

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЩЕТОЧНОГО РАЗРАВНИВАТЕЛЯ СЕМЯН

**Мачкарин А.В., к.т.н. доцент, Рыжков А.В., к.т.н. доцент**  
(ФГБОУ ВПО «Белгородская ГСХА имени В.Я. Горина», г. Белгород, Россия)

*В статье речь идет о дозировании высеваемых материалов, и определении пропускной способности щеточного разравнивателя семян.*

В настоящее время находят все более широкое распространение сеялки прямого посева с централизованным высевом. В них осуществляется принцип централизованного дозирования высеваемых материалов с последующим распределением по сошникам [1,2].

Несовершенство применяемых рабочих органов, необходимость снижения затрат на производство зерна, а также различные почвенно-климатические условия ведут к существенному ухудшению качества посева. Анализ работы сеялок прямого посева выявил необходимость совершенствования их дозирующей системы в соответствии с требуемыми технологическими нормами.

Объем семян поступающих на желоб составил:

$$V_1 = \frac{Q_3 \times T}{\rho} \quad (1),$$

где,  $T$  - время, с;  $Q_3$  - производительность, кг ч,  $\rho$  - плотность семян, кг/м<sup>3</sup>.

Время  $T$  можно представить как:

$$T = \frac{S}{v_\delta} \quad (2),$$

где,  $S$ -путь, проходящий семенами за время  $T$ , м;  $v_\delta$  -линейная скорость семян, м/с.

$$V_1 = \frac{Q_3 \times S}{\rho \times v_\delta} \quad (3).$$

Наблюдения показали, что геометрический объем  $V_1$  имеет форму усеченного конуса, поперечное сечение которого представляет собой равнобокую трапецию с углом  $\gamma$  основания равным углу естественного откоса семян  $\xi$ .

Выразим объем через геометрические параметры:

$$V_1 = \frac{1}{3} \pi H_K (r_K^2 + r_K R_K + R_K^2) \quad (4),$$

где,  $H_K$  - высота конуса, мм;  $r_K$  и  $R_K$ -радиусы верхнего и нижнего основания.

Радиус верхнего основания конуса  $r_K$  можно записать с учётом ширины загрузочного отверстия  $b_0$ .

$$r_K = kb_0, \quad (5),$$

где,  $k$  - коэффициент, учитывающий отношение радиуса  $r_K$  верхнего основания конуса объёмом  $V$  к ширине желоба  $b_0$ .

Высота конуса при трапеции ABCD, (рисунок 1), можно вычислить по формуле:

$$H_K = (R_K - r_K) \operatorname{tg} \xi, \quad (6).$$

Используя выражение (4), (6) и произведя некоторые математические преобразования [3], запишем уравнение:

$$V_1 = \frac{1}{3} \pi \operatorname{tg} \xi (R_K^3 - r_K^3), \quad (7).$$

Откуда находим:

$$R_K = \sqrt[3]{\frac{3V_1}{\pi \operatorname{tg} \xi} + r_K^3}, \quad (8).$$

Подставив значение  $R_K$  в уравнение (6) имеем:

$$H_K = \operatorname{tg} \xi \left( \sqrt[3]{\frac{3V_1}{\pi \operatorname{tg} \xi} + r_K^3} - r_K \right) \quad (9).$$

Выразив в уравнении (8) и (9) величину  $R_K$  через параметры разравнивающего устройства (см. выражение 3) получим:

$$R_K = \sqrt[3]{\frac{3Q_3 S}{\pi V_\delta \rho \operatorname{tg} \xi} + k^3 b_0^3} \quad (10)$$

и

$$H_K = \operatorname{tg} \xi \left( \sqrt[3]{\frac{3Q_3 S}{\pi V_\delta \rho \operatorname{tg} \xi} + K^3 b_0^3} - k^3 b_0^3 \right) \quad (11).$$

Анализ полученных выражений показывает, что геометрические размеры объёма  $V_1$  зависят от параметров характеризующих режим работы разравнивающего устройства и машин, с помощью которых производится загрузка желоба ( $Q_3, V_\delta$ ), их конструктивные параметры ( $S$  и  $b_0$ ) и физико-механических свойств семян ( $\rho$  и  $\xi$ ).

Для того, что бы условия работы разравнивающего устройства, при установившемся режиме, в течение всего процесса посева были одинаковыми необходимо выполнение следующего условия:

$$V_1 \approx V_2 \approx V_3 \approx \dots \approx V_n = \frac{Q_3 t}{n} \quad (12),$$

где,  $t$ -время работы,  $n$ - число периодов остановок загрузочного устройства.

