф.-м.н.

(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенка)

Мырадов Д.М., д.с.-х.н.

(Туркменский сельскохозяйственный университет им. С.А. Ниязова)

Рассмотрено установившееся движение по вертикальному цилиндрическому решету слоя виброожигенных зерновых смесей с учетом совместного действия сил внутреннего вязкого и сухого трения. Выведены формулы для расчета скорости потока смесей и объемной производительности виброцентробежного решета. Получено решение обратной задачи движения для идентификации значений реологических констант по данным измерений параметров потока.

Ключевые слова: зерновые смеси, виброцентробежное сепарирование, скорость движения, цилиндрическое решето, вязко-сухое трение, идентификация реологических постоянных.

Вступление. В гидродинамических математических моделях движения слоя сепарируемых смесей по цилиндрическим виброрешетам предполагалось, что в условиях вибраций смеси приобретают свойства вязких жидкостей и полностью лишаются внутреннего сухого трения, которое они имели в состоянии покоя [1-5]. Но не всегда, при воздействии механических колебаний в сыпучих средах, может полностью исчезнуть внутреннее сухое трение. Исходя из этого предположения, здесь предлагается при движении зерновых смесей, наряду с приобретенным вязким трением, учитывать и остаточное сухое трение, чем достигается обобщение чисто гидродинамических моделей движения псевдоожигенной сыпучей среды.

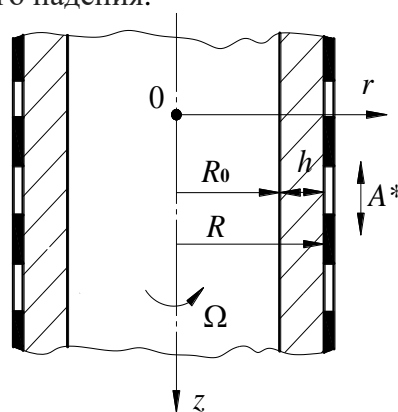
Целью работы является вывод и апробация расчетами формул для вычисления скорости установившегося движения смесей, объемной производительности решета и определения констант в реологической зависимости касательных напряжений от параметров потока.

Построение решения уравнения движения. Рассматривая установившееся вертикальное движение слоя зерновой смеси толщиной h по внутренней поверхности цилиндрического решета радиуса R , которое совершает вертикальные колебания и

вращается вокруг вертикальной оси с угловой скоростью Ω , что показано на рисунке, асимметричное распределение касательных напряжений в смеси τ описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{d}{dr}(r\tau) = -\rho g r. \quad (1)$$

Здесь r – радиальная координата; ρ – удельная масса смеси; g – ускорение свободного падения.



Расчетная схема вертикального цилиндрического решета с сепарируемой смесью

Проинтегрировав уравнение (1) по граничному условию, получаем:

$$\tau(r) = \frac{\rho g}{2} \left(\frac{R_0^2}{r} - r \right). \quad (2)$$

Здесь $R_0 = R - h$ – радиус свободной цилиндрической поверхности смеси.

Реологическую зависимость для касательных напряжений принимаем в виде:

$$\tau(r) = \mu \frac{du}{dr} + f \cdot p \cdot \text{sign} \left(\frac{du}{dr} \right), \quad (3)$$

где μ – коэффициент вязкости; $u(r)$ – вертикальная скорость потока смеси; f – коэффициент остаточного сухого трения; p – внутреннее избыточное давление в смеси.

Принимая во внимание, что [5]:

$$p = \frac{1}{2} \rho \Omega^2 (r^2 - R_0^2),$$

и выражения (2) и (3), получаем дифференциальное уравнение движения:

$$\frac{du}{dr} = \frac{\rho}{2\mu} \left[g \left(\frac{R_0^2}{r} - r \right) + f \Omega^2 (r^2 - R_0^2) \right],$$

в котором $\frac{du}{dr} \leq 0$.

