

УДК 631.33.024.3

**ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЦ ВАРЬИРОВАНИЯ РАДИУСОВ ДИСКА И РЕБОРДЫ
ОДНОДИСКОВОГО СОШНИКА С СИММЕТРИЧНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ
ДВУХСТОРОННИМИ РЕБОРДАМИ-БОРОЗДКООБРАЗОВАТЕЛЯМИ**

В. Р. ПЕТРОВЕЦ, С. В. КУРЗЕНКОВ, Н. И. ДУДКО, Д. В. ГРЕКОВ

*УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Могилевская область, Беларусь, 213407, e-mail: petrovec_vr@mail.ru*

(Поступила в редакцию 03.01.2017)

Разработка принципиально новых дисковых сошников, теоретическое и экспериментальное обоснование их рациональных параметров с целью оптимизации посева сельскохозяйственных культур является актуальной задачей аграрной инженерии. В связи с этим в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии ведутся изыскания по выработке перспективной схемы однодискового сошника для узкорядного посева мелкосемянных сельскохозяйственных культур с симметрично расположенными двухсторонними ребордами-бороздкообразователями, работающего при нулевом угле атаки и обоснованию конструктивных ее особенностей. Предварительные экспериментальные исследования подтвердили перспективность предлагаемой конструкции сошника, подчеркнули пути ее дальнейшего совершенствования и направления исследования. В статье приводятся аналитические подходы к обоснованию границ варьирования радиусов диска и реборды исследуемого сошника. Они получены с учетом обеспечения условия стабильности и эффективности работы сошника – движения его элементов без скольжения при заданной максимальной глубине заделки семян и разрушения крупных фракций почвенного грунта на пути своего следования. Предложенные в статье подходы будут использованы при проведении поисковых экспериментов и оптимизации параметров исследуемого процесса.

Ключевые слова: *посев, дисковый сошник, реборда, бороздкообразователь, математическая модель, почва.*

The development of fundamentally new disc coulters, theoretical and experimental justification of their rational parameters for the purpose of optimizing the sowing of agricultural crops is an urgent task of agrarian engineering. In this regard, the Belarusian State Agricultural Academy is exploring the development of a promising one-disc coulters for narrow-sow planting of small-seed crops with symmetrically arranged double-sided flanges-furrows, operating at zero angle of attack and substantiating its structural features. Preliminary experimental studies confirmed the prospects of the proposed coulters design, underscored the ways of its further improvement and direction of research. The article presents analytical approaches to the substantiation of boundaries of variation of radii of the disk and flange of the opener in question. They are obtained taking into account the provision of stability and efficiency conditions of the opener – the movement of its elements without sliding at a given maximum depth of seeding and the destruction of large fractions of soil along its path. The approaches proposed in the article will be used in conducting search experiments and optimizing the parameters of the process under study.

Key words: *sowing, disc coulters, flange, furrower, mathematical model, soil.*

Введение

Для расчета сил, действующих на однодисковый сошник, необходимо тщательно изучить процесс взаимодействия его с почвой. Как статическая, так и динамическая система сошник-почва очень сложна, поэтому глубина изучения таких систем и протекающих в них процессов требует особого обоснования [1, 2, 3]. Необходимо учитывать целевую направленность результатов теоретических исследований. Обычно их используют для расчета сил, действующих на рабочие органы и машину в целом (для сокращения энергозатрат), обоснования геометрических и кинематических параметров рабочего органа, определения прочности конструкции и ее элементов, выявления условий устойчивости движения агрегатов и т. д. [3].

Таким образом, в практике необходим метод расчета сил и моментов, действующих на однодисковый сошник. Этот метод должен быть сравнительно простым, а его результаты близки к экспериментальным, так чтобы можно было использовать при отсутствии последних. Прежде всего, нужно проанализировать силы и моменты, действующие на рабочие органы при их равномерном движении или в условном статическом положении. Следующим этапом является переход от статической схемы сил и моментов, действующих на рабочие органы, к динамическому процессу взаимодействия их с почвой. При взаимодействии большинства рабочих органов с почвой процесс ее разрушения протекает под действием комплекса деформаций: сжатия, сдвига, изгиба, кручения и т. д.

Не всегда можно указать, какой вид деформации преобладает в том или ином случае. Напряжения, которые при этом возникают в почве, зависят от ее механического состава и влажности и изменяются в широком диапазоне. У большинства типов почв в наименьших диапазонах изменяются напряжения сдвига и сжатия. Но и эти характеристики прочности почвы могут значительно изменяться в зависимости от влажности. Такие показатели, как напряжение сдвига, сжатия, кручения и т. д., можно использовать в расчетах однодисковых сошников лишь в случаях постоянства свойств почвы и период обработки и преобладания определенных видов деформаций [2, 4, 5].

