

ОБОСНОВАНИЕ ФОРМЫ ЛОТКА ДЕЛИТЕЛЯ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА МНОГОЯРУСНОГО РЕШЕТНОГО СТАНА

Алексей Михайлович Гиевский
Владимир Павлович Шацкий
Михаил Константинович Харитонов

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Представлены результаты математического моделирования по обоснованию формы скатного лотка делителя зернового вороха между ярусами однотипных решет многоярусного решетного стана воздушно-решетной семяочистительной машины. В качестве такой поверхности рассматривалась цилиндрическая форма, которая располагается в начале сортировального решета под углом к горизонтали со сдвигом в отрицательном направлении относительно вертикальной оси. В результате преобразований получена система, состоящая из трех квазилинейных дифференциальных уравнений второго порядка и одного алгебраического уравнения. Численная реализация полученных математических моделей проводилась с использованием математического пакета символьных вычислений Maple. Циклический алгоритм позволил определить характер распределения частиц зернового вороха на начальной части сортировального решета в зависимости от зоны подачи материала на цилиндрическую форму рассекателя. Выявлено, что за счет цилиндрической формы скатных лотков делителя зернового вороха многоярусного решетного стана можно обеспечить распределение потока зерна между тремя ярусами сортировальных решет. Как показывают результаты математического моделирования, рационально принимать радиус поверхности $R = 0,06$ м со сдвигом центра поверхности в сторону отрицательных значений вертикальной оси z на величину $d = (0,4-0,5)R$ м, а сам лоток устанавливать под углом к горизонтальной плоскости $\alpha = 20^\circ$. При длине рассекателя $0,11$ м распределение зернового вороха по ширине $0,14-0,2$ м наблюдается на длине сортировальных решет не более $0,2$ м, включая поверхность самого делителя. Величина продольной составляющей скорости схода частиц зернового вороха у оси скатного лотка и изменяется в пределах $0,419-0,715$ м/с. В этом случае ширина зоны загрузки зернового вороха или ширина единичной секции делителя должна составлять не менее $0,4$ м.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: делитель потока, скатный лоток, уравнение поверхности, траектория движения, зона загрузки, ширина распределения.

RATIONALE FOR THE SHAPE OF THE GRAIN HEAP DIVIDER CHUTE OF A MULTILAYER CLEANER SHOE

Aleksey M. Gievsky
Vladimir P. Shatsky
Mikhail K. Kharitonov

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The results of mathematical modeling are presented to substantiate the shape of the grain heap divider chute installed between the layers of the same type of sieves of the multilayer sieve cleaner shoe of the air-sieve seed cleaning machine. As such a surface, a cylindrical shape was considered, which was located at the beginning of the sorting sieve at an angle to the horizontal with a shift in the negative direction relative to the vertical axis. As a result of transformations, a system consisting of three quasilinear differential equations of the second order and one algebraic equation was obtained. Numerical implementation of the obtained mathematical models was carried out using a symbolic and numeric computing environment Maple. The cyclic algorithm made it possible to determine the nature of the distribution of grain heap particles on the initial section of the sorting sieve, depending on the zone of material supply to the cylindrical shaped divider. It is revealed that due to the cylindrical shape of the sack chute of the grain heap divider of a multilayer cleaner shoe, it is possible to ensure the distribution of grain flow between three layers of sorting sieves. As the results of mathematical modeling show, it is rational to take the radius R of the surface equal to 0.06 m with a shift of the center of the surface towards negative values of the vertical z axis by the following value of $d = (0.4-0.5) R$ m, and install the chute at an angle to the horizontal surface α equal 20° . With a divider length of 0.11 m, the distribution of the grain heap over the width of $0.14-0.2$ m is observed on the sorting sieves with the length of no more than 0.2 m, including the surface of the divider itself. The value of the longitudinal component of the speed of grain heap particles descent at the axis of the sack chute varies from 0.419 to 0.715 m/s. In this case, the width of the loading zone of the grain heap or the width of the separate unit section of the divider should be not less than 0.4 m.

