

Тищенко Л. Н.

Слипченко М. В.

Харьковский  
национальный  
технический  
университет  
сельского хозяйства  
им. Петра Василенко

УДК 631.362.36; 621.928.9

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ЗАСОРЕННОГО ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПРИ ОЧИСТКЕ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

*Методами тензометрирования и скоростной видеосъемки получены значения коэффициента динамической вязкости засоренного легкими примесями воздушного потока. Установлены закономерности изменения от конструктивно-технологических параметров разработанного пневмосепарирующего устройства виброцентробежных сепараторов ОАО "Вибросепаратор" (г. Житомир).*

*Values of the coefficient of dynamic viscosity of light impurities clogged air flow are obtained by the method of strain measurement and high-speed video. Regularity of change from structural and technological parameters of the developed vibrocentrifugal separator air aspiration device of public corporation "Vibroseparator" (Zhitomir) are investigated.*

**Актуальность темы и цель исследования.** С целью увеличения эффективности очистки зерновых смесей (ЗС) от легких примесей виброцентробежными сепараторами ОАО "Вибросепаратор" разработано новое пневмосепарирующее устройство (ПСУ) [1]. Проведены теоретические исследования, и получены математические модели динамики извлечения легких частиц при движении по конусно-каскадной поверхности и в кольцевом канале ПСУ [2-7]. Численное решение полученных математических моделей требует значений коэффициента динамической вязкости засоренного воздушного потока (ВП).

Вследствие наличия частиц легких примесей и пыли в ВП его значения отличаются от табличных, приведенных для чистого воздуха.

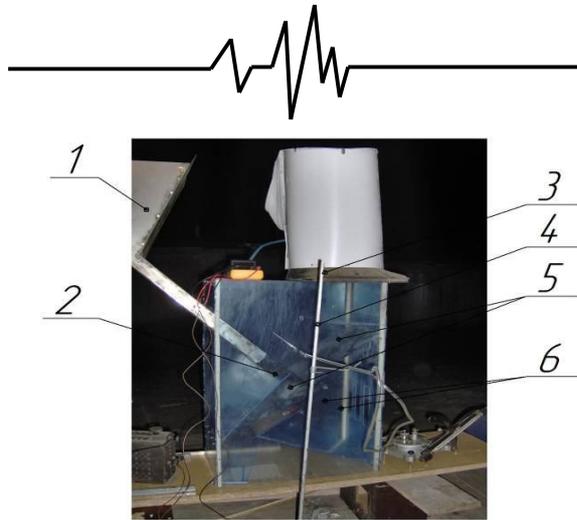
Одним из эффективных экспериментальных методов определения динамической вязкости ЗС, ВП является

тензометрирование [8]. На значения коэффициента динамической вязкости оказывают влияние конструктивно-технологические параметры ПСУ.

**Формулировка целей статьи.** Определение коэффициента динамической вязкости засоренного ВП методами тензометрирования и скоростной видеосъемки при различных условиях очистки ЗС от легких примесей.

**Основная часть.** Экспериментальные исследования проводили на лабораторной установке (ЛУ), выполненной из оргстекла (рис. 1).

ЛУ позволяет исследовать очистку ЗС от легких примесей как в кольцевом канале, так и на конусно-каскадной поверхности 5 путем расположения бункера 1 с противоположной стороны установки. Изменение скорости ВП осуществляли изменением постоянного напряжения, подводимого к электродвигателю вентилятора 3.



**Рис. 1. Лабораторная установка:**  
1 – бункер загрузочный; 2 – наставка с закруглением; 3 – вентилятор с электродвигателем;  
4 – диафрагма; 5 – поверхность конусно-каскадная; 6 – окна воздухозаборные

Установка имеет возможность ряда независимых регулировок, однако их фиксировали в определенном положении, значения которых получены в результате проведения многофакторного эксперимента [9]: угол установки каскадов  $35^\circ$ , общая площадь продувки кольцевых каналов  $S = 0,198 \text{ м}^2$ , количество каскадов  $n = 3$ , расход воздуха  $q_s = 1,76 \text{ м}^3/\text{с}$  (определяет выбор вентилятора и скорость ВП в ПСУ), ширина кольцевого канала основной очистки  $B = 0,137 \text{ м}$ , расстояние от нижнего основания конуса до воздухозаборных окон  $z = 0,068 \text{ м}$ . При проведении экспериментов изменяли технологический параметр – скорость ВП. Загрузку ПСУ при этом устанавливали 25 т/ч.

