

ПРОИЗВОДСТВО И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

УДК 631.362

Г. Э. Задевалова¹, С. С. Ямпиллов¹, А. А. Алексеев¹, И. Б. Шагдыров²

¹ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский ГУТУ», Улан-Удэ

²ФГБОУ ВПО «Бурятская ГСХА им. В.Р. Филиппова», Улан-Удэ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА НА ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Ключевые слова: обработка зерна, сепаратор, разделение зерновой смеси, фракции.
В статье представлено теоретическое обоснование разделения зерновых частиц по влажности.

G. Zadevalova¹, S. Yampilov¹, A. Alekseyev¹, I. Shagdyrov²

¹FSBEI HPE "East Siberian State University of Technology and Management",
Ulan-Ude

²FSBEI HPE "Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Philippov",
Ulan-Ude

EXPERIMENTAL STUDIES OF GRAIN SEPARATION ON REFLECTIVE WORKSURFACES

Key words: grain handling, separator, separation of grain mixture, fractions.
This paper presents theoretical justification for the separation of grain particles based on their humidity.

Введение. Основной задачей, решаемой в ходе послеуборочной обработки зерна, является доведение зернового вороха до базисных кондиций для сохранения его продовольственных, посевных и семенных качеств, в том числе и доведение его параметров до нормативных по влажности. Влажность является важнейшей характеристикой и в значительной степени определяет технологию дальнейшей обработки. Величина влаж-

ности зернового вороха может колебаться в пределах 10...33% и более. Каждый процент увеличения влажности свыше 16% влечет за собой снижение фактической производительности сушильных комплексов, увеличиваются затраты. Поэтому предварительно перед сухой целесообразно разделить зерновую смесь по влажности.

Условия и методы исследования. Для сепарации можно использовать

свойство, что частицы зернового материала различной влажности при ударе о поверхность падают на разные расстояния. Для разделения частиц зернового материала по влажности был разработан экспериментальный стенд-сепаратор разделения сыпучих материалов [4]. Сепаратор содержит загрузочный бункер, скатную пластину, рифленую пластину, отражательную поверхность, приемники продуктов разделения.

Внутри загрузочного бункера в нижней части расположен барабан с продольными пазами. Ширина паза соответствует ширине зерна. Такая конструкция позволяет предварительно ориентировать зерновые частицы продольной осью вдоль паза на барабане по ширине зерна. При вращении барабана зерновые частицы подаются на прямолинейную скатную пластину неслепкающимися порциями в один слой. При движении частиц по прямой скатной поверхности происходит их переориентация: продольная ось зерновой частицы под действием трения и гравитационных сил становится расположенной вдоль направляющей скатной пластины. Ориентированные частицы после схода с гладкой скатной поверхности попадают на рифленую направляющую пластину. Шаг рифления выполнен по ширине зерна. Это позволяет стабилизировать все кинематические характеристики движения зерновых частиц. Так уменьшается их отклонение от траектории движения, убирается вращение, из плоскопараллельного движения переходит в поступательное. Скорость стабилизируется. Затем уже стабилизированные частицы после схода с рифленой направляющей ударяются об отражательную пластину. В зависимости от влажности зерна происходит деление на фракции. Зерно с разной влажностью попадает в разные приемники продуктов разделения. Данная установка изображена на рисунках 1, 2.

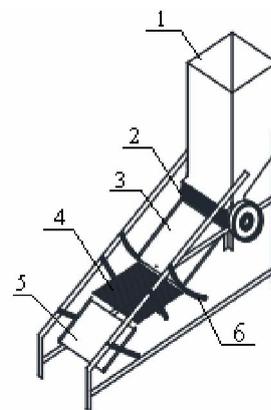


Рисунок 1 – Сепаратор для разделения сыпучих материалов
1- загрузочный бункер; 2 – барабан с продольными пазами; 3 - скатная пластинка; 4 - рифленая пластинка; 5 - отражательная поверхность; 6 – направляющие пластин



Рисунок 2 – Общий вид сепаратора для разделения сыпучих материалов

Процесс движения частиц зернового материала разделим на четыре этапа:

1. начальное движение зерновой частицы, заданное с помощью барабана с продольными пазами, позволяющего обеспечить отбор и предварительную ориентацию зерновых частиц;
2. переориентация движения частиц под действием трения и гравитационных сил на скатной пластине;
3. стабилизация движения на рифленой направляющей;
4. отскок от отражательной пластины.

