

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ОЧЁСАННОГО ВОРОХА ЗЕРНОВЫХ

Леженкин И.А., асп*

Таврический государственный агротехнологический университет.

Тел. (0619) 42-05-70.

Аннотация – в статье приводится методика определения статического коэффициента трения виброожиженного слоя очёсанного вороха зерновых с использованием теории планирования эксперимента.

Ключевые слова – статический коэффициент трения, очёсанный ворох, вибролоток, виброожижение, вертикальные колебания, уравнение регрессии.

Постановка проблемы. Как известно [1, 2, 3] очёсанный ворох зерновых содержит 50...80% свободного зерна, 10...40% грубых солоmistых примесей и 10...20% необмолоченных колосков (метёлок).

Наиболее эффективно [4] для сепарации очёсанного вороха использовать цилиндрическое решето с наружной рабочей поверхностью. Однако наличие значительного количества грубых солоmistых примесей и необмолоченных колосьев (метёлок) приводит к нарушению рабочего процесса решета, снижению его производительности и технологической надёжности. Поэтому, с целью интенсификации процесса выделения цилиндрическим решетом свободного зерна из очёсанного вороха зерновых предлагается проводить предварительную его подготовку на вибролотке. Для определения конструктивных параметров вибролотка, а в частности угла его наклона, необходимо определить статический коэффициент трения.

Анализ последних публикаций. Методика определения статического коэффициента трения приведена в [5, 6]. Однако в них рассматривается случай, когда лоток находится в состоянии покоя. Случай горизонтальных колебаний виброожиженного слоя при его движения по плоскому решету рассмотрен в работе [7], но эта работа посвящена выводу формул для расчёта распределения скорости по толщине слоя зерна, а определение коэффициента трения там не рассматривается.

* Научный руководитель - д.т.н. В.В. Шацкий

Формулирование целей статьи. Целью данной работы является формирование методики экспериментального определения статического коэффициента трения виброожиженного очесанного вороха зерновых.

Основная часть. Экспериментальная установка для проведения исследований (рис. 1) состоит из следующих основных частей:

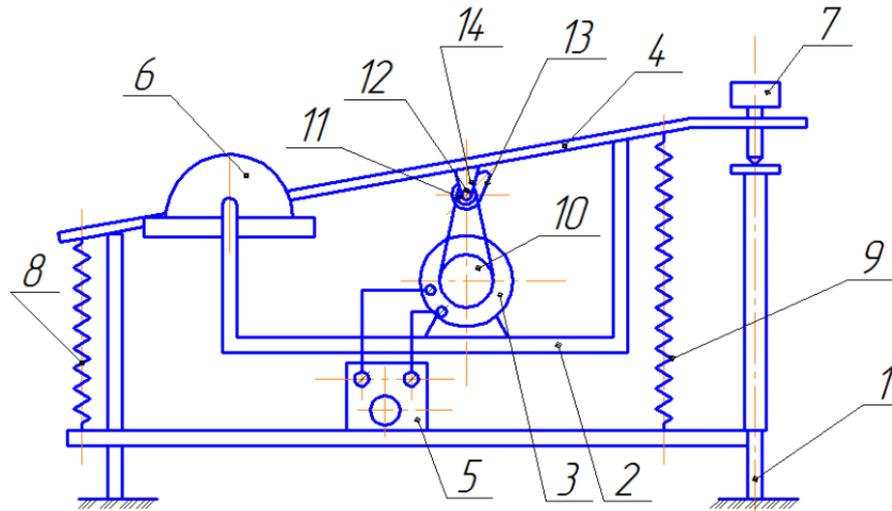


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

Неподвижной рамы 1, подвижной рамы 2, электродвигателя постоянного тока 3, наклонной поверхности 4, регулятора тока 5, транспортера 6, регулировочного винта 7, передних 8 и задних 9 пружин, ведущего 10 и ведомого 11 шкивов, вала эксцентрика 12, подшипниковой опоры вала эксцентрика 13, эксцентрика 14.

Лабораторная установка работает следующим образом. При включении электродвигателя вращение через ременную передачу передается на вал эксцентрика. Эксцентрик, вращаясь, выводит из состояния покоя наклонную поверхность, к которой прикреплены пружины 8 и 9, которые приводят её к колебательному движению. Изменение угла наклона поверхности 4 достигается регулировочным винтом 7. Для измерения угла наклона поверхности 4 установлен транспортер 6. Регулировка частоты вращения вала электродвигателя осуществляется с помощью регулятора тока 5.

Для регистрации колебаний наклонной поверхности используется записывающее устройство (рис. 2) [8], которое состоит из электрической цепи 1, катушки высокого напряжения 2, лентопротяжного механизма 3, с приводом. В свою очередь привод лентопротяжного механизма включает в себя электромотор 4, муфту и регулятор 5. При этом катушка высокого напряжения включается параллельно.