Для проведения экспериментов изготовили специальный датчик (рис. 2, а). Он представляет собой тонкую круглую пластину, жестко закрепленную на консольной балочке, которая крепится на независимой штанге (с целью исключения возможных искажений от колебаний корпуса ЛУ). В поперечном сечении балочка имеет прямоугольную форму. Датчик вводили через боковую стенку ЛУ и ориентировали таким образом, чтобы пластина была расположена в плоскости потока (рис. 3). При движении потока датчик отклоняется от положения равновесия под действием касательного усилия на его поверхность и соударений частиц в торец. Чтобы определить касательное усилие из общего вычислить усилие от соударений частиц в торец датчика. Для этого, вместо круглой пластины, к консольной балочке прикрепляли согнутую в форме полукруга проволоку (рис. 2, б).

Диаметр проволоки равен толщине пластины. Диаметр полукруга равен диаметру круглой пластины. Отклонение датчика от положения равновесия происходит только за счет соударений частиц в его торец.

На боковых поверхностях консольной балочки, у ее заземлениях (в местах наибольших деформаций), наклеены и включены в мостовую схему тензорезисторы. К измерительной мостовой схеме подается напряжение. Электрическая схема устройства для определения касательных усилий представлена на рис. 4.



а)



б)

**Рис. 2. Датчик для измерения усилий в засоренном ВП: а) – с круглой пластиной; б) – с проволокой в виде полукруга**



**Рис. 3. Размещение датчика в ПСУ**

При колебаниях датчика происходит деформация консольной балочки, вызывающая деформацию проволоочной решетки тензорезисторов. Это приводит к изменению их геометрические размеров и сопротивления. Изменении сопротивления тензорезистора на выходе мостовой схемы вызывает амплитудно-модулированные колебания, в которых несущая частота промодулирована частотой измеряемого процесса.

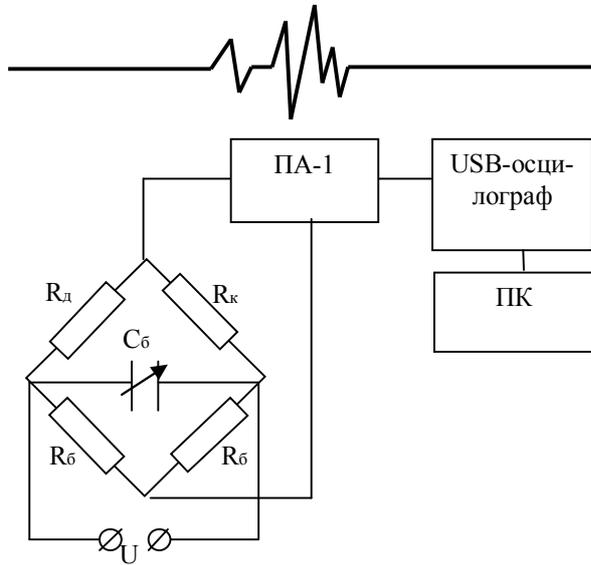


Рис. 4. Электрическая схема устройства измерения усилий в ВП

Амплитудно-модулированные колебания с выхода моста подаются на усилитель ПА-1, к которому отдельно подводится постоянное напряжение, и далее сигнал поступает на USB-осциллограф «IRIS» (рис. 5). После преобразования цифровой сигнал поступает на персональный компьютер, где обрабатывается при помощи программы «Iris Waveware 2.6.1» (рис. 6).

Данные, полученные при обработке сигнала, в дальнейшем обрабатывали при помощи программы «MathLab», таким образом определяя усилия отклонения датчика. Каждый замер повторяли троекратно, перед началом опыта проводили калибровку.



Рис. 5. Приборы для обработки амплитудно-модулированного сигнала: усилитель ПА-1 (справа), USB-осциллограф "IRIS" (слева)

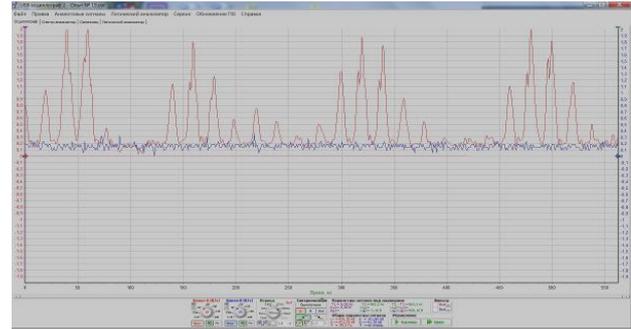


Рис. 6. Обработка данных тензометрирования при помощи компьютерной программы «Iris Waveware 2.6.1»

Процесс тензометрирования сдвиговых усилий представлен на рис. 7.