Условие (12) выполнимо в том случае, если при движении желоба освобождается площадь, на которую опирается объём семян  $V_1$ , т.е. семена будут распределяться на незаполненные участки желоба [3].

Если часть семян будет оставаться на этой площади, то объём последующих слоёв будет возрастать. По технологической схеме щетка должна перемещать перед собой семена без перебрасывания.

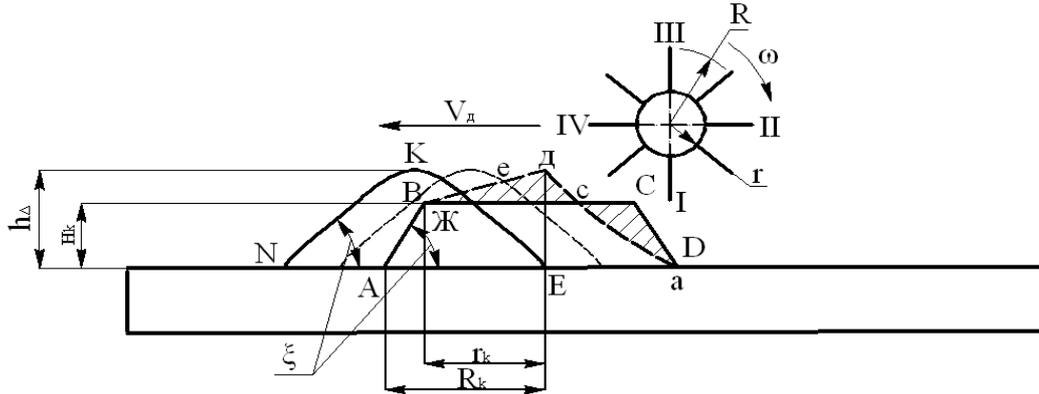


Рисунок 1 - Расчетная схема к обоснованию параметров щеточного разравнивателя семян

Рассмотрим более подробно процесс перемещения семян щеткой. Отделяемая от объёма  $V_1$  щеткой порция семян, площадью  $abc$  сбрасывается на верхнее основание трапеции  $ABCD$  и занимает объём с поперечным сечением  $cdj$ , и также сбрасывается на основание трапеции. Объём  $V_1$ , в конечном счете, меняется как по форме, так и по размерам, т.е. трапеция  $ABCD$  переходит в равнобедренный треугольник  $NKE$  с высотой  $h$  и углом равным углу естественного откоса  $\zeta$ . Площадь трапеции  $F_{\text{трап.}ABCD}$  равна площади треугольника  $F_{\text{треуг.}NKE}$ , т.е.

$$F_{ABCD} = F_{NKE}, \quad (13)$$

или

$$\left( \frac{AD + BC}{2} \right) \times H_k = \frac{1}{2} NEh, \quad (14).$$

Принимая что,

$$(AD + BC) \times H_k = NEh \quad (15)$$

$AD = 2R = D_k$  -нижнее основание трапеции (диаметр усечённого конуса),

м.

$BC = 2r_K = d_K$  -верхнее основание трапеции (диаметр усечённого конуса),

м.

$NE = l_{\square}$  -длина основания  $\Delta NKE$ , м.

Запишем

$$(D_K + d_K) \times H_K = l_{\square} h_{\square}, \quad (16)$$

В уравнении (16) неизвестная  $l_{\square} h_{\square}$ . Для их определения составим уравнение, исходя из того, что  $\Delta NKE$  - равнобедренный, а углы в его основании равны углу естественного откоса семян [4,5].

Тогда,

$$h_{\square} = \frac{l_{\square}}{2} \operatorname{tg} \xi, \quad (17)$$

Подставляя выраженное  $h_{\square}$  в уравнение (16) и решая его получим:

$$l_{\square} = \sqrt{\frac{2H_K(D_K + d_K)}{\operatorname{tg} \xi}}, \quad (18)$$

Тогда можно записать, что

$$h_{\square} = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \xi \sqrt{\frac{2H_K(D_K + d_K)}{\operatorname{tg} \xi}}, \quad (19).$$

Подставляя в уравнение (18) и (19) и делая, ряд математических преобразований получим:

$$l_{\square} = \sqrt{4 \times \left[ \left( \sqrt[3]{\frac{3Q_S}{\pi \rho V_{\delta} \operatorname{tg} \xi} + K^3 b_0^3} \right) - K^2 b_0^2 \right]},$$

$$h_{\square} = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \xi \sqrt{4 \times \left[ \left( \sqrt[3]{\frac{3Q_S}{\pi \rho V_{\delta} \operatorname{tg} \xi} + K^3 b_0^3} \right)^2 - K^2 b_0^2 \right]} \quad (20)$$