Его интегрируем при граничном условии $u(R) = 0$, что дает следующее распределение скорости потока:

$$u(r) = \frac{\rho}{4\mu} \left\{ g \left(R^2 - r^2 + R_0^2 \ln \frac{r^2}{R^2} \right) + 2f \Omega^2 \left[R_0^2 (R - r) - \frac{R^3 - r^3}{3} \right] \right\} \quad (4)$$

При $f = 0$ это решение совпадает с изложенным в [5]. Максимальная скорость потока имеет место на свободной внутренней поверхности смеси и в соответствии с (4) составляет:

$$\max u = u(R_0) = \frac{\rho R^2}{2\mu} \left\{ g \left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha^2}{2} + \alpha^2 \ln \alpha \right) + 2f \Omega^2 \left[\alpha^2 (1 - \alpha) - \frac{1 - \alpha^3}{3} \right] \right\} \quad (5)$$

$$\text{Здесь } \alpha = \frac{R_0}{R} = \frac{R - h}{R}.$$

Используя решение (4), интегрированием получаем формулу объемной производительности решета:

$$Q = 2\pi \int_{R_0}^R r u(r) dr = \frac{\pi \rho R^4}{2\mu} \left[g \left(\frac{1}{4} - \alpha^2 + \frac{3\alpha^4}{4} - \alpha^4 \ln \alpha \right) + 2f R \Omega^2 \left(\frac{\alpha^2}{3} - \frac{\alpha^4}{2} + \frac{4\alpha^5}{15} - \frac{1}{10} \right) \right]. \quad (6)$$

При $f = 0$ она совпадает с изложенным в [5].

Чтобы рассчитать скорость потока и объемную производительность решета нужно знать реологические постоянные μ и f . Информацию о них можно получить путем идентификации. Поэтому остановимся на этом вопросе.

1. Рассмотрим способ идентификации,

который основывается на измерении максимальной скорости потока при различных толщинах подвижного слоя смеси. Пусть при $h = h_1$ $\max u = u_1$, а при $h = h_2$ $\max u = u_2$. Тогда, используя формулу (5), составляем систему двух линейных уравнений с двумя неизвестными:

$$u_1 \mu - A_1 f = B_1; \quad u_2 \mu - A_2 f = B_2. \quad (7)$$

В этой системе:

$$A_j = \frac{\rho \Omega^2 R^3}{2} \left[\alpha_j^2 (1 - \alpha_j) - \frac{1 - \alpha_j^3}{3} \right];$$

$$B_j = \frac{\rho g R^2}{2} \left[\frac{1}{2} - \frac{\alpha_j^2}{2} + \alpha_j^2 \ln \alpha_j \right]; \quad \alpha_j = \frac{R - h_j}{R};$$

$$j = \overline{1; 2}.$$

Решив (7), получаем формулы для вычисления реологических постоянных:

$$\mu = \frac{A_1 B_2 - A_2 B_1}{A_1 u_2 - A_2 u_1}; \quad f = \frac{u_1 B_2 - u_2 B_1}{A_1 u_2 - A_2 u_1}. \quad (8)$$

2. Идентификацию можно также проводить по результатам измерения объемной производительности решета при различных толщинах подвижного слоя смеси. Если при $h = h_1$ $Q = Q_1$, а при $h = h_2$ $Q = Q_2$, то в соответствии с (6):

$$Q_1 \mu - c_1 f = D_1; \quad Q_2 \mu - c_2 f = D_2. \quad (9)$$

$$\text{Здесь } c_j = \pi \rho \Omega^2 R^5 \left(\frac{\alpha_j^2}{3} - \frac{\alpha_j^4}{2} + \frac{4\alpha_j^5}{15} - \frac{1}{10} \right);$$

$$D_j = \frac{\pi \rho g R^4}{2} \left[\frac{1}{4} - \alpha_j^2 + \frac{3\alpha_j^4}{4} - \alpha_j^4 \ln \alpha_j \right]; \quad j = \overline{1; 2}.$$

Система (9) имеет решение:

$$\mu = \frac{c_1 D_2 - c_2 D_1}{c_1 Q_2 - c_2 Q_1}; \quad f = \frac{Q_1 D_2 - Q_2 D_1}{c_1 Q_2 - c_2 Q_1}, \quad (10)$$

которое дает возможность вычислять реологические постоянные.

С целью проверки достоверности полученных расчетных формул проведен расчет $\max u$ и Q при $\rho = 750$ кг/м³; $R = 0,3075$ м; $\Omega = 11,77$ с⁻¹ и разных μ и f . Полученные для двух значений h результаты записаны в табл. 1-4.

Из таблиц следует, что увеличение постоянных μ и f сопровождается уменьшением $\max u$ и Q . Вследствие действия сил остаточного внутреннего сухого трения может существенно уменьшаться скорость движения смеси и производительность решета.

