

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПСЕВДОВЯЗКОСТИ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ, ДВИЖУЩЕЙСЯ НА ПЛОСКОМ ВИБРОРЕШЕТЕ

Тищенко Л.Н., д.т.н., проф., Ольшанский В.П., д.т.н., проф.,
Карнадуд Р.В., асп.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко*

Ольшанский С.В., к.т.н.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»*

Предложен метод определения характеристик псевдовязкости линейно-неоднородной зерновой смеси по результатам измерений параметров потока зернового слоя на плоском наклонном виброрешете.

Постановка проблемы. В математических гидродинамических моделях потоков зерновой смеси на виброрешетах используют характеристики псевдовязкости смеси. От них существенно зависят расчётные значения скорости зернового слоя и производительности (пропускной способности) решета. Поэтому надлежащая идентификация этих характеристик улучшает адекватность математических моделей зерновых потоков и относится к актуальным научно-прикладным задачам.

Анализ имеющихся публикаций. К первым работам, в которых определяли эффективную вибровязкость зерновой смеси на плоском решете, относятся [1,2]. В них расчётно-экспериментальными методами находили значения коэффициента динамической вибровязкости, меняя толщину движущегося зернового слоя, влажность смеси и другие механико-технологические параметры. Развитие эти работы получили в [3,4]. Попытки чисто теоретического вычисления динамического коэффициента вибровязкости предприняли авторы публикаций [5,6], где получены формулы для расчёта этого коэффициента, и установлена его зависимость от размеров и масс движущихся частиц, коэффициента внутреннего сухого трения в зерновой среде, угла наклона решета к горизонту, параметров его вибраций и пр. Там же показано, что теоретическое значение коэффициента вибровязкости меняется по толщине зернового слоя, оно увеличивается по мере перемещения от свободной поверхности слоя в сторону поверхности решета. В отличие от упомянутых публикаций, ниже предлагается другой метод определения характеристик вибровязкости, в предположении, что идентифицируемый коэффициент (множитель) не является постоянным, а линейно меняется по толщине слоя (по декартовой координате y). В основу предлагаемого метода идентификации положено экспериментальное определение (измерение) двух параметров установившегося зернового потока.

Целью работы является разработка метода расчётно-экспериментального определения характеристик вибровязкости зерновой смеси, движущейся на плоском наклонном виброрешете с помощью измерений двух параметров её потока и решения обратной задачи гидродинамики для вязкой ньютоновской жидкости.

Основная часть работы. Предполагаем, что кинематическая вибровязкость зерновой смеси ν является линейной функцией декартовой координаты y , перпендикулярной направлению потока, т.е.

$$\nu(y) = \nu_0 + ay. \quad (1)$$

В (1) $\nu_0 = \nu(0)$ – вибровязкость смеси на свободной поверхности движущегося слоя; a – коэффициент пропорциональности, характеризующий увеличение ν с удалением от свободной поверхности вглубь смеси.

Согласно (1) наибольшее значение кинематическая вибровязкость имеет у поверхности решета и оно равно $\nu_1 = \nu_0 + ah$, где h – толщина слоя.

Дальнейшая задача заключается в определении входящих в (1) двух неизвестных параметров: ν_0 и a .

Для её решения можно, аналогично [7,8], измерять градиент скорости и касательные напряжения внутри слоя зерновой смеси. Такой способ идентификации требует проведения сложных экспериментов с применением специальных датчиков и скоростной видеосъёмки движения окрашенных (меченых) зёрен.

В данной работе предлагается проводить вычисление a по теоретическим формулам, а определение ν_0 – с помощью более простых экспериментов, не связанных с внутрислоевыми измерениями скорости и касательных напряжений. Упрощение экспериментов становится возможным благодаря использованию решения обратной задачи гидродинамики.

Для построения такого решения воспользуемся известным выражением скорости движения частиц на свободной поверхности зернового слоя [9]:

$$u_* = \frac{g \sin \theta}{a^2} \left[ah - \nu_0 \ln \left(1 + \frac{ah}{\nu_0} \right) \right]. \quad (2)$$

В (2) g – ускорение свободного падения; θ – угол наклона плоского решета к горизонту, который нужно замерять перед проведением идентификации.

