

ОЦЕНКА И СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗБРОСА СЕМЯН СЕМЯПРОВОДОМ ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКИ

Мельников Д.Г., Игнатенко И.В., Бабенко О.С.

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. В настоящее время агронаука проявляет интерес к технологиям разбросного посева, выгодно отличающихся от существующего рядового посева повышением обеспеченности семян площадями питания и использования площади поля - важных факторов повышения урожайности зерновых культур. Его реализация требует изучения процессов разброса семян и разработки соответствующих технических средств. Они могут быть активными и пассивными. Из них наиболее просты средства, использующие естественные процессы турбулизации процесса движения семян в семяпроводах сеялок.

Ключевые слова. Семяпровод, сошник, зерновые сеялки

SYSTEM OF INDICATORS OF SEED DISTRIBUTION BY SEEDS BY THE GRAIN SEED PIPELINE

Melnikov D.G., Ignatenko I.V., Babenko O.S.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Annotation. Currently, agricultural science is showing interest in the technologies of spread sowing, which compares favorably with the existing ordinary sowing by increasing the supply of seeds with nutritional areas and the use of field area, which are important factors in increasing the yield of grain crops. Its implementation requires studying the processes of seed dispersal and the development of appropriate technical means. They can be active and passive. Of these, the most simple means using the natural processes of turbulization of the process of movement of seeds in the seed tubes of seeders.

Keywords. Seed line, coulter, grain seeders

Актуальность темы. В настоящее время агронаука проявляет интерес к технологиям разбросного посева, выгодно отличающихся от существующего рядового посева повышением обеспеченности семян площадями питания и использования площади поля - важных факторов повышения урожайности зерновых культур. В идеальном случае площадь питания каждого семени должна иметь форму круга без перекрытия с соседними. Такое распределение площадей питания по полю даёт идеально распределённый посев безо всяких междурядий. Однако его реализация пока не получается; проблемой стало отсутствие соответствующих сошников-распределителей.

Разбросной полосовой способ посева зерновых культур, когда семена разбрасываются полосами шириной до 200 мм, реализует идеальный разбросной посев приближённо, но имеет ряд разработанных конструкций лаповых и дисковых сошников, на функционирование которых оказывают влияние процессы разброса семян на выходе семяпровода.

Семяпроводы, получившие широкое распространение в зерновых сеялках, обычно представляют извилистую трубку с вертикальными, наклонными и круговыми участками (рис. 1).

Целью исследования является оценка возможности получения полосы сева за счёт естественного разброса семян на выходе извилистого трубчатого семяпровода.

Рассмотрим процесс доставки семян в борозду трубчатым семяпроводом. Как правило, извилистая форма состоит из прямых и закруглённых участков (рис. 2).

Весь процесс разбивается на два различных процесса: движение семян по извилистому семяпроводу и свободное падение семян в борозду.

Моделирование движения семян. Извилистый семяпровод всегда можно разбить на несколько типовых участков (рис. 1) со своим характером движения:

- участок АВ – вертикальное падение от высевающей катушки,
- участок ВС – поворот к наклонному участку,
- участок CD – движение по наклонному участку;
- участок DE – поворот к вертикальному участку;
- участок EG – вертикальный участок с возмущённым движением.

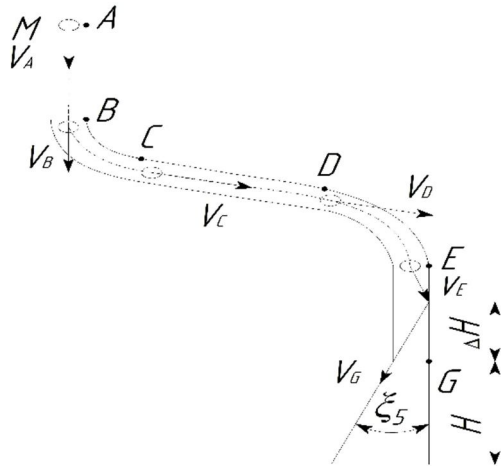


Рисунок 1 - Расчётная схема доставки семян на дно борозды по трубчатому семяпроводу

Моделям движения семян в семяпроводе, заложенных ак. Василенко П.М. [3], посвящено много работ, в которых движение семян рассматривается по разным участкам с учетом различных факторов. Проанализируем модели движения семянки на каждом этапе только на предмет изменения скоростей и наличия соударений семян о стенки семяпровода.