KEYWORDS: flow divider, sack chute, surface equation, motion trajectory, loading zone, distribution width.

Введение

В производственном процессе возделывания, уборки и послеуборочной обработки урожая зерновых культур большая часть затрат приходится на послеуборочную обработку, а именно на очистку, сушку и доведение до требуемых кондиций по чистоте, влажности и другим показателям собранного зерна и семян. Своевременное и качественное выполнение работ по послеуборочной обработке, снижение затрат и сокращение потерь при этом возможны на базе комплексной механизации всех этапов, то есть на индустриальной основе.

Подготовка качественного посевного материала зерновых и зернобобовых культур, несмотря на появление нового класса машин для окончательной очистки и сортировки, или фотосепараторов, невозможна без использования в технологии послеуборочной обработки воздушно-решетных машин.

Машины такого типа могут быть универсальными и использоваться при подготовке товарного зерна, а при соответствующем подборе решет в станы и режима работы пневмосистемы с успехом применяться с меньшей производительностью при подготовке семян. При этом основная роль в выделении фуражной фракции, как показывают результаты исследования, приходится на сортировальные решета [4, 5, 6, 7]. Так, коэффициент корреляции толщины зерновок озимой пшеницы с их скоростью витания составляет $r_{bv}^* = 0,458$.

На долю сортировальных решет приходится более 52,0% выделяемых фуражных фракций, в то время как каналом послерешетной очистки выделяется чуть более 20,0%, остальная часть фуражных фракций может выделяться как сортировальными решетками, так и воздушным потоком при правильном выборе скорости последнего [10].

Качество работы воздушно-решетных машин оценивается полнотой выделения фуражных фракций, которая при подготовке семян не должна быть ниже 80,0%. Полнота выделения фуражных фракций, как известно, напрямую зависит от производительности или удельной нагрузки на рабочие органы, в том числе на сортировальные решета.

Снижение удельной нагрузки на сортировальные решета без существенного уменьшения производительности машин возможно за счет увеличения их площади. Одним из рациональных путей увеличения площади является размещение таких решет в несколько ярусов без увеличения горизонтальных габаритных размеров решетных станом и машин в целом [6, 14, 15].

Роль разделения зернового вороха на несколько равнозначных потоков выполняют делители, устанавливаемые в решетный стан перед ярусами сортировальных решет [16]. Конструкция такого делителя зернового потока между тремя ярусами сортировальных решет представлена на рисунке 1 [13].

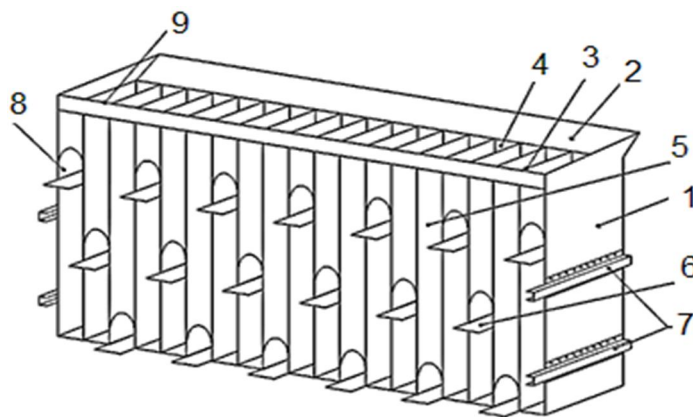


Рис. 1. Схема делителя зернового потока между тремя ярусами решет:
 1 – боковые стенки; 2 – приемник; 3 – вертикальные перегородки;
 4 – задние стенки; 5 – передние стенки; 6 – скатные лотки, служащие днищем;
 7 – кронштейны; 8 – окно; 9 – равновеликие секции

Делитель зернового потока представляет собой открытый сверху короб, разделенный вертикальными продольными перегородками 3 на секции 9. Количество секций 9 кратно числу ярусов сортировальных решет нижнего стана. В передней стенке 5 каждой секции 9 на трех уровнях по высоте выполнены окна 8, причем интервал по высоте расположения окон 8 соответствует расстоянию по высоте установки сортировальных решет в стане. Каждое окно 8 секций 9 в основании содержит перегородку, проходящую до задней стенки 4 секций и выполненную в виде скатного лотка 6. С лицевой стороны перегородки выходят за пределы передней стенки 4 секции, что обеспечивает их размещение внахлест на соответствующем ярусе решет в стане. На боковых стенках 1 с наружной стороны закреплены кронштейны 7 для установки делителя зернового потока по направляющим решетного стана.