Основная часть

Элементы сошника при контактах его с почвой оказывают на нее силовое воздействие. При теоретическом исследовании реактивных сил, действующих на вращающиеся элементы сошника, предполагается, что они движутся без скольжения. В соответствии с выводами В. А. Желиговского [6] скольжение отсутствует до определенной глубины колеи (в нашем случае

почвенной щели Δ) и зависит от радиуса вращающегося элемента рабочего органа R и угла трения φ при движении его в почве. Связь между этими параметрами, при условии обеспечения движения без скольжения, устанавливается формулой:

$$\Delta \leq 2R \sin^2(\varphi). \quad (1)$$

Рассмотрим схему для обоснования границ варьирования радиусов диска и реборды исследуемого сошника [7] (рис. 1, а – вид элементов сошника сзади, б – вид диска и реборды сошника сбоку).

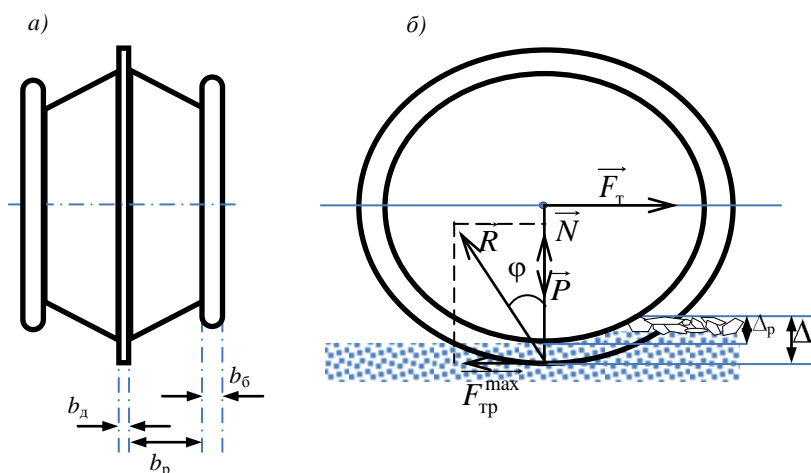


Рис. 1. Схема для обоснования границ варьирования радиусов диска и реборды исследуемого сошника

Разберемся, что в нашем случае представляет собой угол трения.

Если рассматривать движение тела по идеально гладкой поверхности, то в точке их соприкосновения действует реакция \vec{R} , направленная по нормали к поверхности. На шероховатой поверхности возникают силы трения скольжения. Поэтому реакцию шероховатой поверхности \vec{R} , в нашем случае почвы, представим в виде двух составляющих: нормальной реакции \vec{N} , равной по модулю силе нормального давления, и перпендикулярной ей силы трения $\vec{F}_{тр}$, т.е. $\vec{R} = \vec{N} + \vec{F}_{тр}$. Полная реакция образует с нормалью к поверхности некоторый угол, тангенс которого равен отношению силы трения и нормальной реакции. В случае, когда тело лежит на горизонтальной шероховатой поверхности и на него не действуют никакие внешние силы, кроме силы тяжести, полная реакция $\vec{R} = \vec{N}$ и перпендикулярна опорной поверхности. Приложив к телу силу \vec{F}_T , мы стремимся вызвать его движение, но оно не происходит, так как возникает сила трения $\vec{F}_{тр} = -\vec{F}_T$, причем сила трения меньше некоторого максимального значения $\vec{F}_{тр} \leq \vec{F}_{тр}^{max}$, при котором наблюдается равновесие системы. С увеличением силы \vec{F}_T будет возрастать и сила $\vec{F}_{тр}$. Наконец, наступит предельное состояние равновесия, при котором полная реакция \vec{R} отклонится от вертикали на предельный угол φ , называемый **углом трения и затем начнется движение тела**. Тангенс этого угла находится по формуле:

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{\vec{F}_{тр}^{max}}{\vec{N}} = f$$

и равен коэффициенту трения, а значит $\varphi = \arctg(f)$.

Известно, что для мелкосемянных культур и большинства зерновых культур достаточно заделывать семена на глубину от 0,02 до 0,06 м.

Это та глубина, при которой элементы сошника будут двигаться в почве заведомо без скольжения, т. е. будут удовлетворять условию (1). Для предлагаемого сошника глубина заделки семян связана с заглублением диска посредством формулы:

$$\Delta_d = \Delta_б + R_d - R_{ц.б}, \quad (2)$$

где Δ_d – величина заглубления диска, м; $\Delta_б$ – величина заглубления бороздкообразователя, м; R_d – радиус диска, м; $R_{ц.б}$ – наибольший радиус бороздкообразователя, м.

