

УДК 631. 331. 4.75

UDC 631. 331. 4.75

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

05.20.01-Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА БОРОЗДООБРАЗОВАНИЯ СФЕРОДИСКОВОГО СОШНИКА ДЛЯ ПОЛОСНОГО СЕВА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF A SPHERODISC COULTER FURROWING FOR STRIP SOWING OF GRAIN CROPS

Царев Юрий Александрович
д-р техн. наук, профессор
SPIN-код автора: 3585-8390
ycarev@donstu.ru

Tsarev Yuri Alexandrovich
Doctor of Technical Sciences, Professor
Author's SPIN code: 3585-8390.
ycarev@donstu.ru

Игнатенко Иван Васильевич
д-р техн. наук, профессор
SPIN-код автора: 6360-9749
iignatenko@donstu.ru

Ignatenko Ivan Vasilyevich
Doctor of Technical Sciences, Professor
Author's SPIN-code: 6360-9749
iignatenko@donstu.ru

Мельников Дмитрий Георгиевич
аспирант
SPIN-код автора: 9094-4228.
dmitrij.melnikov.57@mail.ru
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия

Melnikov Dmitry Georgievich
graduate student
Author's SPIN-code: 9094-4228.
dmitrij.melnikov.57@mail.ru
Don state technical University, Rostov-on-don, Russia

Богус Азамат Эдуардович
ст. преподаватель кафедры «Процессы и машины в агробизнесе», SPIN-код 9567-1848,
email: azamat089@gmail.com

Bogus Azamat Eduardovich
Senior Lecturer, RSCI SPIN-code 9567-1848
email: azamat089@gmail.com

Папуша Сергей Константинович
канд. техн. наук, доцент
SPIN-код автора: 9006-3325
email: serega0318@mail.ru
ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ», Краснодар, Россия

Papusha Sergey Konstantinovich
Candidate of Sciences in Technology
RSCI SPIN- code 9006-3325
email: serega0318@mail.ru
Kuban state agrarian university, Krasnodar, Russia

Равномерность распределения семян по площади питания является одним из основных факторов качества посева, влияющих непосредственно на урожайность. В идеальном случае площадь питания растения должна иметь форму круга без перекрытия с соседними растениями. Такое распределение площадей питания подразумевает идеальный разбросной посев безо всяких междурядий. Однако на практике в зерновом производстве широко распространён обычный рядовой посев с междурядьем в 15 см, при котором вся площадь поля недоиспользуется, а площади питания отдельных зёрен перекрываются. Пришедший на поля России из Европы свыше 100 лет назад рядовой посев остаётся неизменным. Под него разрабатываются и посевные машины - рядовые сеялки. Около 90% всех зерновых сеялок в России - это сеялки, реализующие именно рядовой посев. Такие сеялки остаются на ближайшие годы основными посевными машинами в стране. Рядовой посев зерновых

The uniformity of the distribution of seeds over the feeding area is one of the main factors of the quality of sowing, which directly affects the yield. Ideally, the feeding area of the plant should be in the form of a circle without overlapping with neighboring plants. This distribution of feeding areas implies an ideal scattered sowing without any row spacing. However, in practice, in grain production, the usual ordinary sowing with a row spacing of 15 cm is widespread, in which the entire field area is underutilized, and the feeding areas of individual grains overlap. The ordinary crop that came to the fields of Russia from Europe over 100 years ago remains unchanged. It is also being developed for sowing machines-ordinary seeders. About 90% of all grain seeders in Russia are seeders that implement just ordinary sowing. Such seeders will remain the main sowing machines in the country for the coming years. Ordinary sowing of grain crops with a row spacing width of 15 cm radically violates the principle of uniformity of plant placement over the area and leads to a decrease in

культур с шириной междурядий 15 см кардинально нарушает принцип равномерности размещения растений по площади и приводит к снижению урожайности. Повышение урожайности и эффективности возделывания зерновых культур требует перехода к технологиям точного и разбросного сева, и разработки соответствующих новых рабочих органов и средств механизации. Разработка сеялок нового поколения, способных обеспечивать равномерность распределения семян по площади питания, становится в настоящее время

Ключевые слова: МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ПЛОЩАДЬ ПИТАНИЯ, СФЕРОДИСКОВЫЙ СОШНИК, ПОЛОСОВОЙ СЕВ, ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ

yield. Increasing the yield and efficiency of grain cultivation requires the transition to technologies of precise and scattered sowing, and the development of appropriate new working bodies and means of mechanization. The development of a new generation of seeders capable of ensuring the uniform distribution of seeds over the feeding area is currently becoming a priority

Keywords: MATHEMATICAL MODEL, FEEDING AREA, SPHERODISK COULTER, STRIP SOWING, GRAIN CROPS

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-168-005>

Равномерность распределения семян по площади питания является одним из основных факторов качества посева, влияющих непосредственно на урожайность. В идеальном случае площадь питания растения должна иметь форму круга без перекрытия с соседними растениями. Такое распределение площадей питания подразумевает идеальный разбросной посев безо всяких междурядий. Однако на практике в зерновом производстве широко распространён обычный рядовой посев с междурядьем в 15 см, при котором вся площадь поля недоиспользуется, а площади питания отдельных зёрен перекрываются. Пришедший на поля России из Европы свыше 100 лет назад рядовой посев остаётся неизменным. Под него разрабатываются и посевные машины - рядовые сеялки. Около 90% всех зерновых сеялок в России - это сеялки, реализующие именно рядовой посев. Такие сеялки остаются на ближайшие годы основными посевными машинами в стране [1].

Рядовой посев зерновых культур с шириной междурядий 15 см кардинально нарушает принцип равномерности размещения растений по площади и приводит к снижению урожайности.

Повышение урожайности и эффективности возделывания зерновых культур требует перехода к технологиям точного и разбросного сева, и разработки соответствующих новых рабочих органов и средств механизации. Разработка сеялок нового поколения, способных обеспечивать равномерность распределения семян по площади питания, становится в настоящее время актуальной задачей для отечественной земледельческой науки.