Участок АВ. Из дозатора высеивающего аппарата зерновка поступает на вертикальный участок АВ семяпровода с вертикальной скоростью V_A , и падает вниз до точки В. Это типовая задача в механике о падении тела в поле силы тяжести с начальной скоростью $V_0=V_A$. С учётом сопротивления воздуха скорость V_B в конце участка АВ будет:

$$V_B^2 = \frac{1}{k} [(g - kV_A^2)e^{-2kL_{AB}} - g] \quad (1)$$

где k – коэффициент сопротивления воздуха; L_{AB} – длина участка АВ.

Если пренебречь сопротивлением воздуха $k \rightarrow 0$, то, раскрыв неопределённость, получим общеизвестную формулу физики:

$$V_B = \sqrt{V_A^2 + 2gL_{AB}} \quad (2)$$

Приращение вертикальной скорости на 1-ом участке $\Delta V_1=V_B$ положительно; соударения о стенки семяпровода согласно модели отсутствуют.

Второй участок ВС – криволинейный круговой радиуса r (рис. 2, а), P – сила тяжести и нормальная реакция N приложены к точке М.

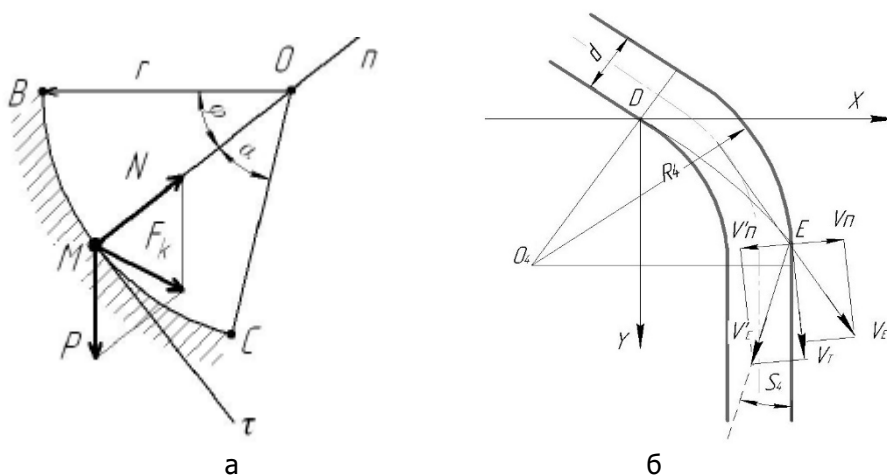


Рисунок 2 - Схема движения зерновки на криволинейных участках семяпровода: а – на вогнутом участке ВС; б – на выпуклом участке DE

Движение материальной точки в проекциях на оси триэдра описывается дифференциальными уравнениями [2]:

$$m \frac{dV_\tau}{dt} = mg \sin(\alpha - \varphi) \quad (3.1)$$

$$m \frac{dV^2}{dt} = N - mg \cos(\alpha - \varphi) \quad (3.2)$$

где φ - угол трения.

Решение уравнений даёт выражение:

$$V_c = \sqrt{V_B^2 + rg[1 - \cos\varphi] \sin \alpha} \quad (4)$$

Приращение скорости на 2-ом участке $\Delta V_2 = V_c - V_B$ положительно; соударения также отсутствуют.

Третий участок CD – зерно движется по наклонному участку под углом α .

Это типовая задача наклонной плоскости в физике имеет решение [4]:

$$V_D = \sqrt{V_C^2 + 2gL_{CD}(\sin \alpha_C - f \cos \alpha_C)} \quad (5)$$

где V_C - начальная скорость движения зерна;

L_{CD} - длина наклонного участка семяпровода;

f - коэффициент трения зерна о стенку семяпровода.