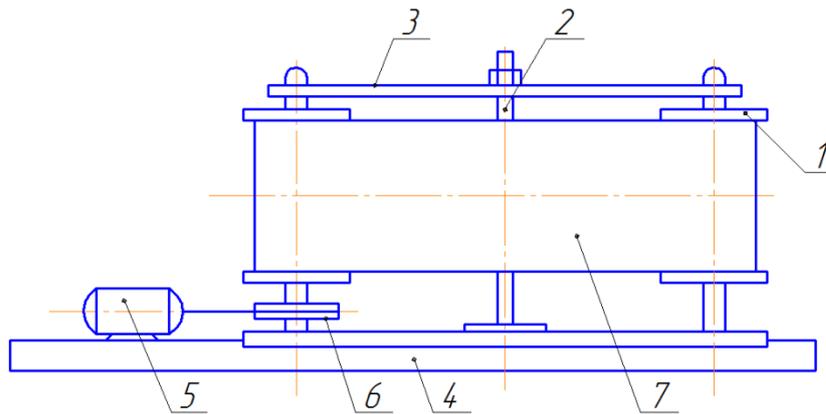


Рис. 2. Схема записывающего устройства.

Лентопротяжный механизм состоит из следующих частей (рис. 3.) [8]: двух барабанов 1, напессованных на оси, которые скрепляются планками 3. Планки крепятся на панели 4 опорной стойкой 2. Ведущий барабан соединён червячной парой 6 с валом электромотора постоянного тока 5.

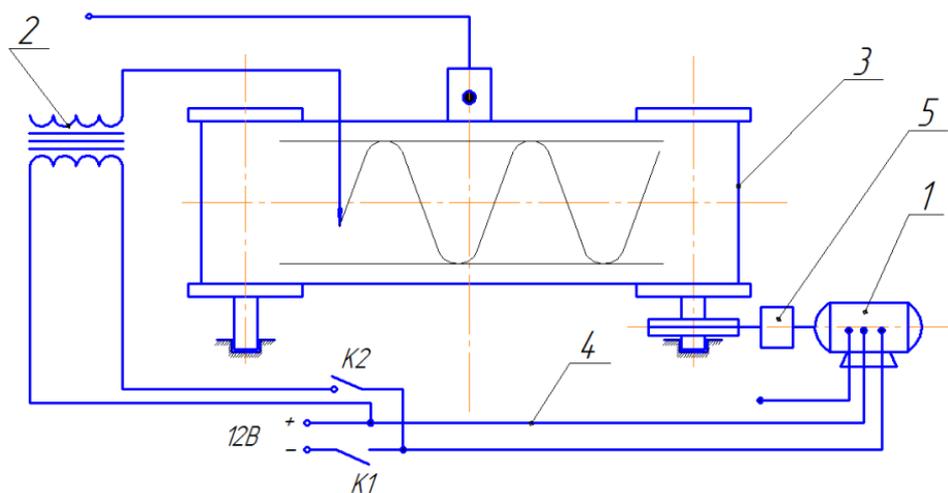


Рис. 3. Схема лентопротяжного механизма.

Для записи колебаний наклонной поверхности с очёсанным вихром на бумажной ленте используется держатель, к которому подводится один из выводов высоковольтной катушки. Другой вывод обмотки присоединён к металлическому экрану, который расположен между барабанами лентопротяжного механизма. При замыкании электрической цепи катушки в зазоре между штифтом и металлическим экраном возникают искровые разряды, которые и оставляют след на бумажной ленте. Запись колебаний производится на бумажной ленте шириной 70 мм. Лента наматывается на ведомый барабан, конец ленты приклеивается к ведущему барабану. При перемещении ленты вдоль экрана на ней остаются следы от электрических разрядов. Ско-

рость движения ленты определяют путём измерения времени прохождения участка ленты и длины участка.

Наклонная поверхность 4 (рис. 1) совершает вынужденные колебания. На неё действуют восстанавливающая сила $F = c \cdot x$, сила сопротивления $R = \mu \cdot V$ и возмущающая сила $Q = Q_0 \cdot \sin(\omega t)$.

Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний имеет вид [6]

$$x'' + 2bx' + k^2x = P_0 \sin(\omega t), \quad (1)$$

где $k^2 = \frac{c}{m}$; $2b = \frac{\mu}{m}$; $P_0 = \frac{Q_0}{m}$.

Общее решение дифференциального уравнения (1) можно представить в виде [6]

$$x = a e^{-bt} [\sin(k_1 t + \alpha)] + A \sin(\omega t + \beta), \quad (2)$$

где a – постоянный множитель амплитуды;

b – коэффициент затухания;

k_1 – частота затухающих колебаний;

α – начальная фаза колебаний.

