



Тищенко Л. Н.

Карнадуд Р. В.

Ольшанский В. П.

Харьковский
национальный
технический
университет
сельского хозяйства
им. Петра Василенко

УДК 631.362:53

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВИБРОВЯЗКОСТИ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕШЕТАХ ВИБРОЦЕНТРИФУГ

Описано три способи визначення експериментально-розрахунковим методом значень коефіцієнтів вібров'язкості зернових сумішей при їх русі у вертикальних циліндричних решетах віброцентрифуг. Наведено приклади проведення ідентифікації.

Three ways to determine the experimental values of the coefficient calculated by the method of vibratory viscosity grain mixture as it moves in a vertical cylindrical sieve vibrating centrifuge were described. Examples of identification were given.

Постановка проблемы.

В теоретических исследованиях получила распространение гидродинамическая модель движения слоя зерновых смесей по поверхности виброрешет, где движение смеси описывается уравнениями течения вязкой жидкости. Адекватность такой модели существенно зависит от значения коэффициента эффективной вибровязкости зерновой смеси. Поэтому определение значения этого коэффициента является актуальной задачей, решение которой позволяет повысить точность теоретических моделей зерновых потоков на виброрешетах.

Анализ имеющихся исследований и публикаций. Теоретически коэффициенты эффективной вибровязкости зерновых смесей определяли в [1, 2, 3]. В них установлены зависимости этих коэффициентов от механико-технологических характеристик смеси и параметров вибраций решет. В работах [4, 5] значение коэффициента определяли экспериментально-расчетным методом, измеряя изменение (градиент) скорости по толщине слоя и касательную силу, с которой смесь действует на специальный датчик. При этом было показано, что значение коэффициента меняется по толщине движущегося зернового слоя. Однако, если пренебречь этим изменением и считать коэффициент постоянным по толщине слоя, то его среднее значение можно найти по результатам более простых измерений, не связанных с определением градиента скорости.

Поэтому в дополнение к [4, 5], предлагаются другие способы экспериментально-расчетного определения коэффициентов вибровязкости, основанные на более простых измерениях параметров потока смесей в цилиндрических виброрешетах. К первым работам, в которых определяли коэффициент вибровязкости смеси, движущейся на плоском виброрешете, относятся [6] и [7].

Основная часть работы. Согласно [2] и [8], в установившемся режиме движения, объемная производительность решета Q и максимальная скорость потока в кольцевом слое смеси u_* описываются выражениями:

$$Q = \frac{\pi \rho g}{4\mu} \left[\frac{R^4 + 3R_0^4}{2} + R_0^4 \ln \frac{R^2}{R_0^2} - 2R^2 R_0^2 \right]; \quad (1)$$

$$u_* = \frac{\rho g}{4\mu} \left(R^2 - R_0^4 + R_0^2 \ln \frac{R_0^2}{R^2} \right). \quad (2)$$

В (1), (2) ρ – плотность (натура) зерновой смеси; g – ускорение свободного падения; R – радиус решета; R_0 – внутренний радиус движущегося кольцевого слоя смеси; μ – динамический коэффициент вибровязкости, который подлежит определению.

В предлагаемых способах идентификации считаем заданными R, ρ, g , а неизвестный радиус R_0 – постоянным по высоте решета, т.е. пренебрегаем просеиванием смеси. К экспериментально



измеренным параметрам относим Q, u_* и толщину кольцевого слоя h .

Первый способ определения μ основан на измерениях величин Q и h . Эти измерения можно проводить с помощью скоростной видеосъёмки в специально изготовленном решете с изгибом ступенчатой формы и проёмом [4]. В таком решете измеряли значения скорости смеси в различных точках по толщине слоя и касательное усилие, что значительно сложнее, чем определение Q и h .

Из (1) следует, что

$$\mu = \frac{\rho g R_0^4}{4Q} \left[\frac{3 + (R/R_0)^4}{2} + \ln \frac{R^2}{R_0^2} - 2 \frac{R^2}{R_0^2} \right], \quad (3)$$

причём $R_0 = R - h$. Поэтому замеренных Q и h , в совокупности с заданными параметрами, достаточно, чтобы по (3) вычислить μ .