Приращение скорости на 3-ом участке $\Delta V_3 = V_D - V_C$.

На 4-ом участке DE (рис. 2, б) в точке D происходит отрыв зерна от поверхности семяпровода и начинается его полёт под действием силы тяжести с начальной скоростью V_D под углом α_D к горизонту до встречи с поверхностью криволинейного участка в точке E. Это тоже типовая задача о траектории точки, брошенной под углом к горизонту. Уравнение траектории $y=f(x)$, если брать начало временных координат xDu в точке D, будет:

$$y = x \operatorname{tg} \alpha_D + \frac{g}{2V_D^2 \cos^2 \alpha_D} x^2 \quad (6)$$

По такому уравнению зерновка движется до соударения со стенкой семяпровода на круговом участке DE. Определим координаты точки E (x_E, y_E), как точки пересечения траектории и стенки кругового участка семяпровода.

Уравнение криволинейного участка как дуги радиусом R_4 будет:

$$y = Y_{O4} - \sqrt{R_4^2 - (x - X_{O4})^2} \quad (7)$$

где X_{O4}, Y_{O4} – координаты центра кривизны в точке O_4 .

Совместное решение уравнений (6) и (7) даст координаты точки E (x_E, y_E). Скорость в точке E выразится формулой:

$$V_E = \sqrt{\left(V_D^2 \sin^2 \alpha_D + \frac{gx_E}{V_D \cos \alpha_D}\right)^2 + V_D^2 \cos^2 \alpha_D} \quad (8)$$

При встрече зерновки в точке E со стенкой кругового участка семяпровода наблюдается косоугольный удар под углом ξ_4 с отражением под углом ζ_4 . Причём по теории удара $\zeta_4 \neq \xi_4$.

Угол встречи ξ_4 частицы с поверхностью семяпровода в точке E определяется как угол между касательными к поверхности семяпровода и к траектории движения:

$$\xi_4 = \operatorname{arctg} \frac{k_1 - k_2}{1 + k_1 k_2} \quad (9)$$

где k_1, k_2 - угловые коэффициенты касательных.

Структура этой формулы показывает, что кривизны траектории и стенки семяпровода вычитаются и угол встречи ξ_4 будет мал. Значит, соударения на выпуклом круговом участке будут происходить под малыми углами.

Скорость отражения V'_E имеет нормальную V'_n и тангенциальную V'_t составляющие с разными коэффициентами восстановления: нормальным k_n и тангенциальным k_t , характеризующими потери кинетической энергии.

$$V'_E = V_E \sqrt{k_n^2 \operatorname{tg}^2 \xi_4 + k_t^2} \quad (10)$$

Величина угла отражения ζ_4 будет определяться выражением:

$$\zeta_4 = \operatorname{arctg} \left(\frac{k_n}{k_t} - \operatorname{tg} \xi_4 \right) \quad (11)$$

Таким образом, выпуклый участок генерирует соударения семян о стенки борозды. Изменения скорости на 4-ом участке

$$\Delta V_4 = V'_E - V_D. \quad (12)$$

Участок 5 заключительный, вертикальный, начинается после отражения зерновки в точке E. Для

него угол поступления ξ_5 будет углом отражения с предыдущего участка ζ_4 . Зерновка будет двигаться до точки F на противоположной стенке вертикального семяпровода. Это тоже задача движения в воздухе точки, брошенной под углом α_5 к горизонту, причём согласно схеме $\alpha_5 = \pi/2 - \xi_5$.

Скорость в конце траектории в точке F выразится формулой, аналогичной формуле (4), но координата $x_F = d_c$, где d_c – внутренний диаметр семяпровода

$$V_F = \sqrt{\left(V_E^2 \sin^2 \xi_5 + \frac{gd_c}{V_E \cos \xi_5}\right)^2 + V_E^2 \cos^2 \xi_5} \quad (13)$$

Длина шага перескока по вертикали определится по формуле:

$$\Delta y_5 = d_c \operatorname{tg} \alpha_5 + \frac{g}{2V_E^2 \cos^2 \alpha_5} d_c^2, \quad (14)$$

