

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВИБРОВЯЗКОСТИ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ ПРИ СЕПАРИРОВАНИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНЫМИ РЕШЕТАМИ

Тищенко Л.Н., Пивень М.В., Харченко С.А., Бредихин В.В.
*(Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства имени Петра Василенко)*

В статье предложен экспериментальный метод определения вибровязкости зерновых смесей и установлены ее закономерности при сепарировании цилиндрическими виброцентробежными решетками.

Постановка проблемы. Сообщение вибраций центробежным решеткам значительно увеличило производительность и качество сепарирования зерновых смесей. Воздействие вибраций приводит к преобразованию сил внутреннего трения смеси в вязкое. Зерновая смесь ведет себя подобно жидкости с вязким трением. В итоге происходит расслоение зерновой смеси, состоящей из разнородных частиц, представляющее собой один из основных этапов процесса сепарирования. Следует отметить, что такое воздействие вибраций проявляется при определенных условиях, зависящих как от параметров колебаний, так и от свойств частиц смеси. Таким образом, возникает необходимость разработки метода определения вязкого трения и установления его закономерностей.

Анализ последних исследований. Слой смеси приобретающий текучесть при вибрационном воздействии принято называть виброоживленным, а вязкое трение характеризовать коэффициентом вязкости [1]. Методы определения вязкости виброоживленного слоя изложены в работах [2, 3] и применимы к процессам вибротранспортирования и сепарирования зерновых смесей плоскими вибрационными решетками. Получены зависимости коэффициента вязкости от кинематических параметров, толщины слоя и влажности смеси. Исследования по определению вязкого трения и его закономерностей при сепарировании цилиндрическими виброцентробежными решетками отсутствуют.

Цель статьи – разработать метод определения коэффициента

вязкости виброоживленного слоя зерновой смеси при сепарировании цилиндрическими виброцентробежными решетками и установить его закономерности.

Предлагаемый в работе метод основан на подобию движения виброоживленного слоя смеси с плоскопараллельным движением вязкой жидкости. Тогда по гипотезе Ньютона для вязких напряжений имеем:

$$\tau_{\theta} = \mu \frac{\partial v}{\partial h}, \quad (1)$$

где τ_{θ} – касательное напряжение вязкого трения; h – глубина слоя, отсчитываемая от свободной поверхности; v – скорость зерновой смеси на заданной глубине h , определяемая с помощью видеосъемки.

Отсюда коэффициент вязкости определится:

$$\mu = \frac{\tau_{\theta} \partial h}{\partial v}. \quad (2)$$

Скорости перемещения элементарных слоев смеси определяются с помощью видеосъемки, а касательное напряжение вязкого трения по формуле

$$\tau_{\theta} = \frac{P_{\text{вяз.тр}}}{2S_{\text{дат}}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{вяз.тр}}$ – касательное усилие вязкого трения в слое смеси, измеряемое специальным датчиком;

$S_{\text{датч}}$ – площадь рабочей пластины датчика.

Для проведения внутрислоевых исследований вдоль образующей вертикального цилиндрического решета выполнен изгиб ступенчатой формы (рис.1). В радиальной стенке ступени вырезан прямоугольный проем и вставлено оргстекло с координатной сеткой. На начальном участке радиальной стенки смонтировано устройство ввода в зерновую смесь меченых частиц, а на среднем участке выполнены щели для ввода специального датчика в слой смеси на различную глубину.

Обработку видеосъемки движения зерновой смеси выполняли, прослеживая пути видимых через прозрачную стенку окрашенных частиц зерновой смеси относительно координатной сетки, нанесенной на стенке. Расстояния, проходимые окрашенными частицами, и их скорости становились известными в результате определения координат частиц на кадрах видеосъемки и частоты смены кадров в единицу времени. Окрашивание частиц в разный

цвет дало возможность наблюдать за движением отдельных элементарных слоев.