Как и в работах [5,6], значение параметра a находим по формуле:

$$a = \frac{b}{6\omega r_0 \sqrt{(2A^*)^2 - (\rho b c h)^2}}, \quad (3)$$

в которой $b = 0,7f(\pi r_0)^2 g \cos \theta$; $c = \pi(4M\omega^2)^{-1}$; A^* – амплитуда продольных вибраций решета с круговой частотой ω ; f – коэффициент сухого трения в зерновой смеси плотности ρ ; r_0, M – эффективный радиус и масса частиц, образующих смесь.

Для идентификации значения ν_0 приходится экспериментально измерять два параметра: h и u_* в установившемся режиме движения смеси.

Определение ν_0 сводится к нахождению положительного корня уравнения (2). Введя обозначение $x = ah\nu_0^{-1}$, выражение (2) сводим к виду:

$$\lambda x - \ln(1+x) = 0, \quad (4)$$

где $\lambda = 1 - \frac{u_*}{\gamma}$; $\gamma = \frac{gh \sin \theta}{a}$.

Корень трансцендентного уравнения (4) несложно находить численно на компьютере. Но уравнение (4) имеет и аналитическое решение, которое выражается через специальную функцию Ламберта $W(x)$. Для построения его, заменим (4) на:

$$\ln[\lambda(1+x)] - \lambda(1+x) = \xi = \ln \lambda - \lambda. \quad (5)$$

Ненулевым решением (5) является:

$$x = -\frac{1}{\lambda} W(-e^\xi) - 1. \quad (6)$$

Значение функции Ламберта отрицательного аргумента можно находить по таблице, опубликованной в [10, стр.181] (табл.1).

Таблица 1 – Значения функции Ламберта отрицательного аргумента: $F(\xi) = -10^4 W(\xi)$;

$-10^3 \xi$	$F(\xi)$	$-10^3 \xi$	$F(\xi)$	$-10^3 \xi$	$F(\xi)$	$-10^3 \xi$	$F(\xi)$
10 ³ /e	10000	345	14024	225	23432	105	35092
367,5	10461	340	14512	220	23821	100	35772
367	10708	335	14973	215	24215	95	36481
366	11047	330	15413	210	24614	90	37223
365	11307	325	15837	205	25017	85	38001
364	11528	320	16248	200	25426	80	38821
363	11724	315	16650	195	25842	75	39687
362	11904	310	17044	190	26263	70	40606
361	12071	305	17431	185	26692	65	41585
360	12228	300	17813	180	27128	60	42635
359	12376	295	18191	175	27572	55	43767
358	12518	290	18566	170	28025	50	44998
357	12654	285	18939	165	28487	45	46347
356	12785	280	19310	160	28959	40	47842
355	12912	275	19680	155	29442	35	49522
354	13035	270	20050	150	29936	30	51445
353	13155	265	20419	145	30443	25	53696
352	13272	260	20789	140	30963	20	56423
351	13386	255	21160	135	31498	15	59898
350	13497	250	21533	130	32049	10	64728
349	13606	245	21907	125	32617	5	72840
348	13713	240	22284	120	33203	0	0
347	13819	235	22663	115	33810		
346	13922	230	23046	110	34439		

При тех параметрах движения, когда $\lambda > \ln 2$ или $x < 1$, трансцендентное уравнение (4) можно также приближённо заменить квадратным уравнением с близким значением корня. Так, используя аппроксимацию:

$$y = x - \ln(1+x) \approx \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{3\left(1 + \frac{3}{4}x\right)}, \quad (7)$$

получаем:

$$x^2 + 2\left(6 - 9\frac{u_*}{\gamma}\right)x - 24\frac{u_*}{\gamma} = 0.$$

Тогда, при малых x :

$$x = \sqrt{\left(9\frac{u_*}{\gamma} - 6\right)^2 + 24\frac{u_*}{\gamma}} + \left(9\frac{u_*}{\gamma} - 6\right). \quad (8)$$

Информация о погрешностях аппроксимации представлена в табл. 2, где в числители записаны округлённые до 0,0001 точные значения y , а в знаменатели - вычисленные по (7).