Проблемой разбросного сева является отсутствие соответствующих рабочих органов - сошников. Разработка таких органов оказалась сложной задачей, так как требует изменений сложившихся предпочтений практического земледелия.

В настоящее время сферические диски, как рабочие органы стали универсальным средством интенсивного воздействия на почву. Широко применяются они на дискаторах, тяжёлых боронах. Налажен их массовый выпуск. Назрела пора расширить их сферу применения в качестве сошника для полосного сева.

Практика старается постоянно внедрять различные ресурсосберегающие инновации в почвообработке, не останавливаясь перед коренной переделкой технологий обработки почвы. Самым популярным ресурсосбережением стало простое урезание почвообработки. Отвергнута плужная обработка почвы, под вопросом вся основная, упрощается предпосевная. Так созданы технологии минимальной обработки почвы *Mini-Till* вплоть до т.н. "нулевой" *No-Till*. Последняя новация *Strip-Till* вообще не предусматривает обработку всей поверхности поля, а только отдельных полос-гряд [2].

В зависимости от почвенно-климатических условий оптимальная площадь питания зерновых культур должна составлять 10...30 см², о чем свидетельствуют многочисленные исследования [3-5]. Для успешного развития растений, площади питания растений не должны перекрываться и

иметь пропуски. Наиболее полное использование площади поля будет достигаться при идеально распределённом посеве (Рисунок 1), когда зёрна распределяются по поверхности поля равномерно, каждое зерно имеет свою достаточную площадь питания – шестигранную или квадратную.

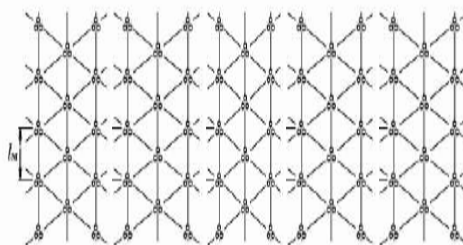
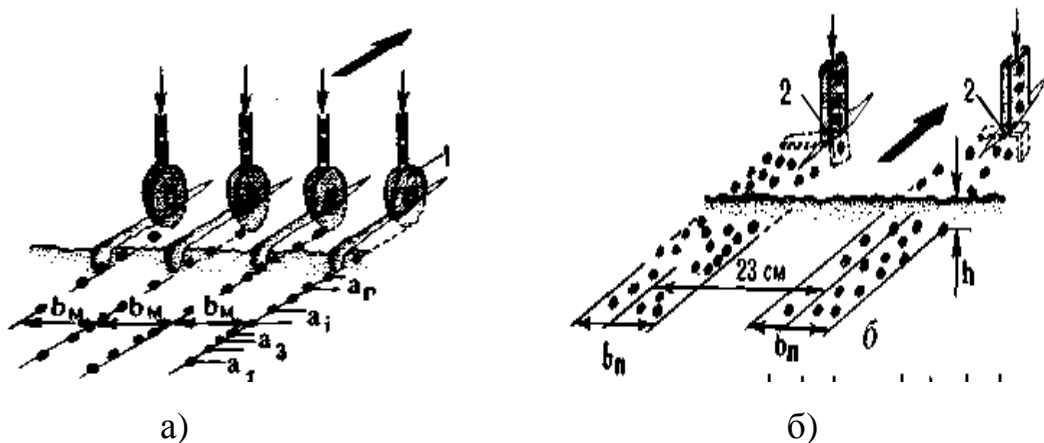


Рисунок 1 – Схема идеально распределённого посева с квадратной площадью питания

Полосной способ посева заключается в чередовании засеянных и незасеянных полос зерновых культур. Лапы 2 сошника (Рисунок 2, б) сеялки заделывают в почву семена на глубину h , распределяя их полосами шириной b_n . Семена в полосе размещаются хаотично. По сравнению с рядовым полосной посев позволяет разместить семена с большей площадью питания, и таким образом, повысить урожайность возделываемой культуры [6-8].

Полосной посев давно привлекает внимание исследователей и прошёл длительную апробацию. Попытки полосного посева были приняты ещё в конце XIX века русским ученым-агрономом И.Е. Овсинским [8].



а – рядовой обычный посев, б – полосной: 1 – сошник; 2 - лапа сошника; 3 – борона; $a_1 \dots a_n$ – расстояние между семенами в рядках; b_M - ширина междурядий; b_n - ширина полос; h – глубина посева

Рисунок 2 – Способы посева зерновых культур

Дисковые сошники менее требовательны к качеству обработки почвы и состоянию поля, меньше наральных залипают и забиваются, позволяют производить посев при повышенной влажности почвы [9]. Дисковые сошники могут исполняться однодисковыми и двухдисковыми. В свою очередь однодисковые сошники оснащают плоскими или сферическими дисками.

Большое значение для работы дисков имеет ориентация оси вращения. Принято ориентацию оси вращения в пространстве характеризовать двумя углами: α - угол отклонения проекции оси на горизонтальную плоскость от поперечной оси машины, называемый углом афронтальности; β - угол наклона оси к горизонтальной поверхности поля (Рисунок 3).

На практике угол афронтальности оси α замещают равным ему углом атаки диска; а угол наклона оси β – углом крена диска. Разница в том, что углы относятся к разным элементам: оси или диску.