но так как $\alpha_5 = \pi/2 - \xi_5$, формула выражается через угол поступления ξ_5 :

$$\Delta y_5 = d_c \operatorname{ctg} \xi_5 + \frac{g}{2V_E^2 \sin^2 \xi_5} d_c^2 \quad (15)$$

Выражение скорости семянки в точке F после отражения:

$$V'_F = V_F \sqrt{k_n^2 \operatorname{tg} \xi_5 + f_1 [1 - (k_n + 1) \operatorname{tg} \xi_5]} \quad (18)$$

Величина угла отражения ζ_5 зерновки от поверхности после удара, будет определяться выражением

$$\zeta_5 = \operatorname{arctg} \left(\frac{k_n}{k_r} - \operatorname{tg} \xi_5 \right) \quad (17)$$

Приращение скорости на 5-ом участке $\Delta V_5 = V'_F - V_D$.

Если длина прямого участка большая, то будут ещё соударения, причём будет меняться шаг скачков по выражению (15). На i -ом участке

$$\Delta y_i = d_c \operatorname{tg} \xi_i + \frac{g}{2V_i^2 \cos^2 \xi_i} d_c^2, \quad (18)$$

где ξ_i и V_i – угол поступления и скорость на i -ом участке соответственно. При этом будут уменьшаться углы соударения и отскока вплоть до их прекращения. Прямой участок будет гасить отскоки.

Рассмотренные выше типовые участки чередуются в семяпроводах в разной последовательности. Полное математическое описание скоростей движения зерновки по семяпроводу, будет состоять из моделей каждого участка (2), (4), (8), (10), (13), (18) с соблюдением граничных условий.

Итоговая скорость выброса семян не может быть выше скорости свободного падения зерновки с высоты высевающего аппарата H_A , которая определится по формуле

$$V_{MAX} = \sqrt{2gH_A} \quad (19)$$

При высоте расположения высевающих аппаратов 1,0 м $V_{max} = 4,43$ м/с.

Отношение фактической скорости на выходе к максимально возможной характеризует потери в семяпроводе

$$K_C = V_n / V_{MAX} \quad (20)$$

K_C будет всегда меньше единицы; его можно считать первым показателем разбросных свойств семяпровода, определяющим скорость семян на выходе из семяпровода.

Таким образом, извилистость семяпровода приводит к потерям скорости и появлению перескоков от соударений семян о стенки. Причём соударения и перескоки генерируются только на выпуклых участках, прямые участки, вертикальные и наклонные, перескоки гасят.

Моделирование падения семян. Задача о падении семян из семяпровода относится к задаче о движении частицы в воздушной среде, брошенной под углом α к горизонту с начальной скоростью V_0 . Траектория – парабола. При начале координат на выходе сопла в точке C уравнение траектории:

$$z = x \operatorname{tg} \alpha_x - \frac{g}{2V_0^2 \cos^2 \alpha_x} x^2 \quad (21)$$

При начале координат на дне борозды в точке D

$$z = x \operatorname{tg} \alpha_x - \frac{g}{2V_0^2 \cos^2 \alpha_x} x^2 + H \quad (22)$$

Начальные условия падения зерновки на дно борозды задаёт только конечный участок, из которого зерновка выбрасывается из сопла. Решение с учётом начальных условий (при $t=0, x=0; z_0=H; V=V_0; \alpha=\alpha_0$) даёт выражение для траектории:

$$z = x \operatorname{tg} \alpha_0 - \frac{g}{2V_0^2 \cos^2 \alpha_0} x^2 + H; \quad (23)$$

Дальность разброса получим из уравнения траектории, положив $z=0$. Получаем квадратное уравнение относительно x

$$x \operatorname{tg} \alpha - \frac{g}{2V_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 + H = 0 \quad (24)$$

Решение квадратного уравнения даёт для дальности полёта выражение:

$$S_E(\alpha) = \frac{V_0^2}{g} \cos \alpha \left[\sin \alpha + \sqrt{\sin^2 \alpha + \frac{2Hg}{V_0^2}} \right] \quad (25)$$

Уравнения описывают невозмущенное движение, когда α, V_0, H – детерминированные величины. В действительности α, V_0 – величины случайные и выражение (25) даёт только среднее значение дальности полёта.