Учитывая то, что скатный лоток 6 секций должен обеспечивать равномерное распределение зернового вороха по ширине решетных полотен в каждом ярусе, было сделано следующее предположение: в поперечном сечении поверхность лотка должна быть криволинейной.

Материалы и методы

Для обоснования формы скатного лотка рассмотрим несвободное движение частицы зернового вороха по некоторой криволинейной поверхности: $f(x, y, z) = 0$.

С учетом силы трения $F_{тр}$, в проекциях на оси координат (x, y, z) уравнения движения частицы по поверхности имеют:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= F_x + N(t)\cos(N, x) - F_{тр, x}, & m\ddot{y} &= F_y + N(t)\cos(N, y) - F_{тр, y}, \\ m\ddot{z} &= F_z + N(t)\cos(N, z) - F_{тр, z}, \end{aligned} \quad (1)$$

где m – масса частицы, кг;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

две точки вверху переменных обозначают вторую производную по времени;

$$\begin{aligned} \cos(N, x) &= \frac{\frac{\partial f}{\partial x}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}}; & \cos(N, y) &= \frac{\frac{\partial f}{\partial y}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}}; \\ \cos(N, z) &= \frac{\frac{\partial f}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}} \end{aligned}$$

– направляющие косинусы вектора нормали

ли $N(t)$ к поверхности.

Так как сила трения направлена противоположно скорости движения частицы, то

$$F_{тр, x} = f_d \cdot N(t) \frac{\dot{x}}{v},$$

где \dot{x} – проекция скорости на ось x ;

$v = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}$ – скорость частицы;

f_d – коэффициент трения движения.

Тогда $F_{тр, x} = f_d \cdot N(t) \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}$.

Аналогично $F_{тр, y} = f_d \cdot N(t) \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}$; $F_{тр, z} = f_d \cdot N(t) \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}$.

Вводя понятие неопределенного множителя Лагранжа

$$\lambda(t) = \frac{N(t)}{m \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}}, \quad (2)$$

получаем уравнения движения в виде:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= F_x + m\lambda(t)\frac{\partial f}{\partial x} - f_d m\lambda(t) \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2} \cdot \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}; \\ m\ddot{y} &= F_y + m\lambda(t)\frac{\partial f}{\partial y} - f_d m\lambda(t) \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2} \cdot \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}; \\ m\ddot{z} &= F_z + \lambda(t)\frac{\partial f}{\partial z} - f_d \lambda(t) \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2} \cdot \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Четвертым, замыкающим систему уравнением является уравнение поверхности $f(x, y, z) = 0$.

Рассмотрим в качестве скатного лотка цилиндрическую рассекающую форму, уравнение которой в системе координат (x_1, y_1, z_1) имеет вид: $y_1^2 + z_1^2 = R^2$. Поворот оси z_1 на угол α и сдвиг на некоторую величину d в отрицательном направлении оси z дает значение $z_1 = (z + d)\cos\alpha + x \sin\alpha$ в системе координат (x, y, z) . Тогда уравнение цилиндра принимает вид

$$y^2 + [(z + d)\cos\alpha + x \sin\alpha]^2 = R^2$$

или

$$z(x, y) = \frac{\sqrt{R^2 - y^2} - d \cos\alpha - x \sin\alpha}{\cos\alpha}. \quad (4)$$