Для проведения идентификации примем: $R = 0,3075$ м; $\rho = 750$ кг/м³ (зерновая смесь пшеницы); $g = 9,81$ м/с².

Пусть измерениями установлено, что $h = 0,006$ м; $Q = 0,004$ м³/с. Тогда $R_0 = 0,3015$ м и по формуле (3) находим $\mu = 0,251$ Па с.

Выясним, как влияют на результат идентификации ошибки в измерениях Q и h . Допустим ошибку в 10% при измерениях Q , сохранив прежним h . Тогда для $Q = 0,004 \pm 0,0004$ м³/с получим соответственно $\mu = 0,228$ Па с и $\mu = 0,279$ Па с (рис. 1). Если допустить десятипроцентную ошибку в измерениях $h = 0,006 \pm 0,0006$ м, то при $Q = 0,004$ м³/с получим $\mu = 0,333$ Па с и $\mu = 0,183$ Па с.

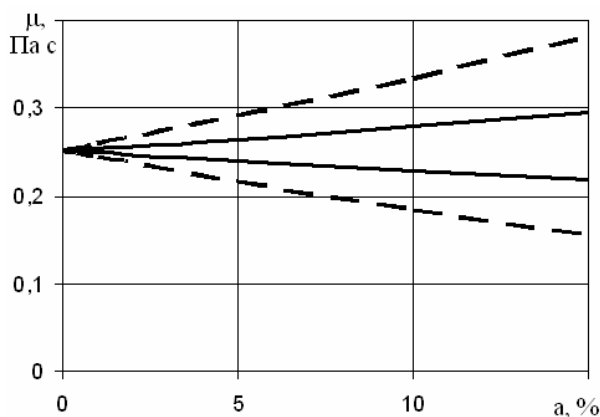


Рис. 1. Зависимости динамического коэффициента вибровязкости от ошибки измерений: ———— - производительности решета; - - - - - высоты слоя

Анализ зависимостей (рис.1) показывает, что при излагаемом способе идентификации ошибка в измерениях толщины движущегося слоя существенно сказывается на результате определения μ , чем ошибка в измерениях производительности решета. Так, при погрешности измерений производительности решета до 15% диапазон варьирования динамического коэффициента вибровязкости составляет 0,218...0,295 Па с ($\Delta = 0,077$ Па с). Это в 2,9 раза меньше, чем при измерениях высоты слоя 3С 0,154...0,38 Па с ($\Delta = 0,225$ Па с).

Второй способ идентификации основан на измерениях величин u_* и h . Из (2) следует, что

$$\mu = \frac{\rho g R_0^2}{4u_*} \left(\frac{R^2}{R_0^2} - 1 - \ln \frac{R^2}{R_0^2} \right). \quad (4)$$

Если известны u_* и h , то $R_0 = R - h$ и по формуле (4) легко вычислить μ .

Остановимся на проведении расчётов при $u_* = 0,5$ м/с; $h = 0,006$ м и прежних R, ρ, g . Для указанных параметров по формуле (4) находим $\mu = 0,263$ Па с.

Ошибка в 10% при измерениях $h = 0,006 \pm 0,0006$ м и $u_* = 0,5$ м/с в этом способе идентификации даёт $\mu = 0,318$ Па с и $\mu = 0,213$ Па с (рис. 2). Такая же ошибка в измерениях $u_* = 0,5 \pm 0,05$ м/с и $h = 0,006$ м приводит к значениям $\mu = 0,239$ Па с и $\mu = 0,292$ Па с.