Аналитически движение частиц зернового материала по различным поверхностям описано в научных трудах Василенко П. М и Долгунина В. Н. [1,3].

Динамика стабилизированного движения зерновой частицы в канале треу-

гольного сечения рифленой направляющей подробно рассмотрена в работах Ямпилова С. С. [5].

Рассмотрим отскок от отражательной пластины. Математическая модель составляется для косоуго неупругого удара зерновой частицы о неподвижную металлическую поверхность.

Динамика удара зависит от двух факторов. Первый - в зависимости от коэффициента восстановления R и коэффициента мгновенного трения λ (динамика материальной точки). Второй - с учетом того, что зерновую частицу можно рассматривать как твердое тело.

В первом случае потери кинетической энергии на вращение частиц равны нулю, она отлетает на максимальное расстояние. Угол наклона отражательной поверхности β выбирается так, чтобы угол отскока после удара был равен 45° . Разложим вектор скорости V на нормальную и касательную составляющие по отношению к отражательной поверхности: $V^1 = V \cos \beta$, $V^{11} = V \sin \beta$ (рис. 3).

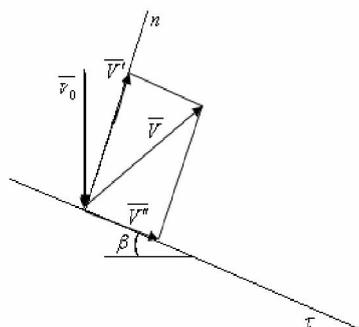


Рисунок 3 – Разложение скоростей

Согласно гипотезе Ньютона нормальную и касательную составляющие скорости после удара запишем в виде:

$$V_n = -RV^1 = -RV \cos \beta,$$

$$V_\tau = (1 - \lambda)V^{11} = (1 - \lambda)V \sin \beta, \quad (1)$$

где R – коэффициент восстановления (0,35);

λ - коэффициент мгновенного трения при ударе (0,37);

β - угол отражательной поверхности к горизонту (22,5).

Полная скорость после удара V_0 без учёта вращательного движения имеет следующий вид:

$$V_0 = V \sqrt{R^2 \cos^2 \beta + (1 - \lambda)^2 \sin^2 \beta} \quad (2)$$

Во втором случае (частицу рассматриваем как твердое тело) уравнение баланса энергии имеет вид:

$$T_n = T_{n0} + T_{\omega 0} \quad (3)$$

$$T_n = \frac{mV^2}{2} \text{ – кинетическая энергия частицы до удара (движение без вращения);}$$

$T_{n0} = \frac{mV_0^2}{2}$ – кинетическая энергия поступательного движения частицы после удара;

$$T_{\omega 0} = \frac{J_{cy} \cdot \omega_0^2}{2} \text{ – кинетическая энергия вращательного движения частицы после удара.}$$

Таким образом, имеем:

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{mV_0^2}{2} + \frac{J_{cy} \cdot \omega_0^2}{2} \quad (4)$$

V_0 – скорость центра масс частицы после удара. В случае, когда коэффициент восстановления $R=1$ потеря кинетической энергии происходит за счет вращения.

Угловая скорость ω_0 в уравнении (4) определяется через импульс силы \bar{Q} за счет потери скорости $(V - V_0)$. Тогда имеем уравнение баланса момента импульса силы \bar{Q} и кинетического момента вращательного движения частицы:

$$J_{cy} \cdot \omega_0 = m \cdot (V - V_0) \cdot h;$$

определяется через импульс силы \bar{Q} за счет потери скорости $(V - V_0)$. Тогда имеем уравнение баланса момента импульса силы \bar{Q} и кинетического момента вращательного движения частицы:

$$\omega_0 = \frac{m(V - V_0) \cdot h}{J_{cy}} \quad (5)$$

Подставим уравнение (4) в уравнение (5) и разрешим относительно V_0 , получим $V_0 = 0,95 \cdot V$

Объединяя все факторы, определяем скорость отскока частицы от отражательной поверхности:

$$V_0 = 0,95 \cdot V \cdot \sqrt{R^2 \cdot \cos^2 \beta + (1 - \lambda)^2 \cdot \sin^2 \beta} \quad (6)$$

Полет частицы после удара представлен на рис.4.