Разравнивание семян на желобе должно происходить без перебрасывания семян через щетку. Для этого высота треугольника  $NKE$  не должна превышать своего допустимого значения ( $h_{\Delta} \leq h_{\Delta \text{ доп.}}$ ). При расчёте высевающих аппаратов применяемых в системах загрузки, высота треугольника  $h_{\Delta}$  берётся меньше радиуса или равной ему. Однако учитывая что, рассматриваемый параметр определяет объём  $V_1$ , а следовательно и пропускную способность разравнивающего устройства  $Q_p$ , можно увеличить высоту  $h_{\Delta \text{ доп.}}$  путём выбора угловой скорости щетки и установки счесывающих прутков под некоторым углом к его радиусу, условившись при этом, что сброс частиц с прутков возможен при их горизонтальном положении [4,5].

Предельный угол  $\beta_2$  отклонения прутков от радиуса щетки определяется исходя из условия, что результирующая сила  $P$  воздействия прутков на семена

в начальный момент счёсывания направлена горизонтально, что захват семян происходит без уплотнения.

Это возможно если,

$$\beta_2 - \psi \leq \varphi_1,$$

где  $\psi$  - угол поворота радиуса щетки;  $\varphi_1$  - угол трения прутков щетки о семена.

Зная длину прутков  $l_n$  и пользуясь теоремой синусов, определим для этих условий угол  $\beta_2$ .

$$\beta_2 = \text{arctg} \frac{R \cos \varphi_c - l_n}{R \sin \varphi}, \quad (21).$$

где  $\varphi_c$  - угол трения семян по стенке.

Приняв во внимание, что семена сходят со щетки при их горизонтальном положении, можно записать величину приращения высоты семенного валика перед щеткой за счёт установки прутков под углом  $\beta$  к радиусу.

$$\Delta h_{\text{доп.}} = r \sin \beta;$$

а высоту вороха зерна

$$\Delta h_{\text{доп.}} \leq R + r \sin \beta. \quad (22).$$

Определив  $\Delta h_{\text{доп.}}$ , можно найти допустимый объём семян  $V_{1\text{доп.}}$ , который подаётся в центр желоба, что бы при выбранных параметрах щетки - ( $R$ ,  $r$ ,  $l_n$  и  $\beta$ ), высота семенного вороха, получаемого в результате последующего перемещения семян не превышая допустимого значения  $\Delta h_{\text{доп.}}$ . При этом исходим из следующих рассуждений. Как было указано выше, в начальный момент перемещения семян прутками щетки  $F\triangle ABCD = F_{\triangle NKE}$ , или  $F_{\square \text{доп.}} = F_{\triangle \text{доп.}}$ .

Площадь  $F_{\square \text{доп.}}$  можно записать:

$$F_{\square \text{доп.}} = \left( \frac{R_{K\text{доп.}} + K_b}{2} \right) \times H_{K\text{доп.}} \quad (23).$$

где  $R_{K\text{доп.}}$  - радиус нижнего основания усечённого конуса объёма семян;  $r_K = K_b$  - радиус верхнего основания конуса;  $H_{K\text{доп.}}$  - допустимая высота конуса.

Величину  $H_{K\text{доп.}}$  можно представить и так:

$$H_{K\text{доп.}} = \left( \frac{R_{K\text{доп.}} - K_{b_0}}{\text{tg} \xi} \right), \quad (24).$$

Запишем площадь треугольника:

$$F_{\square \text{доп.}} = \frac{1}{2} h_{\square \text{доп.}} \times l_{\square \text{доп.}},$$

$l_{\triangle \text{доп.}}$  - длина основания треугольника:

$$l_{\square \partial on} = \frac{2h_{\square \partial on}}{\operatorname{tg} \xi},$$

тогда,

$$F_{\square \partial on} = \frac{h_{\square \partial on}^2}{\operatorname{tg} \xi},$$

учитывая, что  $F_{\Delta \text{ доп.}} = F_{\square \text{ доп.}}$ , имеем

$$\frac{h_{\square \partial on}^2}{\operatorname{tg} \xi} = \frac{(R_{K \partial on} + Kb_0)(R_{K \partial on} - Kb_0)}{2\operatorname{tg} \xi} \quad (25),$$

