

УДК 621.01

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ СЕМЕНИ ПРИ ВЫХОДЕ ИЗ ЖЕЛОБКА ШАЙБЫ С ЗУБЬЯМИ ПИРАМИДАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Лысый Сергей Петрович,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

кандидат технических наук, доцент кафедры «Начертательная геометрия и графика».

Романов Константин Эдуардович,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

студент.

Аннотация

В статье разработана геометрическая модель движения семени при выходе из желобка шайбы с ЗПП. В работе представлены результаты теоретических исследований: определена сила тяжести, действующая на семя G , площадь поверхности семени $S_{n.c}$, коэффициент обтекаемости K_B . Проведен сравнительный анализ угловой скорости шайбы ω , скорости семени v_0 , горизонтальной дальности вылета семени l_{max} , частоты вращения шайбы n , силы сопротивления воздуха P по разным типам поверхностей шайбы с ЗПП: стальная окрашенная, стальная неокрашенная, полимерная и алюминиевая.

Ключевые слова: шайба, геометрическая модель, желобок, угловая скорость, частота вращения.

GEOMETRIC MODEL OF THE MOVEMENT OF THE SEED WHEN EXITING THE GROOVE OF A WASHER WITH TEETH OF A PYRAMIDAL PROFILE

Lysy Sergey Petrovich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department “Descriptive Geometry and Graphics”.

Konstantin Eduardovich Romanov,

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,
student.*

Abstract

The article developed a geometric model of the movement of the seed when leaving the groove of the ZPP washer. The paper presents the results of theoretical studies: the gravity force acting on the seed G , the surface area of the seed $S_{p.s}$, the streamlining coefficient K_V are determined. A comparative analysis of the angular velocity of the washer ω , the speed of the seed v_0 , the horizontal range of the seed l_{max} , the rotation speed of the washer n , the air resistance force P for different types of surfaces of the washer with ZPP: painted steel, unpainted steel, polymer and aluminum.

Keywords: washer, geometric model, groove, angular velocity, rotation frequency.

Введение. Катущечные высевачные аппараты (КВА), выполненные в виде шайбы, широко используются при посеве семян мелкосеменных масличных культур. Однако они не в полной мере обеспечивают соблюдение агротехнических требований. Основными их недостатками являются неустойчивость общего посева, повышенная неравномерность распределения семян по длине рядка, дробление семян, что в свою очередь отрицательно сказывается на качестве посева. Исходя из этого, данный вопрос требует дальнейших теоретических обоснований и новых конструкторских решений. В связи с этим, нами проведены теоретические исследования экспериментального высевачного аппарата с катушкой, выполненной в виде шайбы с зубьями пирамидального профиля (ЗПП) для посева семян мелкосеменных масличных культур.

Следует отметить, что для устойчивой работы экспериментального КВА необходимы следующие основные условия:

- 1) при работе семена не должны подвергаться дроблению;
- 2) мелкие семена должны полностью заполнять желобки шайбы.

В связи с этим основной **целью** нашего исследования является разработка геометрической модели движения семени при выходе из желобка шайбы с ЗПП.

В работе были поставлены следующие **задачи**:

- определить площадь поверхности семени $S_{n,c}$, коэффициент обтекаемости K_B , силу тяжести, действующей на семя G ;
- провести сравнительный анализ угловой скорости шайбы ω , скорости семени v_0 , горизонтальной дальности вылета семени l_{max} , частоты вращения шайбы n , силы сопротивления воздуха P по разным типам поверхностей шайбы с ЗПП: стальная окрашенная, стальная неокрашенная, полимерная и алюминиевая.

Рассмотрим геометрическую модель движения семени при выходе из желобка шайбы с ЗПП (рис. 1).