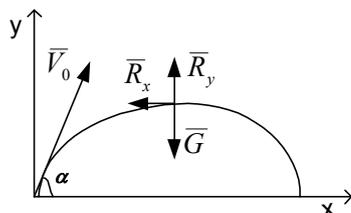


Рисунок 4 – Полет частицы зерновки после удара об отражательную поверхность

Движение с учетом сопротивления воздуха описывается тремя дифференциальными уравнениями 2-го порядка:

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x} = -\xi \cdot F \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} \cdot \cos \alpha \\ m \cdot \ddot{y} = -m \cdot g - \xi \cdot F \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} \cdot \sin \alpha \\ J_C \cdot \ddot{\varphi} = -R \cdot CO \cdot \sin(\varphi) - M_\varphi, \end{cases} \quad (7)$$

где ξ - коэффициент аэродинамического сопротивления частиц зерна;
 F - миделево сечение частицы зерна, m^2 ;
 ρ - плотность воздуха, $кг/м^3$;
 m - масса частицы зерна, $кг$;
 g - ускорение земного тяготения, $м/с^2$;
 J_C - осевой момент инерции;
 CO - смещение центра тяжести;
 φ - поворот частицы;
 V - скорость движения частицы зерна, $м/с$.

Результаты исследований. Интегрирование уравнения (7) произведем численным методом в системе MATNCAD.

Показатели: (коэффициенты)

$$\xi = 0,22; \quad F = 10,5 \times 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$\text{Пшеница: } \rho = 1,29 \text{ кг/м}^3; \quad m = 3 \times 10^{-5} \text{ кг.}$$

На рисунке 5 показаны графики изменения координат x, y, φ при влажности 28%. Приемники зерна находятся ниже отражательной поверхности на 0,45 м.

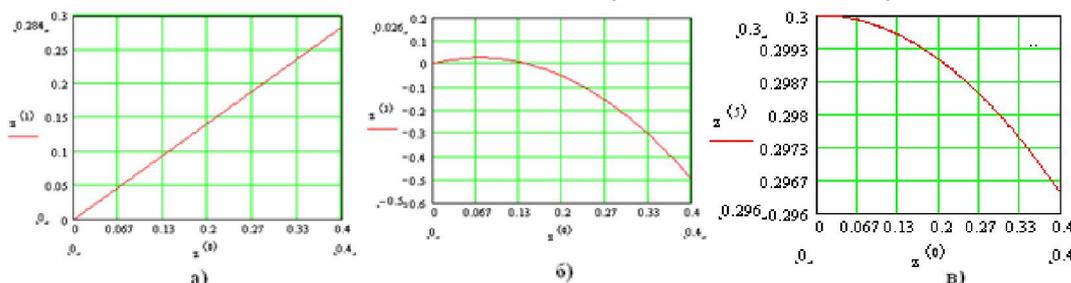


Рисунок 5 – Графики изменения обобщенных координат после удара об отражательную поверхность: а) изменение координаты x ; б) изменение координаты y ; в) изменение координаты φ

Из графика б) видно, что поверхность приемника 0,45м достигается зерновой частицей при $t=0,384$ с, и по графику а) в этот момент времени определяем, что частица падает на расстоянии 0,273м от отражательной поверхности. График в)

показывает угол поворота зерновой частицы при вращении.

На рисунке 6 показаны графики изменения обобщенных скоростей соответствующих координатам x, y, φ при влажности 28% .