Таблица 1

max u при h = 0,01 м

μ , Па·с	$f = 0$	$f = 0,05$	$f = 0,10$	$f = 0,15$
	Значения $10 \max u$, м/с			
0,6	6,06	4,76	3,46	2,16
0,7	5,20	4,08	2,97	1,85
0,8	4,55	3,57	2,59	1,62
0,9	4,04	3,17	2,31	1,44

Таблица 2

max u при h = 0,014 м

μ , Па·с	$f = 0$	$f = 0,05$	$f = 0,10$	$f = 0,15$
	Значения $10 \max u$, м/с			
0,8	8,87	6,98	5,08	3,18
0,9	7,89	6,20	4,52	2,83
1,0	7,10	5,58	4,06	2,55
1,1	6,45	5,07	3,69	2,31

Таблица 3

Производительности решета при h = 0,01 м

μ , Па·с	$f = 0$	$f = 0,05$	$f = 0,10$	$f = 0,15$
	Значения $10^3 Q$, м ³ /с			
0,6	7,64	6,00	4,35	2,71
0,7	6,55	5,14	3,73	2,32
0,8	5,73	4,50	3,26	2,03
0,9	5,10	4,00	2,90	1,80

Таблица 4

Производительности решета при h = 0,014 м

μ , Па·с	$f = 0$	$f = 0,05$	$f = 0,10$	$f = 0,15$
	Значения $10^3 Q$, м ³ /с			
0,8	15,52	12,19	8,86	5,53
0,9	13,79	10,83	7,87	4,91
1,0	12,41	9,75	7,09	4,42
1,1	11,29	8,86	6,44	4,02

Используя полученные выше решения обратной задачи, найдем значения реологических постоянных при известных параметрах потока. Для проведения расчетов принимаем: $\rho = 750$ кг/м³; $\Omega = 11,77$ с⁻¹; $R = 0,3075$ м.

Задавая $u_1 = 0,23$ м/с при $h = 0,01$ м и $u_2 = 0,45$ м/с при $h = 0,014$ м, по формулам (8) получаем: $\mu \approx 0,9805$ Па·с; $f \approx 0,0885$.

Если при $h = h_1 = 0,01$ м $Q = Q_1 = 18 \cdot 10^{-4}$ м³/с, а при $h = h_2 = 0,014$ м $Q = Q_2 = 49 \cdot 10^{-4}$ м³/с, то расчеты по формулам (10) дают: $\mu \approx 0,9604$ Па·с; $f \approx 0,1446$.

В достаточно высокой точности реализации решения обратной задачи несложно убедить подстановкой полученных значений реологических постоянных соответственно в формулы (5), (6).

Наряду с рассмотренным, возможен также другой способ определения μ и f . Теоретические формулы для вычисления μ выводили в [1, 5, 6]. Так, согласно с [6], значение μ подается выражением:

$$\mu = \mu_T = \frac{\lambda}{12\omega r_0 \sqrt{(A^*)^2 - \delta^2 \lambda^2}}, \quad (11)$$

в котором $\delta = \frac{2}{\pi m \omega^2}$;

$$\lambda = 0,35\rho\eta R_0 (h + 2r_0)(\pi\Omega r_0)^2;$$

m – масса одного зернышка, условно шарообразной формы с радиусом r_0 ; A^* , ω – соответственно амплитуда и частота вертикальных колебаний решета; η – коэффициент внутреннего сухого трения в смеси в состоянии покоя.

После измерения скорости $u(R_0)$ и расчета μ_T по формуле (11), легко найти f , ибо в соответствии с (5):

$$f = \frac{2\mu_T u(R_0) - g \left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha^2}{2} + \alpha^2 \ln \alpha \right)}{R\Omega^2 \left[\alpha^2(1-\alpha) - \frac{1}{3}(1-\alpha^3) \right]}. \quad (12)$$

Если вместо $u(R_0)$ измерять Q , то:

$$f = \frac{2\mu_T Q - g \left(\frac{1}{4} - \alpha^2 + \frac{3}{4}\alpha^4 - \alpha^4 \ln \alpha \right)}{2R\Omega^2 \left(\frac{1}{3}\alpha^2 - \frac{1}{2}\alpha^4 + \frac{4}{15}\alpha^5 - \frac{1}{10} \right)}. \quad (13)$$

Отметим, что формулы (12), (13) утрачивают силу при положительных числителях в их правых частях. В этом случае следует предположить, то есть считать отсутствующим остаточное сухое трение.