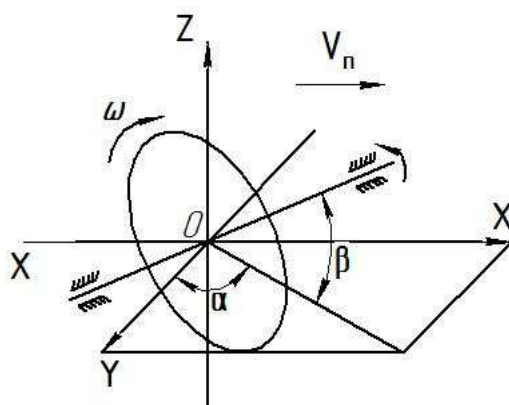


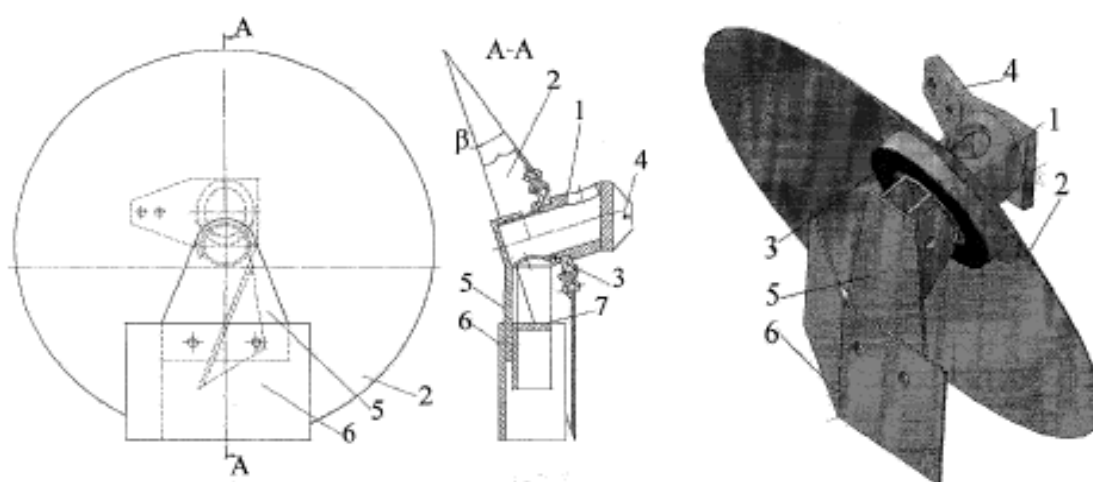
Рисунок 3 – Ориентация оси вращения сферодиска в системе прямоугольных координат XYZ

Сошники с плоскими дисками для рядового сева на зарубежных сеялках применяют с малыми углами атаки, обычно $\alpha=7^\circ$. В России однодисковые сошники применяются для посева трав также с малыми углами атаки $\alpha=5...10^\circ$, но с дополнительным креном $\beta=21^\circ$. Они менее требовательны к качеству обработки почвы и состоянию поля, обладают меньшим значением удельного тягового сопротивления.

Сферические диски для сошников известны со времён дисковых плугов и вошли в учебники [10]. Сферический диск сошника для рядового посева устанавливался под небольшим углом атаки $\alpha=3...8^\circ$ к линии тяги, чтобы получать узкую бороздку для семян.

В настоящее время сферические диски с большими углами атаки применяются в сошниках сеялок А. Ерусланова. Углы установки дисков приняты дискаторные: $\alpha=30^\circ$, угол наклона $\beta=20^\circ$ без каких-либо научных обоснований. Это увеличивает ширину борозды, но также тяговое сопротивление.

Так Атнагулов Д. Т. [11] предложил однодисковый сошник конической формы с ложеобразователем и рассеивателем, установленный вертикально с углом атаки, $\alpha=75... 82^\circ$ (Рисунок 4).



1 – корпус; 2 – конический диск; 3 – подшипниковая опора; 5 – стойка;
6 – ложеобразователь; 7 – рассеиватель

Рисунок 4 – Дисковый сошник Атнагулова Д. Т. для полосного сева

Свободна от этого недостатка оригинальная установка диска "плашмя", (Рисунок 5, 6) под небольшим углом к поверхности поля [патент "Сеялка – культиватор" RU 2574116 С2 от 18.11.2011 А. К. Ерусланов, Д. А. Звездунов].

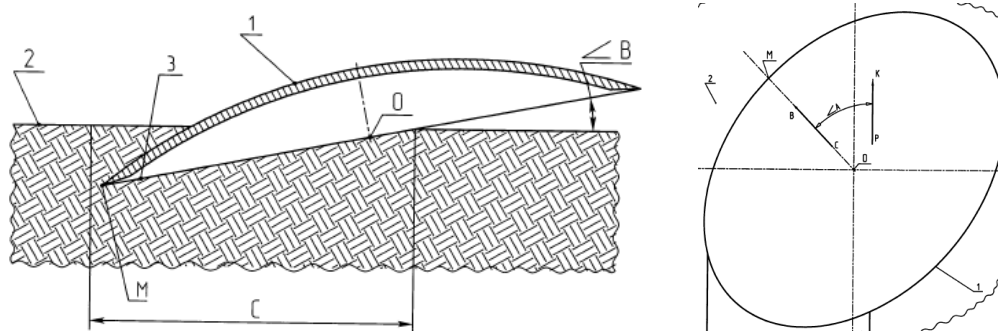
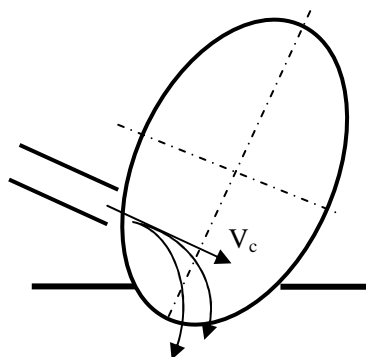


Рисунок 5 – Установка диска по А. Ерусланову

Диск передней кромкой подрезает пласт, приподнимает его, и семена вбрасываются под диск. Задняя кромка диска получается выше дна борозды и повторно воздействовать на разбросанные семена не может.

В сошнике с горизонтальным сферическим диском семена будут высыпаться не под лезвие, а по центру диска, где глубина другая. Из-за малой высоты падения полоса разброса тоже будет даже меньше, чем у сошника с вертикальным диском.