Для случайных процессов необходимо применять вероятностные модели, трудоёмкие и сложные для практики или имитационное компьютерное моделирование типа. Ситуацию можно упростить, если ввести простые показатели разбросных свойств семяпроводов по анализу флюктуаций отскоков.

Неизбежные случайные соударения и отскоки зёрен ζ в семяпроводе искажают значение угла α , возникают флюктуации $\alpha = \alpha_0 \pm \zeta$ и дальность полёта изменяется. Возникает ширина разброса B_p (см. рис. 2),

$$B_p(\zeta) = B_1 + B_2, \quad (26)$$

где $B_1 = S(\alpha_0 + \zeta) - S(\alpha_0);$
 $B_2 = S(\alpha_0 - \zeta) - S(\alpha_0).$

Входящие в выражение $B_p(\zeta)$ функции $S(\alpha_0), S(\alpha_0 + \zeta), S(\alpha_0 - \zeta)$ делают уравнение (26) трансцендентным и неразрешимым от ζ . Однако графики функции $B_p(\zeta)$ (рис. 3) показывают, что для малых углов отскока трансцендентную функцию $B_p(\zeta)$ можно считать линейной, что даёт возможность применить простые показатели разбросных свойств семяпровода.

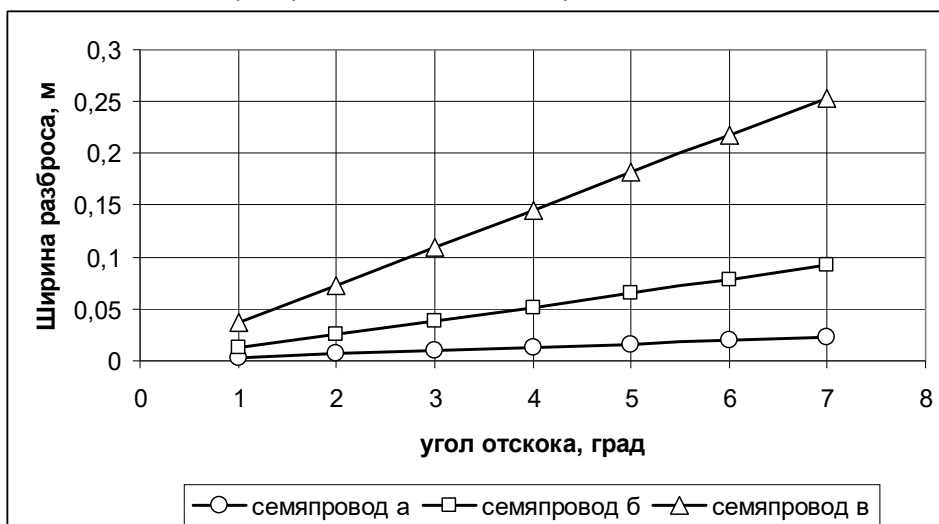


Рисунок 3 - Зависимость ширины разброса от угла отскока $B_p(\zeta)$ при $H=0,1$ м, $V_0=2$ м/с: а – семяпровод вертикальный; б – семяпровод Р-4,2; в – семяпровод с дефлектором

Интегральной оценкой разбросных свойств извилистого семяпровода любой формы может служить величина угла η наклона графика $B_c(\zeta_n)$, тангенс которой есть производная $B'_c(\zeta_n)$:

$$\operatorname{tg} \eta = B'_c(\zeta_n) = dB_c(\zeta_n)/d\zeta_n \quad (27)$$

Для линейного графика соотношение (27) упрощается, получаем показатель генерации:

$$\eta = B_c/\zeta_n \quad (28)$$

Достаточно условиться о базовом значении ζ_n , например $\zeta_n=5$, то показатель генерации отскоков приобретает простой вид:

$$\eta = B_c(5)/5, \quad (29)$$

Предлагаемый показатель доступен для прямых измерений и может определяться экспериментально простым способом.