Выясним, какими будут μ и f для зерновой смеси пшеницы, если: $r_0 = 0,001825$ м; $m = 0,00004$ кг; $\eta = 0,52$;

$R = 0,3075$ м; $h = 0,01$ м; $A^* = 0,008$ м; $\omega = 75,9$ с⁻¹; $\Omega = 11,77$ с⁻¹; $u(R_0) = 0,3$ м/с. Вычислив μ_T по формуле (11), имеем: $\mu = \mu_T = 0,3874$ Па·с. Дальнейшая подстановка указанных чисел в (12) дает: $f = 0,1585$. Полученное значение коэффициента остаточного сухого трения в несколько раз меньше, чем коэффициент внутреннего сухого трения в состоянии покоя.

Выводы:

1. Предложенная модель движения обобщает известные линейные гидродинамические модели потока зерновых смесей по поверхностям виброцентробежных цилиндрических решет.

2. Полученные расчетные формулы дают возможность теоретически вычислить скорость движения сепарируемых смесей и объемную производительность решета.

3. Показано, что для определения реологических констант можно проводить их идентификацию по результатам экспериментальных измерений кинематических параметров потока смеси. Таким образом, улучшается адекватность теоретической модели с двумя постоянными реологическими, одну из которых можно также вычислять теоретически.

Литература

1. Тищенко Л.Н. Интенсификация сепарирования зерна / Л.Н.Тищенко. – Харьков : Основа, 2004. – 224 с.
2. Тищенко Л.Н. Гидродинамика сепарирования зерна / Л.Н.Тищенко, В.П.Ольшанский, С.В.Ольшанский. – Харьков: Мискдрук, 2010. – 174 с.
3. Тищенко Л.Н. Виброрешётная сепарация зерновых смесей / Л.Н.Тищенко, В.П.Ольшанский, С.В.Ольшанский. – Харьков: Мискдрук, 2011. – 280 с.
4. Тищенко Л.Н. Колебания зерновых потоков на виброрешетах / Л.Н.Тищенко, В.П.Ольшанский,

С.В.Ольшанский. – Харьков: Мискдрук, 2012. – 267 с.
5. Тищенко Л.Н. Динамика виброцентробежной зерноочистки /Л.Н.Тищенко, В.П.Ольшанский, С.В.Ольшанский. – Харьков: Мискдрук, 2013. – 440 с.
6. Тищенко Л.Н. Сравнение двух способов определения коэффициента вибровязкости псевдооживленной зерновой смеси при виброцентробежном сепарировании / Л.Н.Тищенко, Ф.М.Абдуева, В.П.Ольшанский // Вибрации в технике и технологиях. – 2008. - № 1 (50). – С. 96-100.

References

1. Tishchenko L.N. Yntensyfikatsyya sepyarovanyya grain [The intensification of separation of grain] / L.N.Tyschenko. - Kharkov: Basis, 2004. - 224 p.
2. Tishchenko L.N.. Hydrodynamics separation grain [Fluid dynamics sepyarovanyya grain] / L.N.Tyschenko, V.P.Olshanskyu, S.V.Olshanskyu. - Kharkiv: Miskdruk, 2010. - 174 p.
3. Tishchenko L.N. Vybroreshëttnaya separatsyya grain mixture [Vibroreshëttnaya separation of grain mixes] / L.N.Tyschenko, V.P.Olshanskyu, S.V.Olshanskyu. - Kharkiv: Miskdruk, 2011. - 280 p.
4. Tishchenko L.N. Fluctuations in grain flows on vibroreshetah [Fluctuations in grain flows vybroreshetah] / L.N.Tyschenko,

S.V.Olshanskyu, S.V.Olshanskyu. - Kharkiv: Miskdruk, 2012. - 267 p.
5. Tishchenko L.N. Dynamics vybrotsentrobeznoy zernoochystky [Dynamics vibrocentrifugal] /L.N.Tyschenko, V.P.Olshanskyu, S.V.Olshanskyu. - Kharkiv: Miskdruk, 2013. - 440 p.
6. Tishchenko L.N. Comparison of two methods of determining the ratio of fluidized vibrov'yazkosti grain mixture at vibrocentrifugal separation [Comparison of two definitions sposobov Factor vibrov'yazkosti psevdoozhivennoy zernovoy mixture at vybrotsentrobeznom sepyarovanyu] / L.N.Tyschenko, F.M.Abdueva, V.P.Olshanskyu // vibration in Technics and technologies. - 2008. - № 1 (50). - P. 96-100.