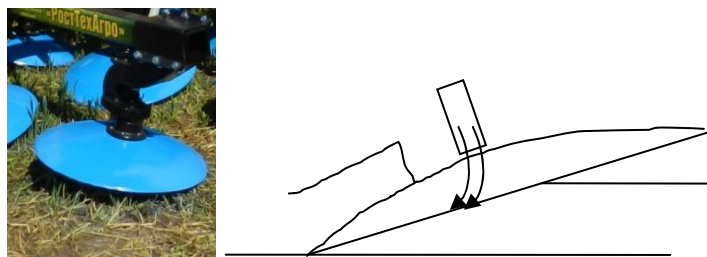


Рисунок 6 – Схема подачи семян в борозду сеялок А. Ерусланова

Общий недостаток дисковых сошников, устанавливаемых на сеялки Р-4,2, это отсутствие качественного распределения семян по ширине борозды.

Для полосного посева зерновых культур нужен новый сошник, удовлетворяющий требованиям:

- а) сошник должен распределять семена полосой шириной до 200 мм;
- б) сошник должен работать на некультуренных агрофонах;
- в) конструкция должна состоять из надёжных проверенных решений;
- г) конструкция должна быть приспособлена к массовому производству;
- д) конструкция должна быть простой в регулировках и обслуживании.

Инновацией в конструкции является добавление дефлекторного распределителя для полосного разброса семян. Дефлекторный разбрасыватель – проверенная конструкция, хорошо зарекомендовавшая себя в разбрасывателях удобрений и опрыскивателях.

На Рисунке 7, 8 приведен 3D-чертёж предлагаемого сошника, названного сферодисковым с ориентацией по осям X, Y и Z.

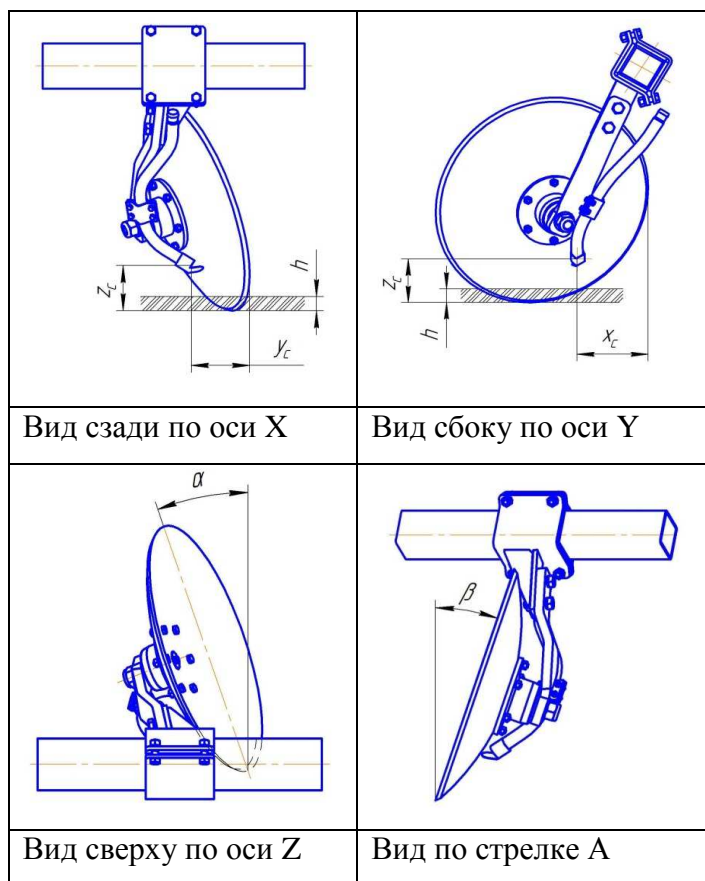


Рисунок 8 – Проекция сферодискового сошника: по оси X, Y, Z и виду по стрелке А в плоскости диска.

Рассмотрим теоретические предпосылки и технологические основания для выбора оптимальных параметров сошника с точки зрения этих требований.

Полная факторная модель функционирования сферодискового сошника принимает вид:

$$\bar{Y} = \bar{f}(D, \alpha, \beta, V, h, H_c, Y_c, \theta, d, \psi, L_d, Q, w, h, p, m, f). \quad (1)$$

Анализ показывает, что в число факторов, влияющих на способность сферодискового сошника осуществлять полосной посев, входят:

- диаметр D и радиус сферы диска ρ ;
- углы ориентации сферического диска: угол афронтальности α и наклона диска β ;
- норма высева Q ;
- скорость движения V ;
- глубина посева h ;

- физико-механические свойства почвы: твёрдость p и влажность w ;
- физико-механические свойства семян: размеры, натура m , коэффициент трения f ;
- параметры семяпровода, влияющие на скорость выброса семян в борозду V_c ;
- расположение сопла семяпровода относительно диска Y_c ;
- высота сопла семяпровода над поверхностью почвы H_c ;
- параметры дефлекторного разбрасывателя на семяпроводе: длина пластины L и угол её ориентации ψ .

Наличие большого количества факторов в модели создает определенные трудности для исследователя, поэтому было проведено варьирование факторов.

После верификации факторов в качестве управляемых параметров оставляем:

- углы ориентации сферического диска: угол афронтальности α и наклона диска β ;
- глубина хода h ;
- скорость движения V ;
- угол наклона семяпровода θ ;
- скорость выброса семянки из семяпровода V_c ;
- высота сопла семяпровода над поверхностью почвы H_c ;
- расположение сопла семяпровода относительно диска Y_c ;
- угол ориентации дефлекторной пластины на выходе семяпровода ψ .

Остальные факторы принимаем в качестве контролируемых. Факторная модель процесса функционирования приведена на Рисунке 9.