Таблица 2 – Значения $y = x - \ln(1+x)$

x	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
y	$\frac{0}{0}$	$\frac{0,0177}{0,0177}$	$\frac{0,0635}{0,0636}$	$\frac{0,1299}{0,1303}$	$\frac{0,2122}{0,2133}$	$\frac{0,3069}{0,3095}$

Используя полученные формулы, рассмотрим примеры проведения идентификации. В качестве исходных данных принимаем: $A^* = 0,0075$ м; $\omega = 41,86$ с⁻¹; $f = 0,55$; $\theta = 6^\circ$; $r_0 = 0,001825$ м; $M = 0,00004$ кг (зерновая смесь пшеницы). Пусть измерениями установлены скорости движения зерновой смеси при различной высоте слоя. По исходным данным, используя формулу (3), находим параметр a . Далее получаем γ , λ , ξ , $\exp(\xi)$. По табл.1, используя линейную интерполяцию, получаем $W(-e^\xi)$. Далее по формуле (6) определяем x , с помощью которого рассчитываем вибровязкость: $v = ahx^{-1}$.

Выясним, как изменятся результаты идентификации, когда измерять скорость u_* с небольшим отклонением. Проводя аналогичные расчёты, при скоростях зерновой смеси $u_* = 0,18 \dots 0,22$ м/с получаем зависимости вибровязкости смеси от ее скорости. Анализом зависимостей установлено, что незначительное изменение скорости смеси, в диапазоне 0,18...0,22 м/с, приводит к значительным изменениям вибровязкости V (рис.).

Проверим пригодность к проведению расчётов формулы (8), когда $\lambda > \ln 2$. Пусть скорость зерновой смеси $u_* = 0,1 \dots 0,2$ м/с, при высоте слоя $h = 0,012$ м. Определение параметра x проводили по формулам (6) и (8) (табл.3).

Погрешность формулы (8) составила меньше 2%.

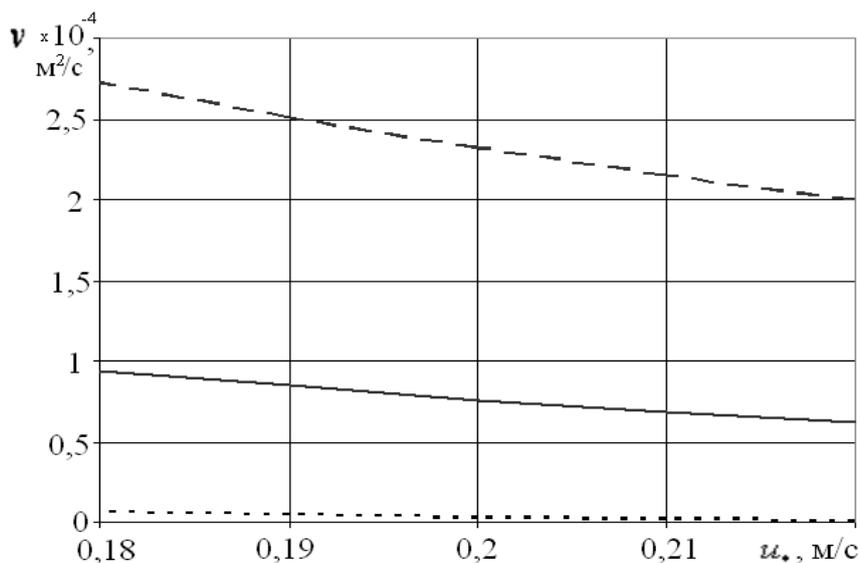


Рис. – Зависимости вибровязкости зернового слоя от его скорости, при: - - - - $h=0,012$ м; ——— $h=0,008$ м; $h=0,004$ м ($A^*=0,0075$ м; $\omega=41,86$ с⁻¹; $f=0,55$; $\theta=6^\circ$; $r_0=0,001825$ м; $M=0,00004$ кг)