Предположив, что движение засоренного ВП по рабочему каналу аналогично вязкой жидкости, по гипотезе Ньютона для вязких напряжений, имеем:

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

где  $\tau_{\epsilon}$  – касательное напряжение вязкого трения;  $v$  – скорость потока на заданной глубине  $h$ .

Отсюда определяем коэффициент динамической вязкости засоренного ВП:

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

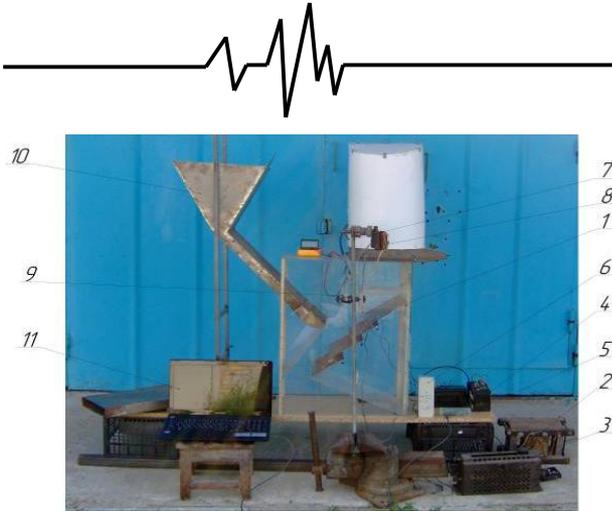
Касательное напряжение вязкого трения определяли по формуле:

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

где  $P_{\text{вяз.тр}}$  – касательное усилие вязкого трения в засоренном ВП, измеряемое датчиком;  $S_{\text{дат}}$  – площадь пластины датчика.

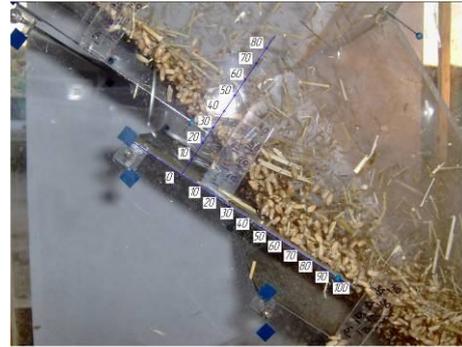
Касательное усилие вязкого трения определяли вычитанием из общего усилия отклонения датчика усилия, вызванного соударениями частиц в торец (графики красного и синего цвета на рис. 6):

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



**Рис. 7. Тензометрирование сдвиговых усилий: 1 – ЛУ; 2 – трансформатор; 3 – реостат сопротивления ползунковый; 4 – USB-осциллограф; 5 – батареи аккумуляторные; 6 – усилитель; 7 – стойка; 8 – мостик диодный; 9 – балочка с тензодатчиком; 10 – бункер; 11 – ноутбук**

Данные для (1) получены покадровой расшифровкой видеосъемки процесса очистки ЗС (рис. 8). Для этого в смесь вводились окрашенные частицы и определяли их скорость и перемещение.



**Рис. 8. Обработка видеосъемки процесса очистки ЗС**

Расстояние, пройденное частицами определяли по изменению координат с течением времени.

Определив расстояние  $L_{ч}$ , пройденное частицей за отрезок времени  $t$ , вычисляли скорость ее движения:

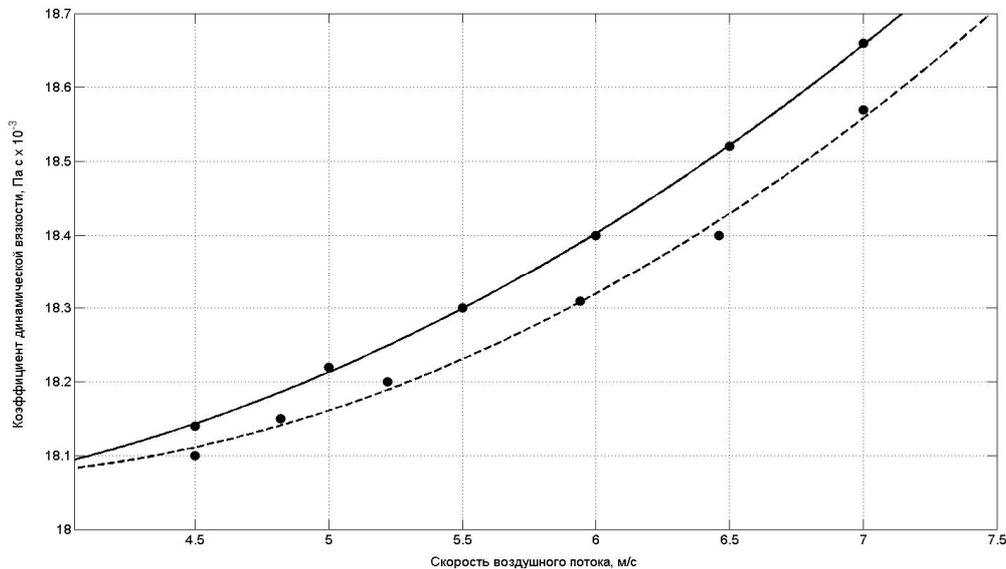
$$v_{\text{част}} = L_{ч} / t, \quad (5)$$

$$t = t_{\text{кадр}} \cdot k, \quad (6)$$

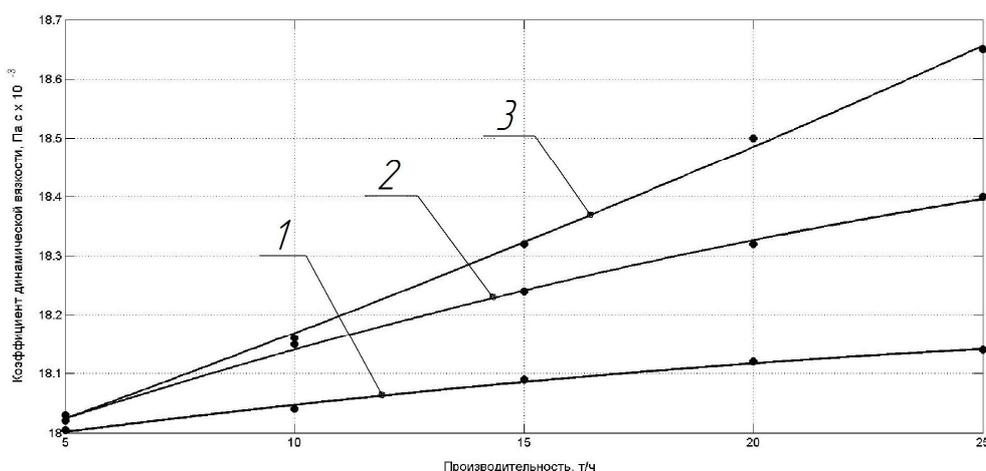
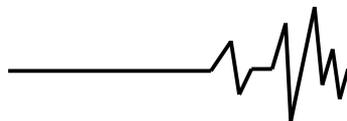
где  $k$  – количество кадров, соответствующих перемещению частицы на расстояние  $L_{ч}$ ,  $t_{\text{кадр}}$  – время одного кадра:

$$t_{\text{кадр}} = 1 / n, \quad (7)$$

где  $n$  – частота смены кадров в секунду.



**Рис. 10. Зависимости коэффициента динамической вязкости засоренного ВП от его скорости: - - - - засоренность легкими примесями 5%; ————— - 10%**



**Рис. 11. Зависимости коэффициента динамической вязкости засоренного ВП от производительности ПСУ: 1 – скорость ВП 4,5 м/с; 2 – 6 м/с; 3 – 7 м/с (засоренность легкими примесями 5 %)**

#### **Результаты испытаний и их анализ.**

В соответствии с полученными экспериментальными данными определены зависимости коэффициента динамической вязкости от скорости ВП, засоренности легкими примесями и загрузки сепаратора.

Как видно из рис. 10, значения коэффициента динамической вязкости повышаются при увеличении скорости ВП с 4,5 до 7 м/с: соответственно от  $18,1-18,14 \cdot 10^{-3}$  до  $18,58-18,66 \cdot 10^{-3}$  Па·с. Засоренность ВП влияет на его динамическую вязкость незначительно: от 2,5 до 2,9 %.