откуда:

$$R_{\partial on} = \sqrt{2h_{\square \partial on}^2 + K^2 b_0^2}, \quad (26).$$

Подставим выражение (26) в (24), получаем

$$H_{K \partial on} = \frac{\sqrt{(R + r \sin \beta_2)^2 + K^2 b_0^2} - Kb_0}{\operatorname{tg} \xi} \quad (27).$$

Из выражения (12) находим:

$$V_{1 \partial on} = \frac{\pi(H_{\partial on}^3 + 3H_{\partial on}^2 Kb_0 \operatorname{tg} \xi + 3H_{\partial on} K^2 b_0 \operatorname{tg}^2 \xi)}{3\operatorname{tg}^5 \xi} \quad (28).$$

Подставив в уравнение (28) выражение (27) и делая, ряд преобразований имеем:

$$\begin{aligned} V_{1 \partial on} = & \frac{1.04}{\operatorname{tg}^5 \xi} \left[ \sqrt{2(R + r \sin \beta_2)^2 + K^2 b_0^2} \times \right. \\ & \times \left\{ (R + r \sin \beta_2)^2 + K^2 b_0^2 \left[ (\operatorname{tg}^2 \xi - 1)^2 + 1 \right] \right\} - \\ & \left. - 6Kb_0 \left[ (R + r \sin \beta_2)^2 (1 - \operatorname{tg}^2 \xi) \right] + 3K^3 b_0^3 \left[ (\operatorname{tg}^2 \xi - 1) - \frac{1}{3} \right] \right], \quad (29), \end{aligned}$$

где  $R$ -радиус щетки по концам прутков;  $r$  - радиус цилиндрической части щетки.

Пропускную способность выравнивающей щетки можно определить по формуле [4,5]:

$$Q_P = \frac{V_{1 \partial on} V_{\delta} \rho}{S}, \quad (30).$$

Скорость движения желоба:

$$V_{\delta} = \frac{Q_P S}{V_{1 \partial on} \beta}, \quad (31),$$

где  $S$  – путь, проходимый семенами за время  $T$ .

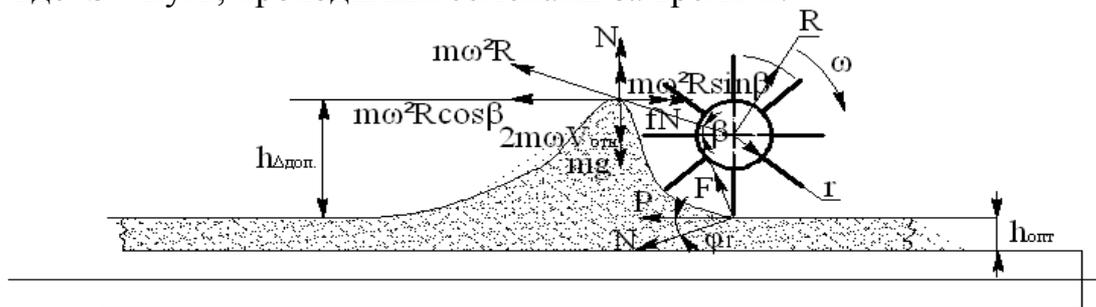


Рисунок 2 - Схема сил к обоснованию параметров щеточного разравнивателя семян

Величина  $S$  для желоба определяется из уравнения:

$$S = L - 2R - 2\Delta l, \quad (32),$$

где  $L$  – длина от желоба до щетки;  $\Delta l$  – расстояние от конца желоба до нижней кромки щетки.

При определении  $V_{1\text{доп.}}$ , а следовательно и пропускной способности щетки, принималось условие, что семена при вращении щетки сходят с его прутков при горизонтальном их положении.

Семена будут перемещаться вдоль прутков с относительной скоростью  $V_{\text{отн.}}$  и по окружности с переносной скоростью  $V_{\text{пер.}}$ , а в абсолютном движении со скоростью  $V_{\text{а.}}$ . На семена в плоскости прутков будут действовать следующие силы: сила тяжести частицы  $mg$ , центробежная сила  $m\omega^2 r_0$  (где  $r_0$  – расстояние от оси вращения щетки до семян), Кориолиса  $2m\omega V_{\text{отн.}}$ , нормальная реакция  $N$ . Примем, что начало схода семян с прутка будет при повороте радиуса от вертикали на угол  $\psi = \frac{\pi}{2}$ , конец схода, когда пруток расположен горизонтально.