Таблица 3

Скорость зерновой смеси, u^* , м/с	Параметр x	
	(по ф.(6))	(по ф.(8))
0,1	0,356519	0,361441
0,15	0,609362	0,609213
0,2	0,928994	0,919359

Выводы

Использование решения обратной задачи гидродинамики при расчётно-экспериментальном определении феноменологических параметров модели зернового потока упрощает постановку эксперимента, однако требует точных измерений, поскольку ошибка измерений сильно влияет на результаты идентификации.

Список использованных источников

1. Захаров Н.М. О движении слоя зерна и силах внутреннего трения при вибрационном перемещении / Н.М. Захаров // Вестник сельскохозяйственной науки. - Л.: Колос, 1968. – № 5. – С.70-75.
2. Косилов О.Н. Исследование вибровязких свойств сыпучих сельскохозяйственных материалов / О.Н. Косилов. Автореферат диссертации кандидата технических наук: РИСХМ. – Ростов на Дону, 1966. – 20 с.
3. Злочевский В.Л. Моделирование движения зернового материала на сепараторах со сложным движением рабочих органов / В.Л. Злочевский,

- А.В. Баранов, С.В. Тарасевич // Материалы XII Международной научно-практической конференции “Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири” – Томск: ТГУ, 2005. – С. 139 – 141.
4. Тарасевич С.В. Обоснование параметров сепаратора с вибрационно-качающейся решётной поверхностью для зерновых материалов / С.В. Тарасевич Автореферат диссертации кандидата технических наук: 05.20.01 / Алт ГТУ. – Барнаул, 2006. – 27 с.
 5. Тищенко Л.Н. Гидродинамика сепарирования зерна / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский – Харків: “Міськдрук”, 2010. – 174 с.
 6. Тищенко Л.Н. Виброрешётная сепарация зерновых смесей / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский – Харьков: “Міськдрук”, 2011. – 280 с.
 7. Тищенко Л.Н. Исследование закономерностей вибровязкости зерновых смесей при сепарировании цилиндрическими виброцентробежными решётами / Л.Н. Тищенко, М.В. Пивень, С.А. Харченко, В.В. Бредихин // Вісник ХНТУСГ: Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв.– Харків: ХНТУСГ, 2009. – Вип. 88. – С. 34-44.
 8. Тищенко Л.Н. Моделирование процессов зерновых сепараторов / Л.Н. Тищенко, Д.И. Мазоренко, М.В. Пивень и др. – Харків: “Міськдрук”, 2010. – 360 с.
 9. Тищенко Л.Н. Колебания зерновых потоков на виброрешётах / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский. – Харьков: “Міськдрук”, 2012. – 267 с.
 10. Кучеренко С.І. Балістика крапель, які випаровується при польоті / С.І. Кучеренко, В.П. Ольшанський, С.В. Ольшанський, Л.М. Тіщенко. – Харків: ХНТУСГ, 2007. – 304 с.

Анотація

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПСЕВДОВ'ЯЗКОСТІ ЗЕРНОВОЇ СУМІШІ, ЩО РУХАЄТЬСЯ НА ПЛОСКОМУ ВІБРОРЕШЕТІ

Тищенко Л., Ольшанський В., Карнадуд Р., Ольшанський С.

Запропоновано метод визначення характеристик псевдов'язкості лінійно-неоднорідної зернової суміші за результатами вимірювань параметрів потоку зернового шару на плоскому нахиленому віброрешеті.

Abstract

IDENTIFICATION CHARACTERISTICS PSEVDVYAZKOSTI GRAIN MIXTURE THAT MOVES ON A FLAT OSCILLATION SIEVE

L. Tischenko, V. Olshansky, R Karnadud, S. Olshansky

The method of determination of a pseudoviscosity linear inhomogeneous grain mixture after the measurements of the flow of grain layer on a flat sloping vibrasieve was proposed.