Уравнение этой формы можно также представить в виде

$$f(x, y, z) = z + x \cdot \operatorname{tg}\alpha - \frac{\sqrt{R^2 - y^2}}{\cos\alpha} + d = 0. \quad (5)$$

Тогда в формуле (2)

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \operatorname{tg}\alpha; \quad \frac{\partial f}{\partial y} = \frac{y}{\sqrt{R^2 - y^2} \cdot \cos\alpha}; \quad \frac{\partial f}{\partial z} = 1, \quad (6)$$

откуда

$$\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2} = \frac{R}{\sqrt{R^2 - y^2} \cdot \cos\alpha}. \quad (7)$$

Результаты и их обсуждение

Пусть рассматриваемая цилиндрическая форма расположена на поверхности сортировального решета, составляющего с осью z угол β . Так как действующей внешней силой является сила тяжести, то в уравнениях (3) $F_x = mg \sin\beta$, $F_y = 0$, $F_z = -mg \cos\beta$.

Подставляя выражения (6) и (7) в систему уравнений движения (3), получаем:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= g \sin \beta + \lambda(t) \operatorname{tg} \alpha - f_d \lambda(t) \frac{R}{\sqrt{R^2 - y^2} \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}; \\ \ddot{y} &= \lambda(t) \frac{y}{\sqrt{R^2 - y^2} \cdot \cos \alpha} - f_d \lambda(t) \frac{R}{\sqrt{R^2 - y^2} \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}; \\ \ddot{z} &= -g \cos \beta + \lambda(t) - f_d \lambda(t) \frac{R}{\sqrt{R^2 - y^2} \cdot \cos \alpha} \cdot \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Добавляя уравнение поверхности

$$z + x \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{\sqrt{R^2 - y^2}}{\cos \alpha} + d = 0, \quad (9)$$

получаем систему (8) и (9), состоящую из трех квазилинейных дифференциальных уравнения второго порядка и одного алгебраического уравнения относительно функций $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$, $\lambda(t)$.

Так как неизвестная функция $\lambda(t)$ в полученной системе входит без производных от нее, начальными условиями являются следующие соотношения:

$$x(0) = x_0, y(0) = y_0, z(0) = z_0, \dot{x}(0) = v_{x0}, \dot{y}(0) = v_{y0}, \dot{z}(0) = v_{z0}. \quad (10)$$

Задача (8) – (10) аналитического решения не имеет.

Для получения численного решения введем численные значения геометрических параметров и начальных условий.

Примем $R = 0,06$ м, величина сдвига $d = 0,4R$, поворот на угол $\alpha = 20^\circ$.

Тогда уравнение поверхности примет вид

$$f(x, y, z) = z + x \cdot 0.365 - 0.0214\sqrt{9 - 2500y^2} + 0.024, \quad (11)$$

график, которой представлен на рисунке 2.

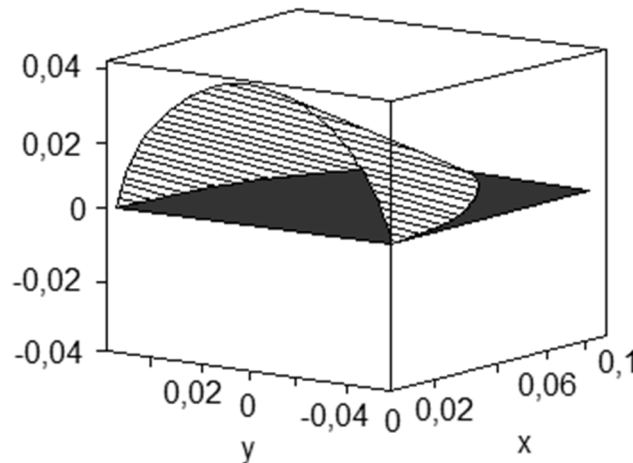


Рис. 2. Цилиндрическая рассекающая форма

При $z = 0$ получаем часть эллипса с уравнением $x = 0.0586\sqrt{9 - 2500y^2} - 0.0655$.

При $y = 0$ значение x составит $x = 0,11$ м, то есть длина рассекателя равна 0,11 м.