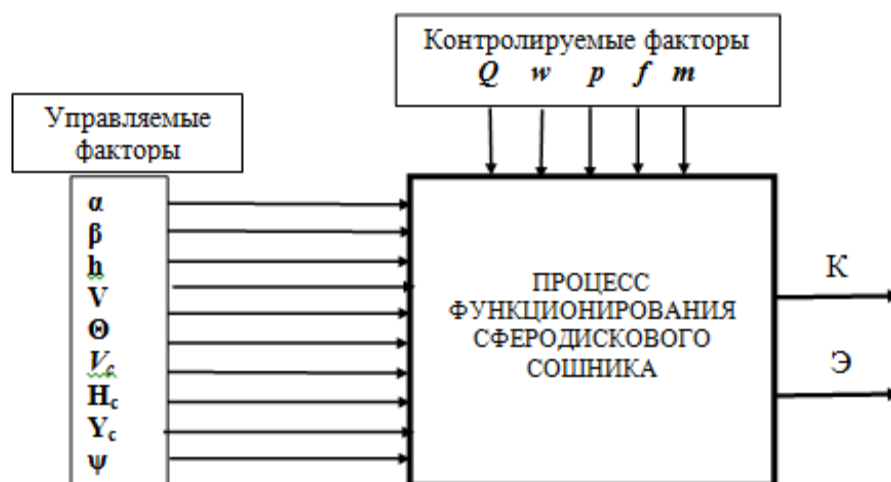


Рисунок 9 – Факторная модель функционирования сферодискового сошника

Откликами Y факторной модели должны быть качественные и энергетические показатели работы сферодискового сошника, т.е.

$$Y = [K, \mathcal{E}] \quad (2)$$

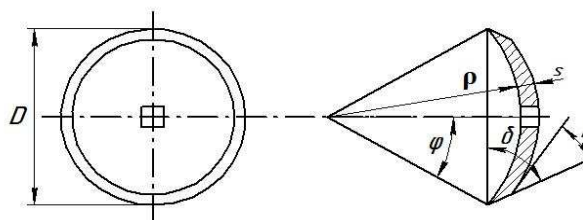
Показатели должны соответствовать поставленным целям в работе. Качественный показатель K должен отражать изменение площади питания. Энергетический \mathcal{E} - затраты энергии на протаскивание сошника по борозде.

Выражение для исследовательской факторной модели примет вид:

$$[K, \mathcal{E}] = \bar{f}(\alpha, \beta, V, h, H_c, Y_c, \theta, \psi, L_d) \quad (3)$$

Предлагаемый сферодисковый сошник имеет в качестве рабочего элемента косо поставленный сферический диск с заострённой кромкой. Такой диск относится к пассивным ротационным рабочим органам (РРО), вращающийся вокруг оси за счёт сил трения при перекатывании его о почве.

Сферический диск имеет форму рабочей поверхности в виде шарового сегмента сферы с постоянным радиусом кривизны ρ (Рисунок 10) и центральным углом точек лезвия φ .



D – диаметр диска, ρ - радиус кривизны, δ – толщина диска, ω – угол резания, i – угол заточки лезвия, s - толщина диска

Рисунок 10 – Сферический диск сошника

К основным параметрам сферических дисков относятся: диаметр D , радиус кривизны ρ , центральный угол 2φ дуги окружности лезвия; угол резания ω ; угол заострения i лезвия диска, толщина диска s .

В процессе перекачивания по поверхности поля диск под действием реактивных сил, действующих со стороны почвы, вращается вокруг своей оси со скоростью ω . Движение точек диска в пространстве оказывается сложным: они участвуют в переносном поступательном движении со скоростью V_n и относительном вращательном с угловой скоростью ω .

Угловая скорость пассивного сферодиска может быть выражена

$$\omega = V_n / R. \tag{4}$$

Основными кинематическими характеристиками РРО считаются форма траектории, величина и направление скорости режущего элемента.

Математические модели кинематики РРО описывают движения точки рабочей поверхности. Общая система уравнений движения i -ой точки сферодиска класса в трёхмерной системе координат XYZ с началом в центре диска, выведенные Ф.М. Канарёвым [12] в параметрической форме, имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= V_n t + \rho \sin\varphi_i \sin\alpha \sin\beta \sin\alpha t + \rho \sin\varphi_i \cos\alpha \cos\alpha t + (\rho - \rho \cos\varphi_i) \sin\alpha \cos\beta; \\ y_i &= \rho \sin\varphi_i \cos\alpha \sin\beta \sin\alpha t - \rho \sin\varphi_i \sin\alpha \cos\alpha t - (\rho - \rho \cos\varphi_i) \cos\alpha \cos\beta; \\ z_i &= (\rho - \rho \cos\varphi_i) \sin\beta - \rho \sin\varphi_i \cos\beta \sin\alpha, \end{aligned} \right\} \tag{5}$$

где t – текущее время, с; V_n - скорость поступательного движения машины; ρ — радиус сферы диска; φ_i — центральный угол точки

поверхности; $(\rho - \rho \cos \varphi_i)$ - стрела шарового сегмента; α - угол афронтальности оси диска; β - угол наклона оси к горизонтальной плоскости; ω - угловая скорость вращения (положительное направление по часовой стрелке).

Траектории точек сферодиска в пространстве по уравнениям (3), представляют в общем случае пространственные спирали.

Для практики важными являются траектории точек лезвия сферодиска. Точки лезвия представляет окружность радиуса $R=D/2$, лежащей в плоскости, перпендикулярной оси вращения (см. Рисунок 10). Поэтому для определения движения точек лезвия достаточно рассмотреть движение плоского диска радиуса R . Уравнения движения лезвия плоского диска получим из уравнений (5), если учесть, что для плоского диска $\rho \sin \varphi = R$, а стрела шарового сегмента $(\rho - \rho \cos \varphi_i) = 0$. Получим уравнения траектории точки лезвия сферического диска в абсолютном движении:

$$\left. \begin{aligned} x &= V_n t - R \sin \alpha \sin \beta \sin \alpha \omega t + R \cos \alpha \cos \alpha \omega t; \\ y &= R \cos \alpha \sin \beta \sin \alpha \omega t - R \sin \alpha \cos \alpha \omega t; \\ z &= -R \cos \beta \sin \alpha \omega t. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Уравнения (3) совпадают с уравнениями Ф.М. Канарёва для плоского диска при размещении начала координат в центре диска. Траектория движения точки М лезвия имеет форму винтовой линии (на плоскости это трохойды) (Рисунок 11).