Проанализируем физический смысл уравнения (2). Уравнение (2) состоит из двух слагаемых, первое из которых выражает затухающие колебания, а второе – вынужденные. Затухающие колебания достаточно быстро затухают, а вынужденные продолжаются в течении всего действия возмущающей силы. Исходя из этого, установившиеся вынужденные колебания можно описать уравнением вида [6]

$$x = A \sin(\omega t + \beta), \quad (3)$$

где A – амплитуда вынужденных колебаний;

β – сдвиг фаз;

ω – частота вынужденных колебаний.

Частота вынужденных колебаний равна частоте возмущающей силы, в нашем случае это частота вращения эксцентрика.

График установившихся вынужденных колебаний имеет вид (рис. 4).

Для определения статического коэффициента трения вибро-сжиженного слоя очёсанного вороха зерновых используем методику математического планирования эксперимента. Наиболее приемлемым для поставленной цели является некомпозиционный ротатабельный трёхуровневый план Бокса-Бенкина [9, 10]. Отличительной особенностью этих планов является то, что во всех строках плана некоторые факторы находятся на нулевых уровнях [11].

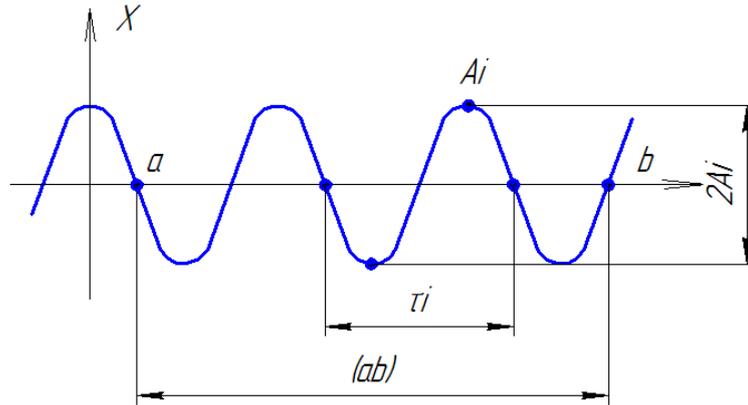


Рис. 4. График вынужденных колебаний.

Математическая модель в общем виде может быть представлена уравнением регрессии [9].

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < l \leq k} b_{il} x_i x_l + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2 + \dots \quad (4)$$

где y – выборочная оценка функции отклика ξ ;

b_0, b_i, b_{il}, b_{ij} - коэффициенты регрессии, которые являются оценками теоретических коэффициентов;

$x_i \dots$ - независимые переменные (факторы).

В результате априорной информации были установлены основные факторы влияющие на статический коэффициент трения вибро-сжиженного слоя очёсанного вороха зерновых – частота вращения эксцентрика, величина выступа эксцентрика, содержание свободного зерна в очёсанном ворохе, влажность грубых солоmistых примесей входящих в состав вороха.

Таким образом, имеем трёхуровневый четырёхфакторный эксперимент, уравнение регрессии которого в общем виде:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{14} x_1 x_4 + b_{23} x_2 x_3 + b_{24} x_2 x_4 + b_{34} x_3 x_4 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{44} x_4^2, \quad (5)$$

где x_1 - частота вращения эксцентрика, c^{-1}

x_2 - величина выступа эксцентрика, м

x_3 - содержание свободного зерна в очёсанном ворохе, %

x_4 - влажность грубых солоmistых примесей входящих в состав вороха, %.

В качестве функции отклика принимаем угол наклона поверхности 4 (рис. 1). Планирование эксперимента выполняется на трёх уровнях.

Для проведения эксперимента составлена матрица эксперимента (табл. 1), в которой нижний уровень обозначен знаком (-), верхний – знаком (+), основной уровень – (0).

Опыты проводятся в пятикратной повторности. Для исключения неоднородностей дискретного и непрерывного типов опыты рандомизируются. Рандомизация опытов обеспечивает равномерное внесение элемента случайности влияния неуправляемых и неконтролируемых факторов на отклик. При рандомизации использованы таблицы случайных чисел.

Таблица 1. Матрица некомпозиционного плана второго порядка для четырёх факторов (план Бокса-Бенкина).