При $x = 0$ и $z = 0$ $y = \pm 0,0557$ м, что говорит о том, что максимальная ширина рассекателя равна 0,1144 м.

При $x = 0$ получаем часть эллипса с уравнением: $z = 0.0214\sqrt{9 - 2500y^2} - 0.024$.

При $y = 0$ значение z составит $z = 0,0184$ м, то есть максимальная высота цилиндрического рассекателя равна 0,0184 м.

Перейдем к определению начальных условий.

Первые три условия определяют начальное положение частицы зернового вороха на поверхности:

$$x(0) = 0, y(0) = y_0, z(0) = 0.0214\sqrt{9 - 2500y^2} - 0.024,$$

где $-0,0557 < y_0 < 0,0557$.

Следующие условия относятся к начальным скоростям:

$$\dot{x}(0) = v_0 \cos \alpha, \dot{y}(0) = 0, \dot{z}(0) = v_0 \sin \alpha,$$

где v_0 – начальная скорость попадания частицы на рассекающую поверхность.

После схода частиц с поверхности рассекателя, они продолжают плоское движение по сортировальному решету.

Уравнения движения имеют вид

$$m\ddot{x}(t) = mg \sin \beta - F_{\text{тр}} \sin \gamma; \quad m\ddot{y}(t) = -F_{\text{тр}} \cos \gamma, \quad (12)$$

где $F_{\text{тр}} = f_d N$;

$$N = mg \cos \beta;$$

$$\sin \gamma = \frac{\dot{x}(t)}{\sqrt{\dot{x}(t)^2 + \dot{y}(t)^2}};$$

$$\cos \gamma = \frac{\dot{y}(t)}{\sqrt{\dot{x}(t)^2 + \dot{y}(t)^2}}.$$

На рисунке 3 представлены графики движения частиц по поверхности рассекателя в плоскости $z = 0$ при $f_d = 0,25$ и различных начальных значениях y_0 , а ниже в таблице приведены скорости схода частицы с поверхности при различных начальных условиях [1, 2, 3, 8, 9, 11].

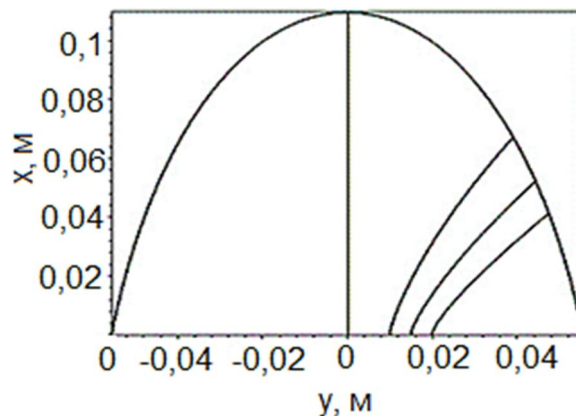


Рис. 3. Траектории движения частиц по поверхности цилиндрического рассекателя в плоскости $z = 0$

Скорости схода частицы с поверхности при различных начальных условиях

$y_0, \text{ м}$	$v_x, \text{ м/с}$	$v_y, \text{ м/с}$
0	0,715	0
0,01	0,536	0,335
0,015	0,477	0,344
0,02	0,419	0,3445

После сокращения на массу уравнения движения по плоскости решета принимают следующий вид:

$$\ddot{x}(t) = g \sin \beta - f_d g \cos \beta \frac{\dot{x}(t)}{\sqrt{\dot{x}(t)^2 + \dot{y}(t)^2}}, \quad \ddot{y}(t) = -f_d g \cos \beta \frac{\dot{y}(t)}{\sqrt{\dot{x}(t)^2 + \dot{y}(t)^2}}. \quad (13)$$

Начальными условиями для этой системы уравнений являлись координаты точки схода частиц с рассекающей формы и проекции скорости на координатные оси в точке схода. Совместное решение полученной задачи движения по рассекающей цилиндрической форме и по плоскости решета при $\beta = 8^\circ$ позволяет получить траектории движения частиц при различных положениях попадания их на начало рассекателя.