Тогда, согласно (1), с учетом условия, что элементы сошника двигаются в почве без скольжения, его конструктивные и технологические параметры будут связаны с его углом трения φ следующим ограничением:

$$\Delta_6 + R_d - R_{ц.6} \leq 2R_d \cdot \sin^2(\varphi). \quad (3)$$

Выразим из него радиус диска:

$$R_d - 2R_d \cdot \sin^2(\varphi) \leq R_{ц.6} - \Delta_6, \quad R_d(1 - 2 \cdot \sin^2(\varphi)) \leq R_{ц.6} - \Delta_6, \quad \text{или} \quad R_d \cos(2\varphi) \leq R_{ц.6} - \Delta_6, \quad \text{откуда следует, что}$$

$$R_d \leq \frac{R_{ц.6} - \Delta_6}{\cos(2\varphi)}. \quad (4)$$

В работе [8, 9] была приведена расчетная схема исследуемого сошника и было показано, что

$$R_{ц.6} = r_6 + \delta_6 + \frac{b_6}{2} = R_p - \left(b_p + \frac{b_6}{2} \right) \cdot \text{ctg}(\mu) + \delta_6 + \frac{b_6}{2}, \quad (5)$$

где r_6 – мнимый радиус реборды в центре бороздкообразователя, м; δ_6 – величина смещения центра дуги окружности, характеризующей закругление бороздкообразователя, от продолжения реборды, м; b_6 – ширина бороздкообразователя, м; R_p – наибольший радиус конической части реборды, м; b_p – ширина реборды, м; μ – конусность реборды (рад). Тогда с учетом (5) формула (4) переписывается в виде:

$$R_d \leq \frac{R_p - \left(b_p + \frac{b_6}{2} \right) \cdot \text{ctg}(\mu) + \delta_6 + \frac{b_6}{2} - \Delta_6}{\cos(2\varphi)}. \quad (6)$$

Формула (6) устанавливает ограничение на выбираемый радиус диска сошника при условии стабильного установившегося его движения без скольжения в почве.

Еще одним важным элементом исследуемого сошника является реборда-бороздкообразователь. Форма именно этого элемента при движении сошника под нагрузкой копируется почвой, образуя при этом почвенную щель. Поэтому радиус реборды напрямую связан с эффективностью протекания изучаемого технологического процесса. Исходя из теории расчета катков [10], можно выдвинуть предположение, что для эффективной работы реборды-бороздкообразователя наибольший радиус ее конической части должен быть таким, чтобы при встрече с комками почвы этот элемент легко перекачивался через них и давление сошника концентрировалось на них. При этом комки почвы либо разрушались, либо вдавливались в почву. В нашем случае это условие предполагает, что значение наибольшего радиуса конической части реборды подчиняется неравенству:

$$R_p \geq \frac{\Delta_p}{2} \cdot \text{ctg}^2\left(\frac{\varphi + \varphi_1}{2}\right), \quad (7)$$

где Δ_p – заглубление наибольшего радиуса конической части реборды, м; φ_1 – угол трения вращающегося стального элемента в почве с большим присутствием комков (принимается 18°).

Заглубление наибольшего радиуса конической части реборды равно:

$$\Delta_p = \Delta_6 + R_p - R_{ц.6} = \Delta_6 + R_p - R_p + \left(b_p + \frac{b_6}{2} \right) \cdot \text{ctg}(\mu) - \delta_6 - \frac{b_6}{2} = \Delta_6 + \left(b_p + \frac{b_6}{2} \right) \cdot \text{ctg}(\mu) - \delta_6 - \frac{b_6}{2}. \quad (8)$$

С учетом (8) условие (7) примет вид:

$$R_p \geq \frac{\Delta_6 + \left(b_p + \frac{b_6}{2} \right) \cdot \text{ctg}(\mu) - \delta_6 - \frac{b_6}{2}}{2} \cdot \text{ctg}^2\left(\frac{\varphi + \varphi_1}{2}\right). \quad (9)$$

Условие (9) позволяет определить минимально возможное значение параметра R_p с учетом условия разрушения или вдавливания комков элементами исследуемого сошника.

Заключение

Проанализируем возможные значения конструктивных параметров исследуемого сошника R_d , R_p с учетом соблюдения условий (6) и (9).

На основании справочных материалов [11] известно, что коэффициент трения f стали по почвенному грунту изменяется от 0,325 до 0,8, а значит, угол трения для большинства почв лежит в пределах от 18° до 39° . В нашем случае экспериментально установлено, что значения угла φ для почв Горьковского района изменяются от 29° до 31° (с учетом предпосевной их обработки).