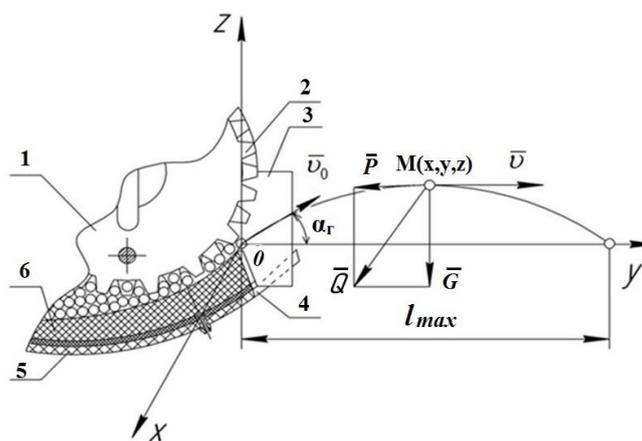


Рисунок 1 – Геометрическая модель движения семени при выходе из желобка шайбы с ЗПП: 1 – шайба с ЗПП; 2 – ЗПП; 3 – ограничительная пластина; 4 – скос донца; 5 – донце; 6 – утолщение

Определим уравнение траектории движения семени, выброшенного шайбой с ЗПП со скоростью \bar{v}_0 под углом α_r к горизонту в вертикальной

плоскости. При этом будем учитывать силу сопротивления воздуха \bar{P} . Примем семя за материальную точку M . Точку O примем за начало прямоугольной декартовой системы координат, в плоскости ZOY [1, 2].

Для определения равнодействующей силы \bar{Q} материальной точки M используем формулу (1):

$$\bar{Q} = \bar{G} + \bar{P}, \quad (1)$$

где \bar{G} – сила тяжести, действующая на точку M , Н;

\bar{P} – сила сопротивления воздуха, Н.

Для расчета силы тяжести используем формулу (2):

$$\bar{G} = mg, \quad (2)$$

где m – масса точки M , $m = 0,003 \cdot 10^{-3}$ кг;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,8$ м/с².

Силу сопротивления воздуха определим по формуле (3):

$$\bar{P} = -K_B S_{\text{п.с.}} \bar{v}^2, \quad (3)$$

где K_B – коэффициент обтекаемости, $\frac{\text{Нс}^2}{\text{м}^4}$;

$S_{\text{п.с.}}$ – площадь поверхности семени, м²;

\bar{v} – скорость точки M , м/с.

Коэффициент обтекаемости K_B определяется по формуле (4):

$$K_B = \frac{1}{2} k \rho g, \quad (4)$$

где k – коэффициент сопротивления воздуха, $k = 0,02$;

ρ – плотность воздушной среды, $\rho = 1,293 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Площадь поверхности семени $S_{\text{п.с.}}$ определяется по формуле (5):

$$S_{\text{п.с.}} = \frac{\pi d_c^2}{4}, \quad (5)$$

где d_c – средний диаметр семени, $d_c = 0,002$ м [4].

По результатам расчетов формул (2), (4), (5) получены следующие

данные: $G = 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$, $S_{\text{п.с}} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$, $K_{\text{В}} = 0,1 \frac{\text{Нс}^2}{\text{М}^4}$.

При подстановке формулы (4) в уравнение (3) Q будет иметь вид:

$$Q_x = -\frac{1}{2}k\rho g S_{\text{н.с.}} v_x^2 = -\frac{1}{2}k\rho g S_{\text{н.с.}} \dot{x}; \quad (6)$$

$$Q_y = -\frac{1}{2}k\rho g S_{\text{н.с.}} v_y^2 = -\frac{1}{2}k\rho g S_{\text{н.с.}} \dot{y}; \quad (7)$$

$$Q_z = -\frac{1}{2}k\rho g S_{\text{н.с.}} v_z^2 = -mg - \frac{1}{2}k\rho g S_{\text{н.с.}} \dot{z}. \quad (8)$$

Начальными условиями движения точки M являются:

$$t = 0; x = 0; y = 0; z = 0; v_x = 0; v_y = v_0 \cos \alpha; v_z = v_0 \sin \alpha. \quad (9)$$