Совместная численная реализация предложенных математических моделей проводилась с использованием математического пакета символьных вычислений Maple (рис. 4) [12].

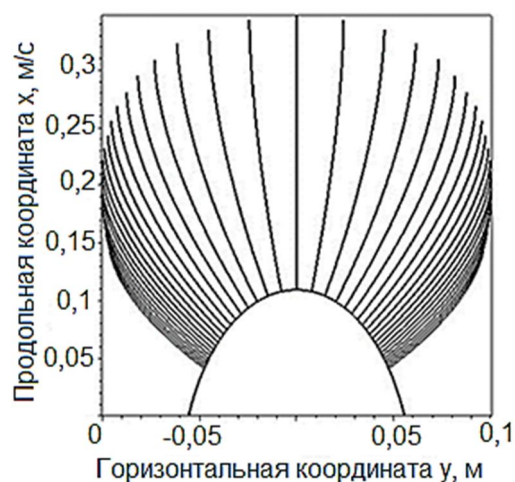


Рис. 4. Траектории движения частиц по решету при сходе с цилиндрической рассекающей формы (зона загрузки $-0,02 < y_0 < 0,02$)

Представленный на рисунке 3 реализованный циклический алгоритм позволил определить характер распределения частиц на начальной части сортировального решета в зависимости от зоны подачи материала на поверхность рассекателя и ширины зоны загрузки 0,04 м. Как видно на рисунке 4, зерновой ворох распределяется по поверхности решета на ширину 0,2 м, что меньше шага размещения секций делителя в одном ярусе. Причем на длине решета менее 0,2 м, включая сам делитель и цилиндрическую рассекающую форму, достигается равномерное распределение зернового вороха по поверхности сортировального решета.

Расчеты показали, что при увеличении зоны загрузки до 0,06 м принципиальной разницы между распределением нет, увеличивается только горизонтальная координата точек схода с рассекателя на плоскость решета.

При уменьшении геометрических размеров рассекателя ширина разброса частиц значительно уменьшается, например, при $R = 0,05$ м и величине сдвига $d = 0,5R$ она составляет не 0,2 м, как в предыдущих случаях, а 0,14 м.

Заключение

Выявлено, что за счет цилиндрической формы скатных лотков делителя зернового вороха многоярусного решетного стана можно обеспечить распределение потока зерна между тремя ярусами сортировальных решет.

Как показывают результаты математического моделирования, рационально принимать радиус поверхности $R = 0,06$ м со сдвигом центра поверхности в сторону отрицательных значений вертикальной оси z на величину $d = (0,4-0,5)R$ м, а саму поверхность устанавливать под углом к горизонтальной плоскости $\alpha = 20^\circ$.

При длине поверхности рассекателя 0,11 м распределении зернового вороха по ширине 0,14–0,2 м наблюдается на длине сортировальных решет не более 0,2 м, включая поверхность самого делителя. Продольная составляющая скорости схода частиц зернового вороха больше у оси скатной поверхности и изменяется в пределах 0,419–0,715 м/с. В этом случае ширина зоны загрузки зернового вороха или ширина единичной секции делителя должна составлять не менее 0,4 м.