Для определенности возьмем угол $\varphi=30^\circ$, или $\pi/6$ рад, угол $\varphi_1=18^\circ$, или $\pi/10$ рад, конусность конической части реборды $\mu=60^\circ$, или $\pi/3$ рад, ширину конической части реборды $b_p=0,025$ м и бороздкообразователя $b_6=0,0075$ м, величину смещения центра дуги окружности, характеризующей закругление бороздкообразователя, от продолжения реборды $\delta_6=0,005$ м. Предположим, что требуется высевать семена на глубину $\Delta_6=0,05$ м, учитывая допустимый согласно агротехническим требованиям размер комков в обрабатываемом слое до 30 мм (0,03 м).

Тогда, согласно формуле (9), наибольший радиус конической части реборды будет ограничен снизу величиной

$$R_p \geq \frac{0,05 + \left(0,025 + \frac{0,0075}{2}\right) \cdot \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{3}\right) - 0,005 - \frac{0,0075}{2}}{2} \cdot \operatorname{ctg}^2\left(\frac{\frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{10}}{2}\right), \text{ т.е. } R_p \geq 0,13 \text{ м.}$$

Данное ограничение позволяет нам выбрать в качестве значения наибольшего радиуса конической части реборды величину $R_p=0,152$ м и подобрать для принятого значения с учетом условия (6) возможную величину радиуса диска

$$R_d \leq \frac{0,152 - \left(0,025 + \frac{0,0075}{2}\right) \cdot \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{3}\right) + 0,005 + \frac{0,0075}{2} - 0,05}{\cos\left(2 \cdot \frac{\pi}{6}\right)}, \text{ т.е. } R_d \leq 0,2 \text{ м.}$$

Тогда радиус диска мы можем принять равным $R_d=0,182$ м.

Если $R_d=0,182$ м, $R_p=0,152$ м, то для заглабления бороздкообразователя на величину $\Delta_6=0,05$ м, диск и наибольший радиус конической части сошника согласно формулам (2) и (8) будут заглаблены соответственно на глубину $\Delta_d=0,09$ м и $\Delta_p=0,06$ м. При этом гарантированно обеспечиваются условия того, что элементы сошника будут двигаться без скольжения, а щелеобразующие элементы будут избавляться от комков на пути своего следования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петровец, В. Р. Обзор и исследование одно- и двухсторонних современных дисковых сошников / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, С. В. Авсюкевич // Вестник БГСХА. – 2009. – №1. – С. 152–158.
2. Ильин, В. И. Посев сельскохозяйственных культур сеялкой с однодисковыми сошниками и опорно-прикатывающими катками / диссертация кандидата технических наук 05.20.01 / В. И. Ильин. – Горки, 1991. – 183 с.
3. Набатян, М. П. Экспериментальное теоретическое исследование параметров дисковых сошников зерновой сеялки для работы на повышенных скоростях: дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / М. П. Набатян. – М., 1972. – 166 с.
4. Мацепуро, М. Е. Основные предпосылки к разработке технологии посева / М. Е. Мацепуро, В. А. Новичихин // Вопросы технологии механизированного с.-х. производства, ч.1. – Минск: Госиздат БССР, 1963, с. 132–175.
5. Петровец, В. Р. Перспективные направления в развитии механизации обработки почвы и посева зерновых культур / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, С. В. Авсюкевич // Вестник БГСХА. – Горки. – 2007. – №3. – С. 142–149.
6. Желиговский, В. А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов / В. А. Желиговский. – Тбилиси: Изд-во Груз. СХИ, 1960. – 146 с.
7. Петровец, В. Р. Комбинированный однодисковый сошник с симметрично расположенными двухсторонними ребордами – бороздкообразователями и нулевым углом атаки / В. Р. Петровец, С. В. Курзенков, Н. И. Дудко, Д. В. Греков // Вестник БГСХА. – 2016. – № 3. – С. 137–140.
8. Петровец, В. Р. Математическая модель комбинированного однодискового сошника для узкорядного посева с симметрично расположенными двухсторонними ребордами-бороздкообразователями и нулевым углом атаки / В. Р. Петровец, С. В. Курзенков, Н. И. Дудко, Д. В. Греков // Вестник БГСХА. – 2016. – № 4. – С. 94–97.
9. Петровец, В. Р. Математическая модель уплотнения почвы в бороздках, образованных однодисковым сошником с нулевым углом атаки и симметрично расположенными двухсторонними ребордами-бороздкообразователями для узкорядного посева мелкосемянных культур / В. Р. Петровец, С. В. Курзенков, Н. И. Дудко, Д. В. Греков // Вестник БГСХА. – 2016. – № 4. – С. 98–100.
10. Капустин, А. Н. Основы теории и расчета машин для основной и поверхностной обработки почв, посевных машин и машин для внесения удобрений: курс лекций / А. Н. Капустин. – Томск, 2013. – 134 с.
11. Технические таблицы: [Электронный ресурс] // TehTab.ru 2006–2016. – Режим доступа: <http://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics>. – Дата доступа: 14.10.2016.