За этот период радиус повернется на угол  $\beta_2$ , равный углу отклонения прутка от радиуса. Длительность поворота  $t$  в разрезе при этом составит:

$$t = \frac{\beta_2}{\omega} \quad (33).$$

Условие сброса семян щеткой, расположенной горизонтально (в конце схода частицы  $r = R$ ) можно представить следующим выражением:

$$m\omega^2 R \cos \beta_2 \geq fm(2\omega V_{\text{отн.}} + g - \omega^2 R \sin \beta_2) \quad (34),$$

где  $\omega$  - угловая скорость щетки;  $R$  - радиус щетки по концам прутков;  $f$  - коэффициент трения семян о материал прутков;  $\beta_2$  - угол отклонения прутков от радиуса щетки;  $V_{\text{отн.}}$  – относительная скорость перемещения семян по прутку.

Приняв относительную скорость равномерной, и учитывая выражение (33) запишем:

$$V_{\text{отн.}} = \frac{l_n \omega}{\beta_2}, \quad (35),$$

где  $l_n$  – длина прутков.

Из выражения (34), приняв во внимание (35), получим формулу для определения минимальной величины угловой скорости, при которой семя свободно сходит с прутка:

$$\omega = \frac{\sqrt{[R\beta_2(\cos \beta_2 + f \sin \beta_2) - 2fl_n] \operatorname{tg} \beta_2}}{R\beta(\cos \beta_2 - f \sin \beta_2) - 2fl_n}, \quad (36).$$

На качественные показатели работы разравнивающей щетки существенное влияние указывает угол  $x$  наклона прутков с пальцами относительно оси щетки.

Вследствие наклона прутков происходит перемещение семян в направлении, поперечном движению желоба.

В целях определения наивыгоднейшего угла  $x$  рассмотрим схему движения семян в продольном и поперечном направлении при условии, что загрузка желоба ведется в среднюю часть желоба высевающего аппарата [4,5].

Как видно из схемы (рисунок 2), более равномерное распределение будет в том случае, когда семена, перемещаясь щеткой в незаполненные места желоба.

Тогда величину угла  $x$  можно определить из условия, что часть семян будет смещаться по желобу в правую и левую части желоба на величину  $R_k$  нижнего основания объема порции семян  $V_1$ . Тогда угол  $x$  можно записать:

$$\operatorname{tg} x = \frac{L}{2R_k}.$$

Подставляя значение  $R_k$  по формуле (10) получим:

$$x = \operatorname{arctg} \frac{L}{\sqrt{\frac{3QS}{\pi\rho V_\delta \operatorname{tg} \xi} + K^3 b_0^3}}.$$

Анализ выражений (28) и (29) показывает, что пропускную способность разравнивающего устройства зависит от радиуса  $R$ , скорости движения желоба  $V_\delta$ , скорости подачи  $S$  и физико-механических показателей семян - плотности  $\rho$  и угла естественного откоса  $\xi$ .

**Вывод.** Получены уравнения характеризующее условие сброса семян щеткой (35), и значения минимальной величины угловой скорости (36), при которой семя свободно сходит с прутка.

## Список литературы

1. Булавин С.А., Рыжков А.В., Мачкарин А.В. Сеялка для прямого посева // Сельский механизатор. - 2007. - №6. С. 16.
2. Овсянников А.А., Овсянников С.А. Условия равномерного высева семян // 2002. № 1. С. 8-9.
3. Попов, А.Ю. Оценка качества дозирования семян аппаратами точного высева // Ресурсосбережение в сельскохозяйственном производстве: сборник

научных трудов. Ростов-на-Дону: ФГОУ ДПО «РИПКК АПК», 2009. - С.114-118.

4. Мачкарин А.В. Повышение эффективности выращивания зерновых с разработкой и обоснованием оптимальных параметров сеялки прямого посева: Автореф. дис. канд. техн. наук. - Мичуринск – Научоград РФ, 2009. - 18 с.

5. Яковец, А.В., Шумаков В.В. Улучшение равномерности распределения семян пропашных культур // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2012. - № 1 (26). - С. 46-50.

## **Abstract**

### **Theoretical bases of a brush level seeds**

A. Machkarin, A. Ryzhkov

*The article focuses on dosing of sowing materials, and determine bandwidth brush level seeds.*

## **Анотація**

### **Теоретичні основи щіткового розрівнювати насіння**

Мачкарин А.В., Рижков А.В.

*В статті мова йде про дозуванні висіваються матеріалів, і окреслення пропускнуї здатності щіткового розрівнювати насіння.*