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4
1	+	+	+	0	0	16	+	0	-	+	0
2	+	+	-	0	0	17	+	0	-	-	0
3	+	-	+	0	0	18	+	0	0	0	0
4	+	-	-	0	0	19	+	+	0	+	0
5	+	0	0	+	+	20	+	+	0	-	0
6	+	0	0	+	-	21	+	-	0	+	0
7	+	0	0	-	+	22	+	-	0	-	0
8	+	0	0	-	-	23	+	0	+	0	+
9	+	0	0	0	0	24	+	0	+	0	-
10	+	+	0	0	+	25	+	0	-	0	+
11	+	+	0	0	-	26	+	0	-	0	-
12	+	-	0	0	+	27	+	0	0	0	0
13	+	-	0	0	-						
14	+	0	+	+	0						
15	+	0	+	-	0						

Расчёт коэффициентов регрессии и проверка адекватности модели проводятся по формулам, приведенным в [9, 10].

Опыты проводятся следующим образом. Очёсанный ворох загружается в специально изготовленный ящик, который устанавливается на наклонную поверхность 4 (рис. 1). Ящик изготовлен таким образом, что у него отсутствует днище, а передняя стенка выполнена из оргстекла. Размеры ящика соответственно равны 0,5х0,5х0,2 м. После этого включается электродвигатель привода эксцентрика и наклонная поверхность 4 начинает вибрировать. Одновременно включается записывающее устройство для регистрации колебаний поверхности. Затем регулировочным винтом 7 (рис. 1.) поверхность 4 поднимается до того момента, как ящик с очёсанным ворохом начнёт по ней двигаться. Угол наклона поверхности к горизонту определяется с помощью

транспортира б. Значение угла, при котором ящик с ворохом начинает своё движение по поверхности 4, заносят в журнал регистрации результатов эксперимента. Полученные виброграммы колебаний поверхности 4 расшифровываются по методике, приведенной в [8].

Выводы. Предложенная методика даёт возможность определить статический коэффициент трения очёсанного вороха в виброожигенном состоянии, что позволяет определить угол наклона виброрешетки очистителя очёсанного вороха зерновых.

Литература

1. *Шабанов П.А.* Механико-технологические основы обмолота зерновых культур на корню: дис. д.т.н. / П.А. Шабанов; МИМСХ – Мелитополь, 1988. – 336 с.
2. *Михайлов Е.В.* Оценка перспективности использования цилиндрического решета с наружной рабочей поверхностью для разделения очёсанного вороха риса / Е.В. Михайлов, Н.Н. Аблогин // совершенствование технологических процессов и рабочих органов сельскохозяйственных машин; сб. научных трудов УСХА. – К., 1989. – С. 58-63.
3. *Кушнарёв А.С.* Энергосберегающая технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств. / А.С. Кушнарёв, А.Н. Леженкин // Перспективные технологии уборки зерновых культур, риса и семян трав: сб. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Мелитополь, 2003. – С. 5-17.
4. *Аблогин Н.Н.* Обоснование технологической схемы и параметров устройства для сепарации очёсанного вороха риса; дис. к.т.н. / Н.Н. Аблогин. – Мелитополь, 1997. – 215 с.
5. *Воронков И.М.* Курс теоретической механики: учебник [для студ. вузов] / И.М. Воронков. – М.: Наука, 1965. – 592 с.
6. *Тарг С.М.* – Краткий курс теоретической механики: учебник [для студ. вузов] / С.М. Тарг – М.: Высшая школа, 1986 – 416 с.
7. *Тищенко Л.Н.* О колебаниях скорости неоднородного слоя зерновой смеси на плоском виброрешете. / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2010. – Вип. 10, т 7. – С. 32-41.
8. *Дюжаєв В.П.* Лабораторний практикум з теоретичної механіки / В.П. Дюжаєв, Ю.П. Рогач, О.І. Болбат, О.М. Леженкін // навч. посібник – Мелітополь, - 2009 р., 56 с.
9. *Спиридонов А.А.* Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 60 с.
10. *Мельников С.В.* Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алёшкин, П.М. Роцин. – Л.: Колос, 1980. – 165 с.

11. *Барабашук В.И.* Планирование эксперимента в технике / В.И. Барабашук, Б.П. Креденцер, В.И. Мирошниченко; под ред. Б.П. Креденцер. – К.: Техніка, 1984. – 200 с.

**МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ
СТАТИЧНОГО КОЕФІЦІЄНТУ ТЕРТЯ ОБЧІСАНОГО
ВОРОХУ ЗЕРНОВИХ**

Леженкін І.О.

Анотація

У статі наводиться методика визначення статичного коефіцієнту тертя вібророзрідженого шару обчесаного вороху зернових з використанням теорії планування експерименту.

**TECHNIQUE OF EXPERIMENTAL DEFINITION OF
STATIC FACTOR OF THE FRICTION OF STRIPPED LOTS
THE GRAIN**

I. Lezhenkin

Summary

The technique of definition of static factor of a friction of a under vibration layer of stripped lots is given in article grain with use of the theory of planning of experiment.