Разбросные свойства семяпровода определяются процессами на конечном участке семяпровода, который на практике обычно делается прямолинейным: вертикальным или наклонным. В нём могут в общем случае сохраняться отскоки, генерируемые на предыдущих участках, но на прямых участках будут гаситься.

Для увеличения ширины разброса следует применить устройство, не зависящее от формы семяпровода и генерации в ней обязательных отскоков. Предлагается установить на конце семяпровода распределитель типа дефлектора (рис. 4), в котором генерируются соударения. Семена, ударяясь о дефлектор, производят отскоки. Зона генерации локализуется в одном месте, происходит в относительно стабильных условиях без затуханий.

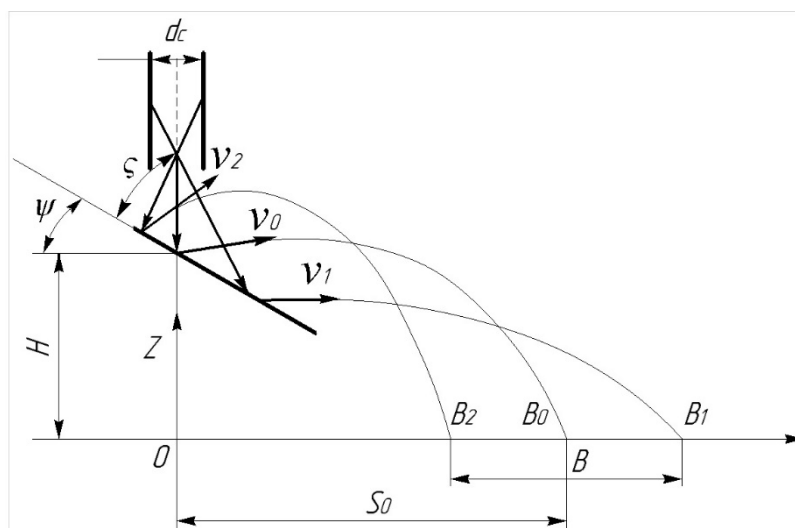


Рисунок 4 - Схема работы дефлекторного распределителя

Движение семян по дефлектору носит характер косоугольного удара с отскоком. Угол поступления зерновки на дефлектор ξ , установленный под углом ψ к оси семяпровода, будет колебаться в пределах $90 \pm \zeta_n - \psi$, где ζ_n – угол отскока зерновки от стенки семяпровода на выходе.

После соударения с дефлектором происходит отскок зерновки от его поверхности под углом ζ_D к ней. Величина угла отражения ζ_D зерновки от поверхности после удара, будет определяться выражением аналогичным (11).

$$\zeta_D = \arctg\left(\frac{k_n}{k_\tau} - \tg \xi_D\right) \quad (30)$$

Скорость после отражения будет:

$$V'_D = V_s \sqrt{k_n^2 \tg^2 \xi_s + f_1 [1 - (k_n + 1) \tg \xi_s]} \quad (31)$$

Траектория полёта зерновки после отскока от дефлектора будет решением типовой задачи движения точки, брошенной под углом $\alpha_D = 90^\circ - 2\psi - \zeta_D$ к горизонту со скоростью V'_D .

Уравнения траектории и дальности полёта будут аналогичны (23) и (25) при $\alpha = \alpha_D$ и $V_0 = V'_D$. График зависимости ширины разброса от угла отскока $B_p(\zeta_n)$ на дефлекторе приведён на рис. 3 (кривая в). Сравнение показывает, что показатель разброса дефлектора значительно выше показателей разброса вертикального и наклонного семяпровода. По сравнению с наклонным семяпроводом сеялки Р-4,2 он выше в 2,5 раза.

Полученные по графику показатели разброса характеризуют только потенциальные возможности семяпровода и не дают ответа об абсолютной величине ширины разброса B_p . Её можно получить только экспериментально.