После преобразования уравнений (6-8) получим следующую систему уравнений (10):

$$\begin{cases} v_x = C_1 e^{-kt}; \\ v_y = C_2 e^{-kt}; \\ v_z = -g/k - C_3 e^{-kt}. \end{cases} \quad (10)$$

Подставляя значения постоянных интегрирования в выражение (10), получим систему уравнений (11):

$$\begin{cases} dx/dt = 0; \\ dy/dt = v_0 \cos \alpha e^{-kt}; \\ dz/dt = (g/k + v_0 \sin \alpha) e^{-kt} - g/k. \end{cases} \quad (11)$$

Проинтегрировав каждое дифференциальное уравнение первого порядка, разделяя переменные в формуле (11), получим систему уравнений (12):

$$\begin{cases} x = C_4; \\ y = \frac{-v_0 \cos \alpha}{k} e^{-kt} + C_5; \\ z = -\frac{1}{k} (g/k + v_0 \sin \alpha) e^{-kt} - \frac{g}{k} t + C_6. \end{cases} \quad (12)$$

При подстановке постоянных значений в формулу (12) получим систему уравнений (13):

$$\begin{cases} x = 0; \\ y = v_0 \cos \alpha / k(1 - e^{-kt}); \\ z = \frac{1}{k}(g/k + v_0 \sin \alpha)(1 - e^{-kt}) - \frac{g}{k}t. \end{cases} \quad (13)$$

Искомые уравнения движения точки M являются выражения (13). По правилу Лопиталья нужно раскрыть неопределенности для получения значений x_1, y_1, z_1 . Координата y_1 определяется по формуле (14):

$$\begin{aligned} y_1 &= v_0 \cos \alpha \lim_{k \rightarrow 0} \frac{1 - e^{-kt}}{k} = v_0 \cos \alpha \lim_{k \rightarrow 0} \frac{(d/dk)(1 - e^{-kt})}{dk/dk} = \\ &= v_0 \cos \alpha \lim_{k \rightarrow 0} \frac{te^{-kt}}{1} = v_0 t \cos \alpha. \end{aligned} \quad (14)$$

Предел z определяется по формуле (15):

$$z = \frac{g(1 - e^{-kt} - kt)}{k^2} + \frac{v_0 \sin \alpha(1 - e^{-kt})}{k}. \quad (15)$$

После преобразования выражение (15) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} z_1 &= g \lim_{k \rightarrow 0} \frac{(d^2/dk^2)(1 - e^{-kt} - kt)}{(d^2/dk^2)k^2} + v_0 \sin \alpha \lim_{k \rightarrow 0} \frac{(d/dk)(1 - e^{-kt})}{dk/dk} = \\ &= g \lim_{k \rightarrow 0} \frac{-t^2 e^{-kt}}{2} + v_0 \sin \alpha \lim_{k \rightarrow 0} \frac{te^{-kt}}{1} = -\frac{gt^2}{2} + v_0 t \sin \alpha. \end{aligned} \quad (16)$$

При окончательном решении уравнений (13-16) будем иметь уравнение движения точки M под действием одной силы тяжести (17):

$$\begin{cases} x_1 = 0; \\ y_1 = v_0 t \cos \alpha; \\ z_1 = v_0 t \sin \alpha - gt^3 / 2. \end{cases} \quad (17)$$

Исключив время t из уравнения (17), получим систему уравнений (18):

$$\begin{cases} x_1 = 0; \\ z_1 = y_1 \operatorname{tg} \alpha - \frac{gy_1^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha}. \end{cases} \quad (18)$$

В формуле (18) $z_1 = 0$, тогда y_1 при этом будет выражать дальность вылета l по горизонтали точки M :

$$l = (2v_0^2 \cos \alpha \sin \alpha) / g = (v_0^2 \sin 2\alpha) / g. \quad (19)$$

После преобразования выражения (19), получим максимальную горизонтальную дальность вылета l_{\max} точки M :

$$l_{\max} = v_0^2 / g. \quad (20)$$

Для расчета скорости v_0 точки M используем формулу (21):

$$v_0 = \omega R, \quad (21)$$

где ω – угловая скорость шайбы, с^{-1} ;

R – радиус шайбы, $R = 0,025$ м.