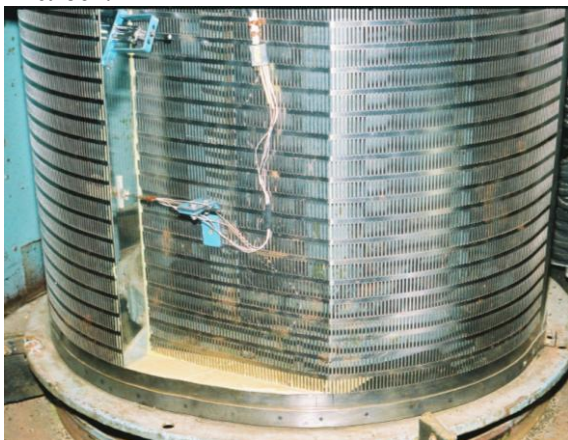


Рис. 1. Цилиндрическое решето для проведения внутрислоевых исследований

Датчик для измерения касательного усилия вязкого трения в слое смеси представлен на рис 2, а. Он представляет собой круглую тонкую пластину, с обеих сторон обклеенную половинками зернышек и жестко закрепленной к консольной балочке, устанавливаемой на решете. Выполнение датчика в форме круглой тонкой пластины позволяет внедрять его между элементарными слоями, и измерять касательное сдвиговое усилие при небольшой толщине слоя смеси. Консольная балочка датчика в поперечном сечении имеет прямоугольную форму и ее размеры определены из условия, чтобы собственная частота колебаний датчика была в 8...10 раз больше частоты колебаний решетного стана во избежание резонанса [4]. Собственная частота колебаний датчика определялась экспериментально.

Датчик вводится в зерновую смесь через радиальную стенку ступенчатого изгиба цилиндрического решета так, чтобы круглая пластина была параллельна поверхности решета. При движении зерновой смеси датчик отклоняется от положения равновесия под действием касательного усилия на его поверхности и соударений зерен в торец. Чтобы определить касательное усилие необходимо вычестть из общего усилия силовое воздействие от соударений зерен в торец датчика. Для этого, вместо круглой пластины, к консольной балочке крепили согнутую в форме полукруга проволоку. Диаметр

этой проволоки равен толщине пластины с наклеенными зернами. Диаметр полукруга равен диаметру круглой пластины (рис. 2, б). Отклонение такого датчика от положения равновесия происходит только за счет соударений зерен в его торец.

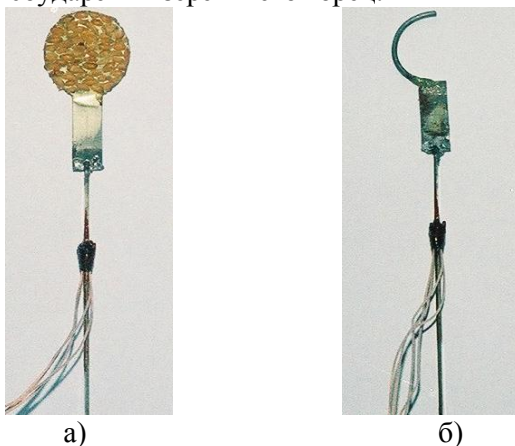


Рис. 2. Датчики, используемые для исследования вибровязкости зерновой смеси а) для определения усилия в смеси; б) для определения усилия соударений зерен в торец датчика

Касательное усилие вязкого трения определяется вычитанием от общего усилия отклонения датчика, усилия вызванного только соударениями зерен в торец:

$$P_{\text{вяз.тр}} = P_{\text{общ}} - P_{\text{соудар}}, \quad (4)$$

где $P_{\text{общ}}$ – общее усилие отклонения датчика, вызванное трением о его поверхность и соударениями зерен в торец; $P_{\text{соудар}}$ – усилие отклонения датчика, вызванное только соударениями зерен в торец.

Усилия отклонений датчика определяли с помощью тензометрирования. Для этого на боковых поверхностях консольной балочки, у ее защемления (в местах наибольших деформаций), наклеены тензорезисторы и включены в мостовую схему. Электрическая схема устройства для измерения усилий отклонений датчика представлена на рис. 3.

При колебаниях датчика происходит деформация консольной балочки, вызывающая деформацию проволоочной решетки тензорезисторов. В результате этого изменяются ее геометрические размеры и сопротивление. К измерительной мостовой схеме подается напряжение U . При изменении сопротивления тензорезистора на выходе мостовой схемы возникают амплитудно-модулированные

колебания, где несущая частота промодулирована частотой измеряемого процесса. Амплитудно-модулированные колебания с выхода моста подаются на вход усилителя. После усиления они поступают на осциллограф. По величине отклонения луча на экране осциллографа определяли усилие отклонения датчика от положения равновесия. Величина касательного усилия в слое определяется по показаниям осциллографа и представляет собой разность усилий отклонения датчика при колебаниях решета под нагрузкой слоем зерновой смеси и без нагрузки (на холостом ходу).