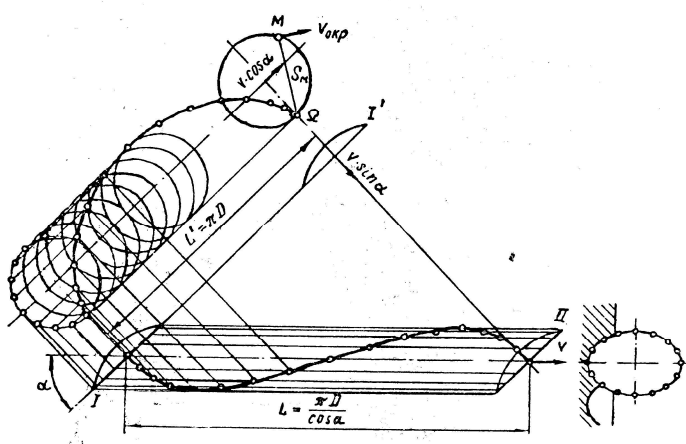


Рисунок 11 - Траектория точек лезвия сферодиска

Продифференцировав выражения (6) по времени, получим составляющие скорости точки лезвия сферодиска:

$$\left. \begin{aligned} V_x &= V_n - \omega R [\sin \alpha \sin \beta \cos \alpha t - \cos \alpha \sin \alpha t]; \\ V_y &= \omega R [\cos \alpha \sin \beta \cos \alpha t + \sin \alpha \cos \alpha t]; \\ V_z &= -\omega R \cos \beta \cos \alpha t. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

После подстановки и преобразований получим выражение абсолютной скорости V_a движения точки диска:

$$V_a = V_n \sqrt{1 + \lambda^2 + 2\lambda (\sin \alpha \sin \beta \cos \alpha t - \cos \alpha \sin \alpha t)}. \quad (8)$$

Полученные уравнения (6), (7), (8) являются математическими моделями кинематики сферодиска. Анализ моделей показывает, что основные характеристики дискового сошника определяются величиной радиуса диска $R=D/2$ и углов установки α и β .

Развернув матричное преобразования, получаем аналитические выражения для искомым координат:

$$\left. \begin{aligned} x' &= R(\cos \alpha \cos \varphi - \sin \alpha \sin \beta \sin \varphi), \\ y' &= -R \cos \alpha \sin \beta \sin \varphi + R \sin \alpha \cos \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Добавляя сюда неизменившееся третье уравнение из системы (6) и возвращая прежние обозначения осей координат, получим уравнения проекций сферодиска на координатные плоскости в параметрической форме:

$$\left. \begin{aligned} x &= R(\cos \alpha \cos \varphi - \sin \alpha \sin \beta \sin \varphi), \\ y &= -R \cos \alpha \sin \beta \sin \varphi + R \sin \alpha \cos \varphi, \\ z &= -R \cos \beta \sin \varphi, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где φ – общий параметр уравнений, по физическому смыслу угловая координата положения точки лезвия на диске при его вращении $\varphi = \omega t$.

В качестве уравнений лобовой поверхности в плоскости YOZ выступают второе и третье уравнения системы (10):

$$\left. \begin{aligned} y &= -R \cos \alpha \sin \beta \sin \varphi + R \sin \alpha \cos \varphi, \\ z &= -R \cos \beta \sin \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Недостаток этой модели - расположение начала координат O_1 в центре воображаемого плоского диска, что затрудняет измерения.

Перенесём начало координат из центра эквивалентного плоского диска на дно борозды в точку O_b , сделав соответствующие замены координат:

$$\left. \begin{aligned} y &= y_b + R \cos \alpha \sin \beta, \\ z &= z_b - R \cos \beta. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где y_b , z_b - координаты профиля борозды; $z_b(\varphi)$ - глубина расположения точки лезвия; $y_b(\varphi)$ - расположения точки лезвия по ширине борозды.

Параметрические уравнения лобовой поверхности в новой системе координат $X_b Y_b Z_b$ станут:

$$\left. \begin{aligned} y_2 &= -R \cos \alpha \sin \beta (1 - \sin \varphi) + R \sin \alpha \cos \varphi, \\ z_2 &= R \cos \beta (1 - \sin \varphi). \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Эти уравнения являются математическим описанием (моделью) профиля борозды в параметрической форме.

Выражение координат борозды через параметр φ - угол поворота в воображаемой эквивалентной плоскости диска - неудобно для практики. Удобнее будет прямая аналитическая зависимость $y=f(z)$. Для её получения исключим из уравнений параметр φ .

Рассчитанные по этой зависимости профили борозды для различных α и β показаны на Рисунках 12 и 13.

Графики, приведенные на рисунках, свидетельствуют, что при погружении диска до относительной глубины $\eta=0,24$ сферодисковый сошник даёт широкую борозду, превышающую глубину хода в 2...6 раз в

зависимости от углов ориентации. Форма борозды, это низ наклонного эллипса. На поверхности поля раскрытие борозды наиболее широкое, на глубине ширина снижается. Правый склон борозды – пологий, левый – крутой.