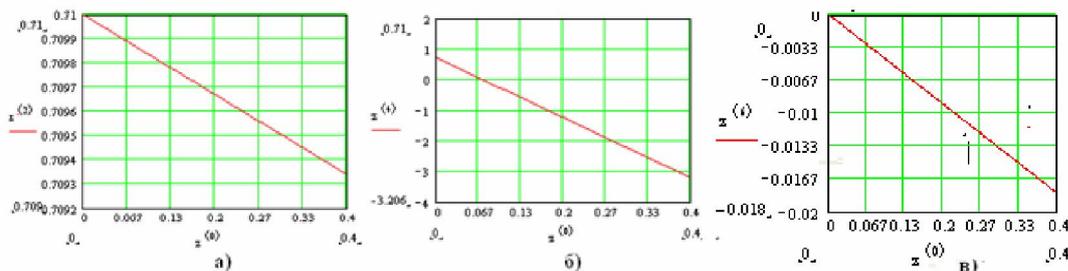


Рисунок 6 – Графики изменения обобщенных скоростей: а) изменение скорости по координате x ; б) изменение скорости по координате y ; в) изменение скорости по координате φ

Из графиков определяется зависимость скоростей от времени. Отрицательные величины соответствуют направлению движения. В таблице 1 пред-

ставлены данные по отскоку частиц разной влажности при угле наклона рифленной поверхности 45 градусов.

Таблица 1 – Данные по отскоку частиц разной влажности

W, %	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
R, м	0,474	0,444	0,422	0,405	0,373	0,352	0,34	0,321	0,296	0,273
t, с	0,435	0,428	0,423	0,418	0,41	0,405	0,4	0,396	0,39	0,384

Для подтверждения аналитических результатов при этом же угле наклона рифленной поверхности был проведен эксперимент для зерен разной влажности. Результаты эксперимента представлены на графике (рис.7).

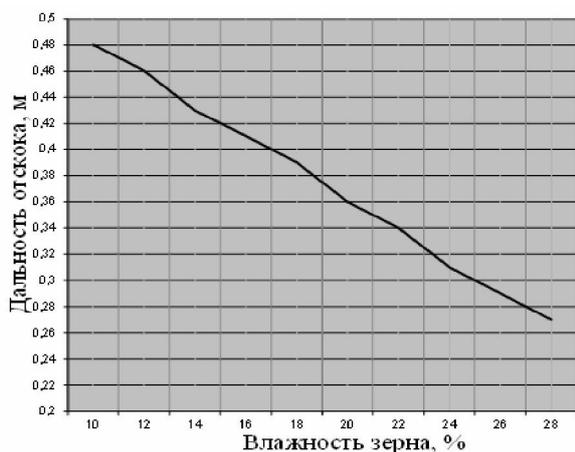


Рисунок 7 – График экспериментального разделения зерновой смеси по влажности

Заключение. Таким образом, можно сделать вывод: в результате неупругого удара зерновые частицы разной влажности в момент удара отлетают на разные расстояния. Чем меньше влажность зерна, тем зерновые частицы являются более упругими телами. Их отскок происходит на большее расстояние. У зерновых частиц с большей влажностью при

ударе за счет деформации происходит потеря кинетической энергии, и дальность полёта уменьшается. Вследствие этого появляется возможность разделения зерновой массы на фракции. Это подтверждается аналитическими и экспериментальными исследованиями. Результаты эксперимента совпадают с теоретическими данными.

Библиографический список

1. Василенко П.М. Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко // К.: УАСХН, 1960. – 284 с.
2. Долгунин В.Н. Быстрые гравитационные течения зернистых материалов: техника измерения, закономерности, технологическое применение/ В.Н. Долгунин, В.Я. Борщев. - М.: Машиностроение, 2005. – 73 с.
3. Сепаратор для разделения сыпучих материалов по упругим свойствам. Патент РФ №2399436/ Васильев Н.Ф., Ямпиллов С.С., Кобылкин А.В., Алексеев А.А., Задевалова Г.Э. Опубликовано в Бюллетене №26 20.09.2010.
4. Ямпиллов С.С. Теоретическое описание движения частиц зернового материала в прямолинейном канале треугольного сечения/ С.С. Ямпиллов, Г.Э. Задевалова // Вестник ВСГТУ. Научный журнал. – 2012. – №1. – С. 5-16.