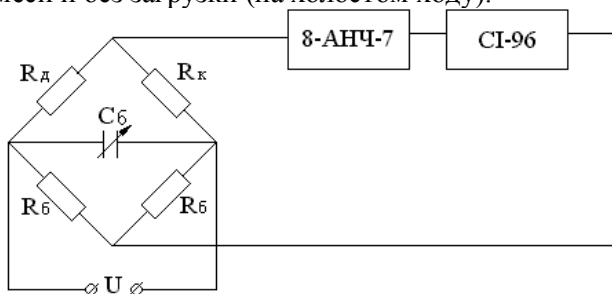


Рис. 3. Электрическая схема устройства для определения усилий отклонений датчика

Тензометрирование касательного усилия в слое зерновой смеси при сепарировании цилиндрическим виброцентробежным решетом представлено на рис. 4. Перед измерениями, в электрическую схему устройства были включены щеточные токосъемные устройства, закрепленные на роторе виброцентробежного сепаратора, и проведена тарировка датчика.

Программой экспериментальных исследований предусмотрено определение зависимостей коэффициента вибровязкости μ от глубины и толщины слоя; физико-механических свойств смеси; конструктивных параметров разрыхлителей смеси.

Разрыхлители смеси выполнены в виде ребер и рифлей и располагаются на поперечных перемычках внутренней поверхности цилиндрических решет (рис.5) для интенсификации сепарирования [5]. При вибрациях разработанных решет разрыхлители сообщают воздействия в зерновую смесь и разрыхляют ее, что ускоряет продвижение проходových частиц из слоя к поверхности решета и, тем самым, повышает эффективность сепарирования. Воздействие разрыхлителей сопровождается увеличением градиента скоростей смеси по глубине слоя, что указывает на изменение вязкости

виброожиженного слоя. Следовательно, возникает необходимость установления зависимости между вязкостью и конструктивными параметрами разрыхлителей.

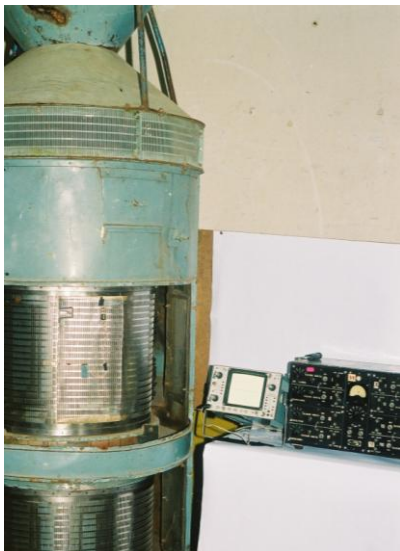


Рис. 4. Тензометрирование сдвигового усилия в слое зерновой смеси при сепарировании цилиндрическим решетом

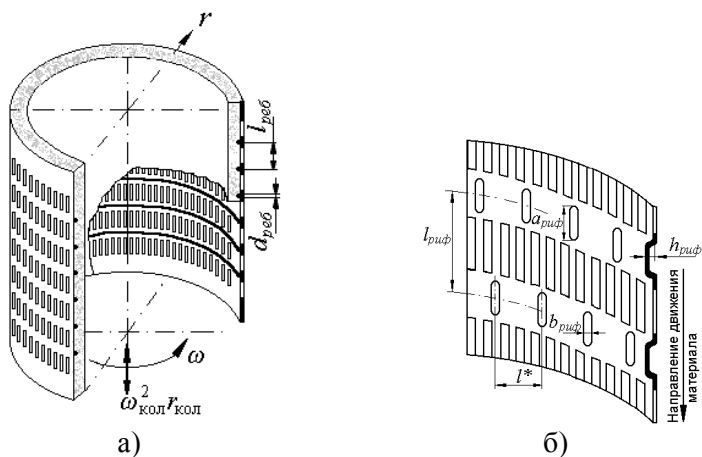


Рис. 5. Схемы разработанных цилиндрических решет с разрыхлителями: а) – ребрами; б) – рифлями

К конструктивным параметрам разрыхлителей относятся: диаметр ребер $d_{реб}$ и высота рифлей $h_{риф}$, расстояние между ребрами $l_{реб}$ и рядами рифлей $l_{риф}$, расстояние между рифлями в ряду l^* , ширина $b_{риф}$ и длина рифля $a_{риф}$. В поперечном сечении рифли имеют форму полукруга, их ширина равна $b_{риф}=1,5...2$ мм, а длина $a_{риф}$ определяется шириной поперечной перемычки и составляет $3...4$ мм. Эти размеры обусловлены технологией изготовления и не варьируются. Кинематические параметры разработанных решет приняты оптимальными, рекомендуемые Е.С. Гончаровым [6]: амплитуда колебаний решета $r_{кол}=0,006$ м, круговая частота колебаний решета $\omega_{кол}=94,2$ рад/с, угловая скорость вращения решета $\omega=11,3$ рад/с, удельная нагрузка изменялась в пределах $q=110...180$ кг/час·дм².