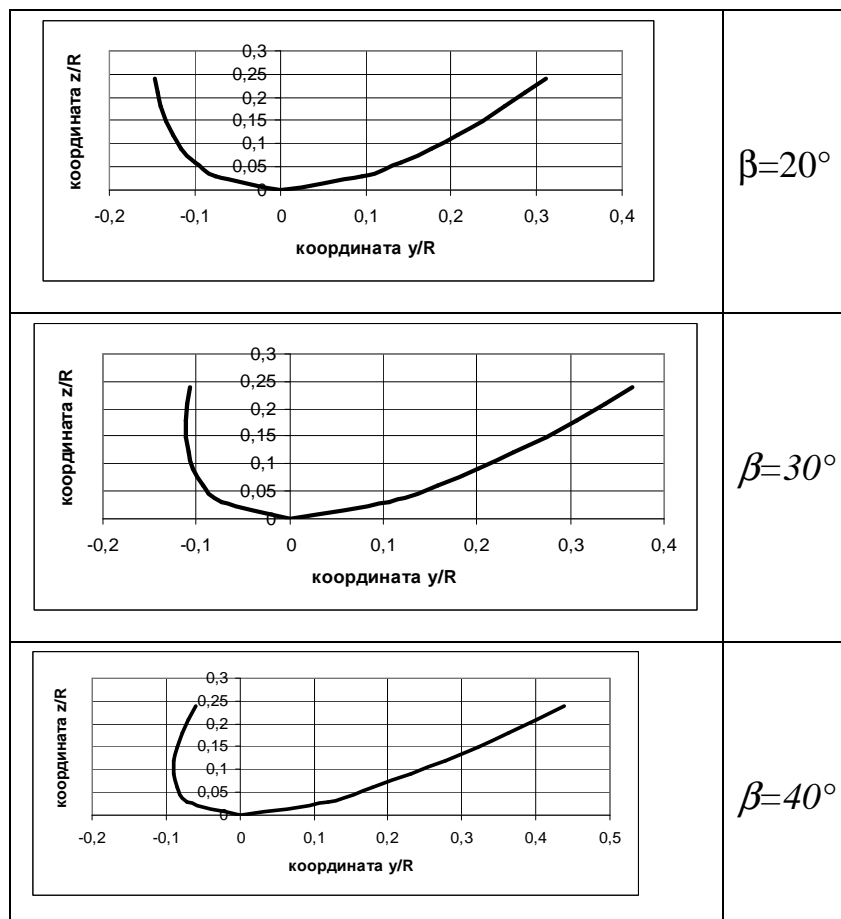


Рисунок 12 - Изменения профиля борозды от угла наклона сферодиска β при малых углах афронтальности $\alpha=20^\circ$

Второе важное обстоятельство - наличие несимметрии профиля борозды из-за наклона диска. Показатель несимметрии

$$\xi = -v_1/v_2, \tag{14}$$

где v_1 – относительная ширина левой стороны профиля;

v_2 - относительная ширина правой стороны профиля (со стороны наклона диска).

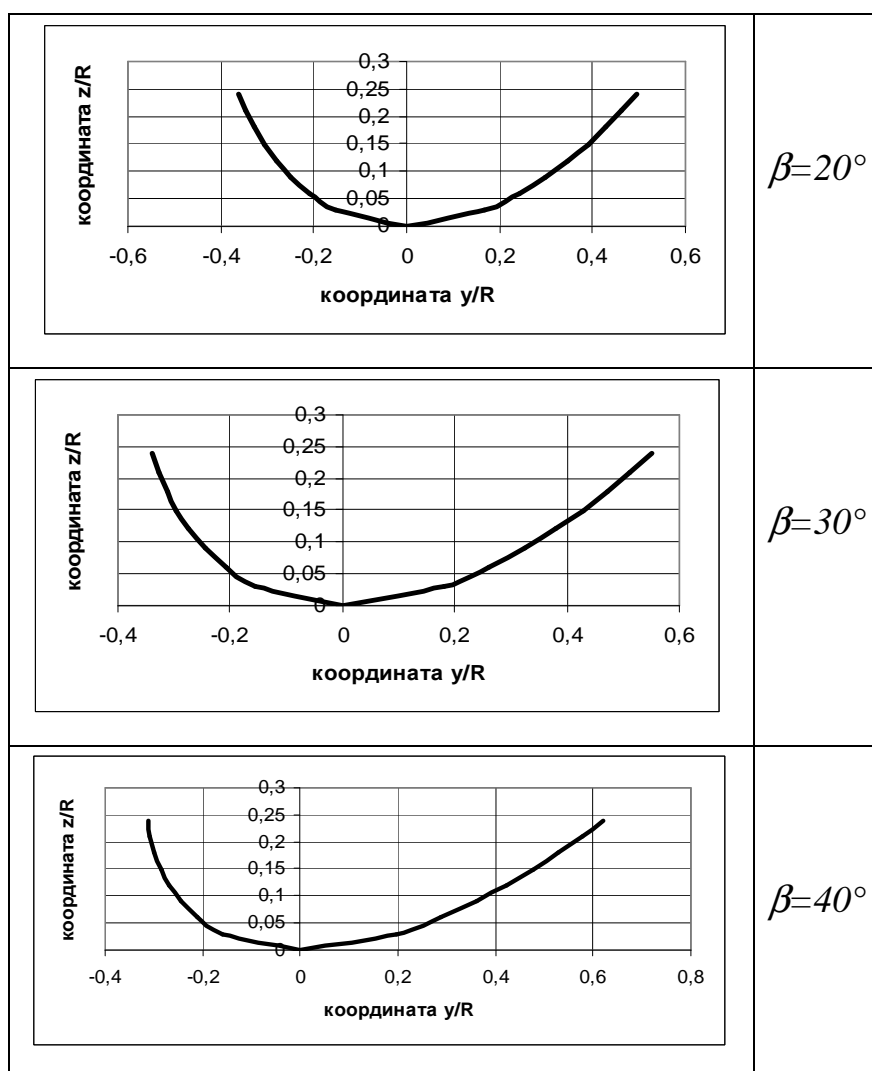


Рисунок 13 - Изменения профиля борозды от угла наклона сферодиска β при больших углах афронтальности $\alpha=40^\circ$

Выводы

Разработана математическая модель процесса бороздообразования сферодискового сошника для полосного сева. Получены аналитические зависимости формы и параметров борозды от углов ориентации сферодиска. Анализ уравнений показывает, что основные характеристики борозды определяются величиной диаметра диска и углов установки. Ширина борозды увеличивается с ростом угла афронтальности α и угла наклона β . Тем самым изменение углов ориентации сферодиска является эффективным инструментом управления бороздообразованием.