Изменение содержания легких примесей в ЗС возможно лишь в условиях эксперимента, а на производстве является случайной величиной, прогнозируемой согласно многолетних наблюдений методами математической статистики [10] либо определяемых при взятии проб [11].

Из рис. 11 видно, что увеличение загрузки сепаратора и скорости засоренного ВП также приводит к увеличению коэффициента динамической вязкости последнего. С увеличением загрузки от 5 до 25 т/ч значение его увеличивается на 0,8-3,7 % и составляет  $18,01-18,66 \cdot 10^{-3}$  Па·с. Скорость ВП также влияет на его незначительно: от 1,3 до 2,9 %.

Полученные значения объясняются тем, что при большей скорости ВП имеется возможность извлечения более крупных частиц легких примесей и обладающих большей массой, что приводит к увеличению касательных усилий. Увеличение засоренности смеси легкими примесями и загрузки сепаратора приводят и к увеличению

количества извлекаемых частиц, что также увеличивает касательные усилия.

#### **Выводы.**

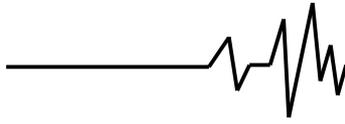
Используя методы тензометрирования с применением специального датчика и скоростной видеосъемки, получены значения коэффициента динамической вязкости засоренного легкими примесями ВП. Эти данные могут быть использованы при численном решении уравнений динамики очистки ЗС от легких примесей.

#### **Литература**

1. Пат. 50587 Україна, МПК<sup>9</sup> В07В 1/00, В07В 4/00. Вібровідцентровий сепаратор / Тищенко Л.М., Пастушенко М.Г., Харченко С.О., Сліпченко М.В.; заявник та власник Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка. № 201000743; заявл. 26.01.10; опубл. 10.06.10, Бюл. №11/2010.

2. Тищенко Л.Н., Слипченко М.В. К исследованию динамики продуваемого слоя зерновой смеси / Л.Н. Тищенко, М.В. Слипченко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип. 10, Т.7. – С. 201-209.

3. Тищенко Л.Н., Слипченко М.В. Динамика извлечения легких примесей пневмосепарирующим устройством виброцентробежного сепаратора / Л.Н. Тищенко, М.В. Слипченко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2011. – № 1 (61). – С. 186-193.



4. Тищенко Л.Н., Слипченко М.В. К составлению граничных условий и уравнений динамики зерновой смеси на тарельчатом разбрасывателе виброцентробежного сепаратора / Л.Н. Тищенко, М.В. Слипченко // Науковий вісник Луганського національного університету. – Луганськ: ЛНТУ, 2011. – № 30 – С. 296-304.
5. Тищенко Л.Н., Слипченко М.В. К составлению уравнений динамики зерновой смеси на тарельчатом разбрасывателе виброцентробежного сепаратора / Л.Н. Тищенко, М.В. Слипченко // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2011. – Вип. 41, Ч.1. – С. 62-67.
6. Тищенко Л.Н., Слипченко М.В. Осредненные уравнения динамики зернового слоя на тарельчатом разбрасывателе пневмосепарирующего устройства / Л.Н. Тищенко, М.В. Слипченко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2011. – № 4 (64). – С. 117-124.
7. Тищенко Л.Н., Слипченко М.В. Уравнения динамики зерновой смеси на тарельчатом виброцентробежного сепаратора / Л.Н. Тищенко, М.В. Слипченко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2012. – № 1 (65). – С. 123-127.
8. Тищенко Л.Н. Интенсификация сепарирования зерна. / Л.Н. Тищенко – Харьков: Основа, 2004. – 224 с.
9. Слипченко М.В. Оптимизация конструктивно-технологических параметров пневмосепарирующего устройства виброцентробежных зерновых сепараторов / М. В. Слипченко // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2010. – Вип. 93, Т.1.– С. 214-222.
10. Ямпілов С.С., Цыбенков Ж.Б. Технологии и технические средства для очистки зерна с использованием сил гравитации / С.С. Ямпілов, Ж.Б. Цыбенков – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. – 167с.
11. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості: ДСТУ 4138-2002. – [Чинний від 2004-01-01]. – К. Держспоживстандарт України. 2003. – 173 с. – (Національний стандарт України).