На рис. 6, 7 представлены зависимости вибровязкости μ зерновой смеси озимой пшеницы от конструктивных параметров ребер и рифлей.

Из рисунков видно, что с увеличением диаметра ребер $d_{реб}$, высоты рифлей $h_{риф}$ и уменьшением расстояний между ребрами $l_{реб}$, рифлями l^* и рядами рифлей $l_{риф}$ вибровязкость уменьшается. Значения вибровязкости определяются величиной соотношений $d_{реб}/l_{реб}$ и $h_{риф}/l_{риф}$. С увеличением этих соотношений вибровязкость уменьшается независимо от того, за счет какой составляющей оно получено. Одинаковые значения μ можно получить при меньшем количестве ребер большего диаметра и большем их количестве меньшего диаметра. Уменьшение вибровязкости происходит вследствие разрыхления слоя зерновой смеси, что приводит к разрушению кратковременно установившихся связей между частицами и уменьшению их контактной площади. В результате силы внутреннего трения между частицами уменьшаются и приобретают характер вязкого трения.

На рис. 8 представлены зависимости вибровязкости зерновой смеси озимой пшеницы от глубины и толщины слоя. Глубина слоя определялась безразмерной величиной r^* , равной отношению расстояния, от свободной поверхности слоя до рассматриваемого элементарного слоя, к общей толщине слоя. Свободной поверхности слоя соответствует $r^*=0$, а поверхности решета $r^*=1$.

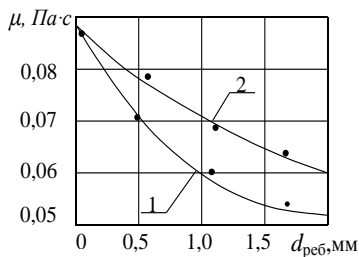


Рис. 6. Зависимости вибровязкости зерновой смеси озимой пшеницы от конструктивных параметров ребер ($q=110$ кг/час·дм²); 1 – $l_{реб}=21$ мм, 2 – $l_{реб}=42$ мм

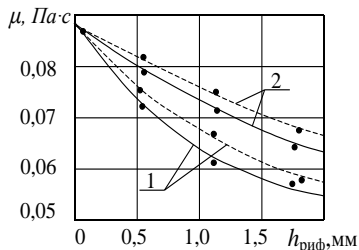


Рис. 7. Зависимости вибровязкости зерновой смеси озимой пшеницы от конструктивных параметров рифлей ($q=110$ кг/час·дм²); 1 – $l_{риф}=21$ мм, 2 – $l_{риф}=42$ мм; - - - - - $l^*=16$ мм, ——— $l^*=12$ мм

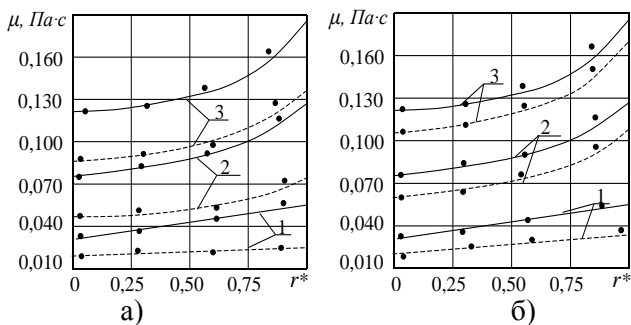


Рис. 8. Зависимости вибровязкости зерновой смеси озимой пшеницы от глубины r^* и толщины слоя h : а) на серийном и разработанном ребренном решете – $d_{реб}=1,5$ мм, $l_{реб}=21$ мм; б) серийном и рифленом – $h_{риф}=1,5$ мм, $l_{риф}=21$ мм, $l^*=12$ мм; 1 – $h=4$ мм, 2 – $h=8$ мм, 3 – $h=12$ мм; ——— – серийное решето, - - - - - – разработанное

Как видно из графиков, вибровязкость зерновой смеси возрастает с глубиной слоя. При толщине слоя $h=4...6$ мм зависимость вибровязкости от глубины $\mu(r^*)$ является линейной. При этом численные значения вибровязкости несущественно отличаются по глубине. С увеличением толщины слоя ($h=10...12$ мм) зависимость вибровязкости от глубины $\mu(r^*)$ становится нелинейной, численные значения существенно различаются с глубиной. Полученные зависимости $\mu(r^*)$ объясняют стекание верхних элементарных слоев смеси, как менее вязких, и появление градиента скорости по глубине слоя.