Проведена экспериментальная оценка ширины разброса B_p трубчатых семяпроводов разной конфигурации на лабораторной установке (рис 5), предназначенных для сеялки Р-4,2 (<http://www.amzv.ru/amz/seyalki/r-4-2>). Семяпроводы крепились на платформе так, чтобы сопло размещалось на высоте H над липкой поверхностью, покрытой слоем обоевого клея. Порцию семян

численностью 50...100 зёрен высыпали в воронку на семяпроводе и получили поле разброса эллиптической формы (рис. 5). Опыты проводились в 5-кратной повторности. Определялись средние значения осей полей разброса.



Рисунок 5 - Исследованные семяпроводы на лабораторной установке:
 а – вертикальный для сеялки Р-4,2; б – с наклонным участком от сеялки Р-4,2; в) вертикальный с дефлектором для сеялки Р-4,2; 1- платформа; 2 – стойки; 3 - воронка для семян; 4-семяпровод; 5 - дефлектор; 6 – клейкий лист



Рисунок 6 - Характер полей разброса зерен: продольная ось эллипсоида B_1 - ширина разброса; поперечная ось эллипсоида B_2 – рассеяние

Установлено, что в плоскости траектории формируется большая ось эллипса разброса B_1 , которая характеризует ширину разброса B_{p1} . Малая ось эллипса B_2 формируется поперёк плоскости траектории и характеризует рассеяние B_{p2} . Их значения приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Ширину разброса B_{p1}

№	Наименование семяпровода	Семяпровод прямой	Семяпровод Р-4,2	Семяпровод с дефлектором
	Показатель К	0,57	0,68	0,57
	Показатель разброса η м/град	0,0034	0,013	0,037
	Средний угол отскока ζ_n , град	4,3	6,9	6,3
	Ширина разброса B_{p1} , м	0,023	0,095	0,23
	Рассеяние B_{p2} , м	0,022	0,052	0,17

По полученным значениям на графиках $B_p(\zeta)$ (см. рис. 4) определялись средние значения углов отскока ζ_n . Результаты приведены в таблице 1.

Приведённые данные показывают, что при высоте сопла 100 мм наименьшую ширину разброса даёт вертикальная ориентация семяпровода; показатель генерации отскоков не превышает 0,0034. Наклонный семяпровод сеялки Р-4,2 увеличивает показатель генерации отскоков в 4 раза и ширина разброса увеличивается до 95 мм, что недостаточно для полосового сева с шириной междурядий 200 мм. Таким образом, прямой наклонный трубчатый семяпровод не решает проблему разброса семян для полосового сева. Установка дефлектора на прямой семяпровод увеличивает показатель генерации в раз и позволяет добиться ширины разброса 230 мм, что для полосового сева вполне достаточно.

Таким образом, свойства семяпровода оказывают большое влияние на процессы разброса семян и поэтому должны указываться в паспорте и технических характеристиках рабочих органов машины. Он определяет важнейший показатель полосового посева – ширину разброса, в принципе величину

случайную, трудную для паспортизации. Полезен он и при точном высеве - здесь он должен выбираться минимальным, чтобы избежать искажений.

Предлагаемая система показателей разбросных свойств семяпровода позволяет делать объективную оценку и сравнение разбросных свойств семяпроводов простым и доступным для практики способом.

Список использованных источников

1. Зерновые проблемы сложны, но решаемы / Алтухов А.И. // Сельский механизатор. - 2010.- № 4.- С. 2-4.
2. Концепция развития посевных машин / Шукин С.Г. В.В. Альт, С.Г. Шукин, В.А. Вальков // Достижения науки и техники АПК. - 2008. - №9. - С.44-48.
3. О движении семян по семяпроводам машин / П.М. Василенко, Г.А. Василенко, С.Я. Богачев // Сельхозмашины. - 1959. - № 5 - С . 13-17.
4. Теоретические и экспериментальные исследования процесса посева семян зерновых культур комбинированным сошником сеялки- культиватора. Теория, конструкция, расчет: монография / Н.П. Ларюшин, А.В. Мачнев, В.В. Шумаев. – Пенза: РИО ПГСХА, 2012. – 125 с.
5. Справочник инженера-механика сельскохозяйственного производства / под ред. В.В. Нунгейзера, Ю.Ф. Лачуги. – 4.1. – М.: Росинформагротех, 2011. – 372 с.