Угловая скорость шайбы определяется по формуле (22):

$$\omega = \sqrt{k_C g / R}, \quad (22)$$

где k_C – коэффициент статического трения семян.

Частота вращения шайбы определяется согласно формуле (23):

$$n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{k_C g}{R}}. \quad (23)$$

Подставив числовые значения в выражения (3), (20-23), получены следующие результаты:

1) при $k_C = 0,07$ для стальной окрашенной поверхности шайбы с ЗПП $\omega = 5,2 \text{ с}^{-1}$, $v_0 = 0,13 \text{ м/с}$, $l_{\max} = 0,0017 \text{ м}$, $P = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Н}$, $n = 49 \text{ мин}^{-1}$;

2) при $k_C = 0,05$ для стальной неокрашенной поверхности шайбы с ЗПП $\omega = 4,4 \text{ с}^{-1}$, $v_0 = 0,11 \text{ м/с}$, $l_{\max} = 0,0012 \text{ м}$, $P = 3,6 \cdot 10^{-9} \text{ Н}$, $n = 42 \text{ мин}^{-1}$;

3) при $k_C = 0,03$ для полимерной поверхности шайбы с ЗПП $\omega = 3,4 \text{ с}^{-1}$, $v_0 = 0,08 \text{ м/с}$, $l_{\max} = 0,0006 \text{ м}$, $P = 1,8 \cdot 10^{-9} \text{ Н}$, $n = 32 \text{ мин}^{-1}$;

4) при $k_C = 0,08$ для алюминиевой поверхности шайбы с ЗПП $\omega = 5,6 \text{ с}^{-1}$, $v_0 = 0,14 \text{ м/с}$, $l_{\max} = 0,0020 \text{ м}$, $P = 5,7 \cdot 10^{-9} \text{ Н}$, $n = 53 \text{ мин}^{-1}$.

Заключение. В работе нами разработана геометрическая модель движения семени при выходе из желобка шайбы с ЗПП. Определены следующие показатели: $S_{\text{п.с}} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$, $K_B = 0,1 \text{ Нс}^2/\text{м}^4$, $G = 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$. Сравнительный анализ показал, что минимальные числовые результаты ω , v_0 ,

l_{\max} , n , P достигаются при использовании полимерной поверхности шайбы с ЗПП. В связи с тем, что сила сопротивления воздуха P очень мала по сравнению с силой тяжести $G = 0,03 \cdot 10^{-3}$ Н, ей стоит пренебречь при дальнейших исследованиях.

Библиографический список:

1. Кувайцев, В.Н. Исследование движения семени на выходе из высевающего аппарата с катушкой в виде шайбы с мелкозубчатым профилем / В.Н. Кувайцев, И.В. Бычков, С.П. Лысый // Ресурсосберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства: сб. материалов II Междунар. НПК. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. С. 32-35.

2. Кувайцев, В.Н. Исследование движения семени после выхода из высевающего аппарата с катушкой в виде шайбы с мелкозубчатым профилем / В.Н. Кувайцев, С.Д. Загудаев, С.П. Лысый // Ресурсосберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства: сб. материалов II Междунар. НПК. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. С. 36-39.

3. Лепаров, М.Н. О геометрических основах проектирования технического объекта / М.Н. Лепаров // Геометрия и графика. 2023. Т. 11. № 4. С. 3-14. DOI: <https://naukaru.ru/en/nauka/article/75834/view>.

4. Лысый С.П. Проектирование изделий в программе Компас-3D / С.П. Лысый, А.И. Гнусарев // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2024. № 1 (50). С. 178-183.