На рис. 9 представлены зависимости вибровязкости от физико-механических свойств смесей.

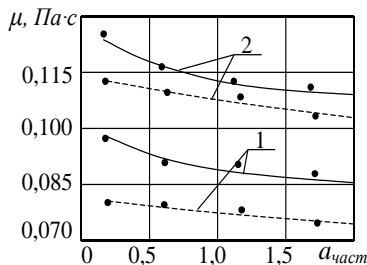


Рис. 9. Зависимости вибровязкости μ от коэффициента внутреннего трения f , размера $a_{\text{част}}$ и формы частиц смеси: 1 – $f=0,5$, 2 – $f=0,7$; ———— – эллипсообразные частицы; - - - - - – шарообразные

Как видно из рисунка, величина вибровязкости зависит от коэффициента внутреннего трения, формы и размеров частиц. Увеличение размера частиц приводит к незначительному уменьшению вибровязкости μ . Для зерновой смеси состоящей из частиц шарообразной формы значения вибровязкости меньше, чем для смеси из эллипсообразных частиц. Существенное влияние на вибровязкость оказывает коэффициент внутреннего трения f . При увеличении f значения μ возрастают, что объясняется уменьшением сыпучести смесей. Таким образом, для разных зерновых культур, вследствие их различных физико-механических свойств, значения вибровязкости будут отличаться.

Выводы

1. Предложен метод определения вибровязкости зерновых смесей при сепарировании цилиндрическими виброцентрированными решетками, основанный на подобию движения виброоживленного слоя

с плоскопараллельным движением вязкой жидкости. Значения вибровязкости определяются по результатам измерений скорости движения зерновой смеси и сдвигового касательного усилия в слое.

2. Вибровязкость зерновой смеси увеличивается линейно с глубиной при малой толщине слоя ($h=4...6$ мм) и не линейно при большей толщине ($h=10...12$ мм). Для разных зерновых культур значения вибровязкости отличаются, вследствие различных их физико-механических свойств. Применение разрыхлителей зерновой смеси способствует уменьшению вибровязкости.

Список литературы

1. Захаров Н.М. Об аналогии вибрируемого слоя зерна с вязкой жидкостью // Доклады МИИСП. – М.: МИИСП, 1966. – Т. III. – Вып. 1. – С. 201 – 210.

2. Косилов О.Н. Исследование вибровязких свойств сыпучих сельскохозяйственных материалов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: РИСХМ. – Ростов-на-Дону, 1966. – 20 с.

3. Захаров Н.М. О движении слоя зерна и силах внутреннего трения при вибрационном перемещении // Вестник сельскохозяйственной науки. – Л.: Колос, 1968. – №5. – С. 70 – 75.

4. Козлов И.А., Баженов В.Г., Матвеев В.В. Исследование прочности деталей машин при помощи тензодатчиков сопротивления. – Киев: Техника, 1967. – 203 с.

5. Циліндричне решето: Д.п. 31700А Україна, МКИ В09В 1/26 / Л.М. Тищенко, М.В. Півень, О.В. Мандрика, Ф.М. Резніченко, В.М. Пуха (Україна). - 98105572; Заявл. 23.10.98; Опубл. 15.12.2000, Бюл. №7-II. - 3 с.

6. Гончаров Е.С. Механико-технологическое обоснование и разработка универсальных виброцентробежных зерновых сепараторов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01/ ВИМ. – М., 1986 – 34 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВІБРОВ'ЯЗКОСТІ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ ПРИ СЕПАРУВАННІ ЦИЛІНДРИЧНИМИ ВІБРОВІДЦЕНТРОВИМИ РЕШЕТАМИ

У статті запропонований експериментальний метод визначення вибров'язкості зернових сумішей та встановлені її закономірності при сепаруванні циліндричними вібро-відцентровими решетами.

**INVESTIGATION OF REGULARITIES OF THE
VIBROVISCOSITY OF GRAIN MIXTURES SEPARATED BY
CYLINDRICAL VIBROCENTRIFUGAL SIEVES.**

The experimental method of determination vibroviscosity of grain mixtures separated by cylindrical vibrocentrifugal sieves has been proposed. The regularities of the vibroviscosity have been established.