Библиографический список

1. Астахов, В.С. Посевная техника: анализ и перспективы развития / В. С. Астахов // Тракторы и сельхозмашины. - 1999.- № 10. - С. 6-9.
2. Царев Ю.А., Мельников Д.Г., Адамчукова Е.Ю. Ресурсосберегающие технологии предпосевного земледелия в РФ. Актуальные проблемы науки и техники. - 2018. - С. 682-684.
3. Бахмутов, В.А. Влияние равномерности размещения растений по площади на урожайность / В.А. Бахмутов, В.А. Любич // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1981.- № 5. - С. 9-11.
4. Веретенников Н. Сеялка-культиватор СК - 3,6/Н. Веретенников, Н. Максимов, А. Курочкин, О. Васильева // Сельский механизатор. - 2008. - № 1. - С. 14-15.
5. Киров, А.А. Обоснование процесса равномерного распределения семян по площади поля и параметров распределителя сошника для подпочвенно- разбросного посева: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. - Киннель, - 1984. - 218с.
6. Нартов, П.С. Дисковые почвообрабатывающие орудия/П.С.Нартов. - Воронеж: изд-во Воронежского университета, - 1973. - 181 с.
7. Завора В.А. Основы технологии и расчета мобильных процессов растениеводства/Завора В.А., Толокольников В.И., Васильев С.Н. — Барнаул, Изд-во АГАУ, - 2008 - 263 с.
8. Овсинский, И.Е. Новая система земледелия/И.Е.Овсинский. - Новосибирск: АГРО-СИБИРЬ, - 2004. - 86 с.
9. Ерусланов А.К. Сеялка-культиватор. Описание изобретения к патенту RU 2 680 954⁽¹³⁾С1//опубликовано 28.03.2019, бюл. №7 .https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002680954_20190228_C1_RU/viewer/: <https://eruslan.ru/>.
10. Кленин Н. И. Сельскохозяйственные машины: учебник для студ. вузов, обуч. по напр. "Агроинженерия"/Н.И. Кленин, С.Н. Киселев, А.Г. Левшин; [ред. Ю.А. Чичов]. – Москва: КолосС, - 2008. – 816 с.
11. Атнагулов Д. Т. Обоснование конструктивно-технологической схемы сошника и его параметров для полосного посева семян зерновых Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Уфа. -2012. - 21 с.
12. Канарёв, Ф.М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия / Ф.М. Канарёв. - М.: Машиностроение, - 1983. - 142 с.

References

1. Astahov, V.S. Posevnaya tekhnika: analiz i perspektivy razvitiya / V. S. Astahov // Traktory i sel'hozmashiny. - 1999.- № 10. - S. 6-9.
2. Carev YU.A., Mel'nikov D.G., Adamchukova E.YU. Resursosberegayushchie tekhnologii predposevnogo zemledeliya v RF. Aktual'nye problemy nauki i tekhniki. - 2018. - S. 682-684.
3. Bahmutov, V.A. Vliyanie ravnomernosti razmeshcheniya rastenij po ploshchadi na urozhajnost' / V.A. Bahmutov, V.A. Lyubich // Mekhanizatsiya i elek-trifikatsiya sel'skogo hozyajstva. - 1981.- № 5. - S. 9-11.
4. Veretennikov N. Seyalka-kul'tivator SK - 3,6/N. Veretennikov, N. Maksimov, A. Kurochkin, O. Vasil'eva // Sel'skij mekhanizator. - 2008. - № 1. - S. 14-15.

5. Kirov, A.A. Obosnovanie processa ravnomernogo raspredeleniya semyan po ploshchadi polya i parametrov raspredelitelya soshnika dlya podpochvenno- razbrosnogo poseva: Dissertaciya na soiskanie uchyonoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. - Kinnel', - 1984. - 218s.

6. Nartov, P.S. Diskovye pochvoobrabatyvayushchie orudiya/P.S.Nartov. - Voronezh: izd-vo Voronezhskogo universiteta, - 1973. - 181 s.

7. Zavora V.A. Osnovy tekhnologii i rascheta mobil'nyh processov rastenievodstva/Zavora V.A., Tolokol'nikov V.I., Vasil'ev S.N. — Barnaul, Izd-vo AGAU, - 2008 - 263 s.

8. Ovsinskij, I.E. Novaya sistema zemledeliya/I.E.Ovsinskij. - Novosibirsk: AGRO-SIBIR', - 2004. - 86 s.

9. Eruslanov A.K. Seyalka-kul'tivator. Opisanie izobreteniya k patentu RU 2 680 954(13)C1//opublikovano 28.03.2019, byul. №7 .https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002680954_20190228_C1_RU/viewer/: <https://eruslan.ru/>.

10. Klenin N. I. Sel'skohozyajstvennye mashiny: uchebnik dlya stud. vuzov, obuch. po napr. "Agroinzheneriya"/N.I. Klenin, S.N. Kiselev, A.G. Levshin; [red. YU.A. CHichov]. – Moskva: KolosS, - 2008. – 816 s.

11. Atnagulov D. T. Obosnovanie konstruktivno-tekhnologicheskoy skhemy soshnika i ego parametrov dlya polosnogo poseva semyan zernovyh Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. – Ufa. -2012. - 21 s.

12. Kanaryov, F.M. Rotacionnye pochvoobrabatyvayushchie mashiny i orudiya / F.M. Kanaryov. - M.: Mashinostroenie, - 1983. - 142 s.