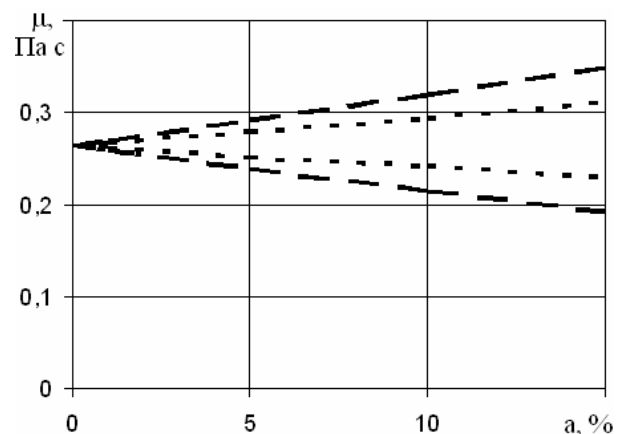
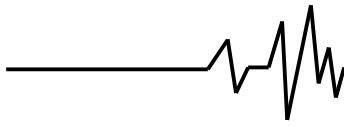


Рис. 2. Зависимости динамического коэффициента вибровязкости от ошибки измерений: - скорости смеси; - - - - - высоты слоя

Как видно из рис.2, и при втором способе идентификации погрешность измерения h более существенно влияет на точность определения μ , чем погрешность в



измерениях u_* . При погрешности измерений скорости смеси до 15% диапазон варьирования динамического коэффициента вибровязкости составляет 0,229...0,309 Па с ($\Delta=0,08$ Па с). Это в 1,9 раз меньше чем при измерениях высоты слоя ЗС 0,19...0,348 Па с ($\Delta=0,157$ Па с).

Третий способ идентификации связан с измерениями Q и u_* . Определение этих величин позволяет найти R_0 , а затем и μ .

Приравнивая правые части выражений (3) и (4), приходим к трансцендентному уравнению:

$$\frac{3+\xi^2}{2} + \ln \xi - 2\xi = \lambda(\xi - 1 - \ln \xi)\xi, \quad (5)$$

в котором $\lambda = \frac{Q}{\pi u_* R^2}$, а $\xi = \frac{R^2}{R_0^2}$ неизвестное.

Уравнение (5) можно решать численно на компьютере. Однако есть возможность получить и приближённое его аналитическое решение.

В производственных условиях работы решета безразмерное неизвестное ξ близко к единице. Поэтому положим:

$$\xi = 1 + \varepsilon, \quad (6)$$

где $\varepsilon \ll 1$.

Подставляя (6) в (5) и заменяя логарифмическую функцию отрезком степенного ряда:

$$\ln x = \ln(1 + \varepsilon) \approx \varepsilon - \frac{1}{2}\varepsilon^2 + \frac{1}{3}\varepsilon^3,$$

получаем квадратное уравнение:

$$\varepsilon^2 + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{2}\right)\varepsilon - \frac{3}{2} = 0.$$

Из него находим:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{3}{2}} - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{2}\right). \quad (7)$$

Второе решение квадратного уравнения, которое лишено физического смысла, опускаем из рассмотрения.

Идентификацию проводим в такой последовательности. По замеренным Q и u_* вычисляем λ . Затем с помощью (7) вычисляем ε и $\xi = (1 + \varepsilon)$. Определение μ проводим по формуле (4), преобразованной к виду:

$$\mu = \frac{\rho g R^2}{4\xi u_*} (\xi - 1 - \ln \xi).$$

Проведём вычисления для случая, когда $Q = 0,004 \text{ м}^3/\text{с}$, $u_* = 0,5 \text{ м/с}$. Находим: $\lambda = 0,0269$; $\varepsilon = 0,0409$; $\xi = 1,0409$; $\mu = 0,272 \text{ Па с}$.

Выясним, как в третьем способе ошибки измерений влияют на результаты

идентификации. Пусть $Q = 0,004 \pm 0,0004 \text{ м}^3/\text{с}$, а $u_* = 0,5 \text{ м/с}$. При таких ошибках измерений: $\mu = 0,327 \text{ Па с}$ и $\mu = 0,221 \text{ Па с}$ (рис.3). Если произошла ошибка в измерениях $u = 0,5 \pm 0,05 \text{ м/с}$, то при $Q = 0,004 \text{ м}^3/\text{с}$ $\mu = 0,205 \text{ Па с}$ и $\mu = 0,371 \text{ Па с}$.