Библиографический список

1. Аладьев В.З. Программирование и разработка приложений в Maple : монография / В.З. Аладьев, В.К. Бойко, Е.А. Ровба. – Гродно : ГрГУ; Таллинн : Межд. Акад. Ноосферы, Балт. отд., 2007. – 458 с.
2. Блехман И.И. Что может вибрация? О вибрационной механике и вибрационной технике / И.И. Блехман. – Москва : Наука, 1988. – 288 с.
3. Василенко П.М. Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко ; под ред. акад. М.И. Медведева. – Киев : Изд-во Укр. акад. с.-х. наук, 1960. – 283 с.
4. Гончаревич И.Ф. Теория вибрационной техники и технологии / И.Ф. Гончаревич, К.В. Фролов. – Москва : Наука, 1981. – 319 с.
5. Гиевский А.М. Пути повышения производительности универсальных зерноочистительных машин / А.М. Гиевский, В.А. Гулевский, В.И. Оробинский // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2018. – Вып. 3. – С. 12–16.
6. Движение верхнего слоя зерновой смеси на вибрирующей рифленной поверхности / С.А. Мачихин, А.А. Рындин, А.М. Васильев, А.Н. Стрелюхина // Вестник ВГУИТ. – 2018. – Т. 80, № 4. – С. 55–62.
7. Елисеев А.В. Динамика вибрационных взаимодействий элементов технологических систем с учетом неустойчивых связей / А.В. Елисеев, В.В. Сельвинский, С.В. Елисеев. – Новосибирск : Наука, 2015. – 332 с.
8. Ермольев Ю.И. Фракционные технологии и технические средства для качественной семенной очистки зерна / Ю.И. Ермольев, М.Ю. Кочкин // Агро-Маркет. – 2006. – № 5. – С. 24–25.
9. Ермольев Ю.И. Моделирование процесса функционирования зерноочистительного агрегата / Ю.И. Ермольев, М.Ю. Кочкин // Вестник Донского государственного технического университета. – 2007. – Т. 7, № 4 (35). – С. 407–417.
10. Патрин В.А. Синергетическая теория взаимодействия зерновой среды с плоскими решетками / В.А. Патрин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2013. – № 4. – С. 26–29.
11. Патрин В.А. Моделирование процесса взаимодействия зерновой среды с рабочими органами сортировальных машин / В.А. Патрин // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2008. – № 6. – С. 107–115.
12. Пат. Российской Федерации № 2708970, МПК В07В 1/28. Решетный модуль зерноочистительной машины / А.В. Чернышов, А.М. Гиевский, В.И. Оробинский, И.В. Баскаков, М.К. Харитонов; патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – № 2019110469 ; заявл. 08.04.2019 ; опубл. 13.12.2019, Бюл. № 35. – 7 с.
13. Comparative analysis of the functioning of sieve modules for grain cleaning machines / A. Butovchenko, A. Doroshenko, A. Kol'cov, V. Serdyuk // E3S Web of Conferences: Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITESE, 2019). – Russia, Krasnodar Krai, Gelendzhik District, Divnomorskoe Village, Raduga Resort; Russian Federation; 9–14 September 2019. – Vol. 135. – No. 01081. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913501081>.
14. Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine / I. Badretidinov, S. Mudarisov, M. Tuktarov, E. Dick, S. Arslanbekova // Journal of Applied Engineering Science. – 2019. – Vol. 17 (4). – Pp. 529–534.
15. PETKUS Technologie, GmbH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://russian.petkus.de/produkte/-/info> (дата обращения: 20.08.2021).
16. Studying the design and operational parameters of the sieve module of the grain cleaning machine / M.K. Kharitonov, A.M. Gievsky, V.I. Orobinsky, A.V. Chernyshov, I.V. Baskakov // IOP Conference series: Earth and Environmental science : International Conference on Technological Solutions and Instrumentation for Agribusiness (TSIA-2019), Stavropol 21–22 October, 2019. – IOP Publishing Ltd, 2020. – Vol. 488. – № 012021.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Алексей Михайлович Гиевский – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: aleksej.gievskij@mail.ru.

Владимир Павлович Шацкий – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой математики и физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: sha.vladim@yandex.ru.

Михаил Константинович Харитонов – аспирант кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: hari0007jntckbua@icloud.com.

Дата поступления в редакцию 22.08.2021

Дата принятия к печати 28.09.2021

AUTHOR CREDENTIALS

Affiliations

Aleksey M. Gievsky, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: aleksej.gievskij@mail.ru.

Vladimir P. Shatsky, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Mathematics and Physics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Mikhail K. Kharitonov, Postgraduate Student, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: hari0007jntckbua@icloud.com.

Received August 22, 2021

Accepted after revision September 28, 2021