Аннотация

О ДВИЖЕНИИ ПО ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНОМУ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМУ РЕШЕТУ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ С ВЯЗКО-СУХИМ ТРЕНИЕМ

Тищенко Л.Н., Ольшанский В.П., Ольшанский С.В., Мурадов Д.М.

Рассмотрено установившееся движение по вертикальному цилиндрическому решету слоя виброоживленных зерновых смесей с учетом совместного действия сил внутреннего вязкого и сухого трения. Выведены формулы для вычисления скорости потока смеси и объемной производительности виброцентробежного решета. Получено

решение обратной задачи движения для идентификации значений реологических констант по данным изменений параметров потока.

Ключевые слова: зерновые смеси, виброцентробежное сепарирование, скорость движения, цилиндрическое решето, вязко-сухое трение, идентификация реологических постоянных.

Abstract

ABOUT THE MOTION ON A VIBROCENTRIFUGAL CYLINDRICAL SIEVE A GRAIN MIXTURES WITH A VISCOUS-DRY FRICTION

L.Tishchenko, V.Olshansky, S.Olshansky, D. Myradov

The steady motion on the vertical cylindrical sieve of the layer of the vibro-liquefied grain mixtures taking into account a joint action of the forces of internal viscous and dry friction is considered. The formulas for calculating the flow velocity of the mixture and the efficiency volume vibrocentrifugal sieve are determined. The solution of the inverse problem of the motion for identification of the values of the rheological constants according to data on changes of the flow parameters is obtained.

Keywords: grain mixtures, vibrocentral separation, velocity, cylindrical sieve, viscous-dry friction, identification of the rheological constants.



УДК 631.362.36; 621.928.9

ДИНАМІКА ДВОФАЗНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПОВІТРОПРОНИКНІЙ ПОВЕРХНІ ПНЕВМОСЕПАРУЮЧОГО ПРИСТРОЮ

Тіщенко Л.М. акад., д.т.н., проф., **Сліпченко М.В.**, к.т.н., доц.

(Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка)

У статті отримано математичну модель динаміки двофазного середовища: зернова суміш – повітряний потік. Дана модель дозволяє дослідити псевдокипляче двофазне середовище та встановити зміну об'ємної щільності зернової суміші по товщині шару в залежності від конструктивно-технологічних параметрів пневмосепаруючого пристрою вібровідцентрового сепаратору.

Ключові слова – зернова суміш, повітряний потік, пневмосепаруючий пристрій, об'ємна щільність зерна, динаміка двофазного середовища.

Актуальність теми. Подальше підвищення якості роботи вібровідцентрових зернових сепараторів потребує збільшити ефективність очистки серійного пневмосепаруючого пристрою (ПСП) [1]. З цією метою для вібровідцентрових зернових сепараторів виробництва ВАТ «Вібросепаратор» (м. Житомир) створено новий ПСП [2, 3]. В ньому легкі домішки, що не були вилучені в основній кільцевій зоні очистки [4], можуть вилучатись у додаткових зонах (рис.1). При проходженні зернової суміші (ЗС) по каскадах ПСП вона продувається повітряним потоком (ПП). При проходженні ПП скрізь шар ЗС виникає «псевдозріджений» чи «псевдокиплячий» стан зернового шару [5].

Аналіз останніх публікацій. Вивченню псевдозрідженого стану сипких середовищ присвячена велика кількість робіт. В них досліджено фізика процесів, побудовані фізичні та математичні моделі явища [6-8]. Однак дослідів щодо вилучення легких

домішок з шару ЗС, що продувається ПП, визначення закономірностей динаміки процесу не існує.

Метою роботи є отримання математичної моделі динаміки двофазного потоку: ЗС – ПП при русі на повітропроникній поверхні ПСП. Математична модель дає змогу отримати залежності для розрахунку зміни об'ємної щільності ЗС по товщині шару в залежності від конструктивно-технологічних параметрів ПСП.

Основна частина роботи. Вилучення ЗС від легких домішок в пневмосепаруючому пристрої вібровідцентрових зернових сепараторів відбувається у основній та додатковій зонах очистки (рис. 1) [1, 4, 9]. Легкі домішки, що не були вилучені в основній зоні очистки потрапляють на збірний скатний конус. У першому наближенні його можна розглядувати у якості повітропроникної поверхні. Спочатку розглянемо очистку ЗС від легких домішок у псевдокиплячому шарі.