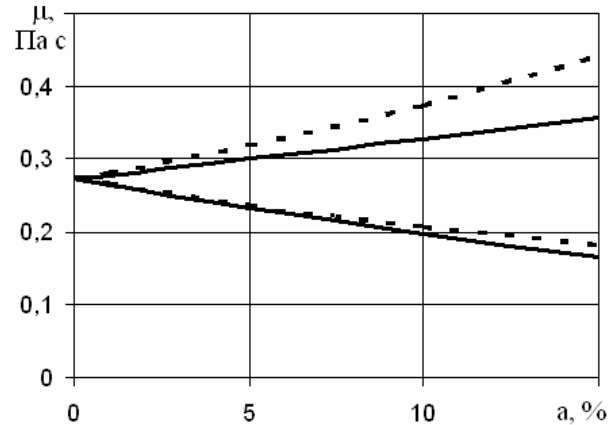


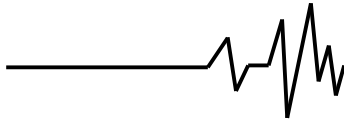
Рис. 3. Зависимости динамического коэффициента вибровязкости от ошибки измерений: - скорости смеси; — - производительности решета

Анализом зависимостей (рис.3) установлено, что при третьем способе идентификации ошибка в измерениях u_* приводит к большему разбросу значений μ , чем ошибка в измерениях Q .

При погрешности измерений производительности решета до 15% диапазон варьирования динамического коэффициента вибровязкости составил 0,165...0,357 Па с ($\Delta=0,192$ Па с). Это в 0,7 раз меньше, чем при измерениях скорости слоя 0,179...0,439 Па с ($\Delta=0,26$ Па с).

При всех трёх способах идентификации для вычисления μ приходится экспериментально определять (замерять) по два параметра потока зерновой смеси, из которых наиболее просто находить Q . Измеренные параметры будут зависеть от характеристик зерновой смеси и параметров движения решета. Поэтому по результатам идентификации можно получить зависимость μ от вида зерновой смеси, толщины движущегося кольцевого слоя, амплитуды и частоты вибраций решета, угловой скорости его вращения и пр.

По изложенной методике можно определять не только значения μ , а и значения:



$$v = \mu / \rho,$$

поскольку их также используют в расчётах.

Выводы. Предложенные способы идентификации коэффициентов вибровязкости зерновых смесей не связаны с громоздкими вычислениями, но требуют точных измерений скорости или толщины движущихся зерновых смесей внутри цилиндрических решет. Для проведения идентификации необходимо экспериментально определять два параметра потока зерновой смеси.

Литература

1. Тищенко Л. Н. Гидродинамические характеристики псевдооживленных сыпучих сред при виброцентробежном сепарировании на зерноперерабатывающих предприятиях / Л. Н. Тищенко // Вісник ХДТУСГ: Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. – Харків: ХДТУСГ, 2001. – Вип. 5. – С. 13-33.

2. Тищенко Л. Н. Интенсификация сепарирования зерна / Л. Н. Тищенко – Харьков: Основа, 2004. – 224 с.

3. Тищенко Л. Н. Сравнение двух способов вычисления 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.

4. Тищенко Л. Н. Исследования закономерностей вибровязкости зерновых смесей при сепарировании цилиндрическими виброцентробежными решётками / 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.

5. Тищенко Л. Н. Моделирование процессов зерновых сепараторов / Л. Н. Тищенко, Д. И. Мазоренко, М. В. Пивень и др. – Харків: "Міськдрук", 2010. – 360 с.

6. Захаров Н. М. Об аналогии вибрируемого слоя с вязкой жидкостью / Н. М. Захаров // Доклады МИИСП. – М., 1966. – Т. 3, Вип. 1. – С. 201-210.

7. Косилов О. Н. Исследование вибровязких свойств сыпучих сельскохозяйственных материалов / О. Н. Косилов. Автореферат диссертации кандидата технических наук: РИСХМ. – Ростов на Дону, 1966. – 20 с.

8. Тищенко Л. Н. Колебания зерновых потоков на виброрешётах / Л. Н. Тищенко, В. П. Ольшанский, С. В. Ольшанский. – Харьков: "Міськдрук", 2012. – 267 с.