

УДК [635.65: 631.33.024.3]

**УРАВНЕНИЯ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ ТОЧЕК ЭЛЕМЕНТОВ ОДНОДИСКОВОГО СОШНИКА С СИММЕТРИЧНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ДВУХСТОРОННИМИ РЕБОРДАМИ-БОРОЗДКООБРАЗОВАТЕЛЯМИ И НУЛЕВЫМ УГЛОМ АТАКИ**  
**В. Р. ПЕТРОВЕЦ, С. В. КУРЗЕНКОВ, Н. И. ДУДКО, Д. В. ГРЕКОВ**

*УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Беларусь, 213407, e-mail: petrovec\_vr@mail.ru*

*(Поступила в редакцию 03.01.2017)*

*Сотрудниками кафедры механизации и практического обучения Белорусской государственной сельскохозяйственной академии разработана принципиально новая конструкция дискового сошника. Особенность ее конструкции заключается в том, что дисковый сошник работает при нулевом угле атаки. Это позволяет практически до нуля снизить выброс почвы при движении сошника, увеличить скорость посевного агрегата и реализовать узкорядный посев мелкозерянных сельскохозяйственных культур. Процесс сева во многом зависит от движения в целом посевного агрегата и в частности единичного сошника и его элементов. Поэтому в рассмотренной статье приводится методика расчета и анализа динамики движения элементов исследуемого сошника, которая позволяет связать конструктивные его параметры с кинематическими параметрами движения его основных элементов: диска, реборды и бороздкообразователя. Результаты этой методики могут быть использованы при планировании экспериментальных исследований узкорядного посева сельскохозяйственных культур однодисковыми сошниками с нулевым углом атаки и симметрично расположенными ребордами-бороздкообразователями и расчете сошниковых групп предлагаемой конструкции.*

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

*Employees of the Department of Mechanization and Practical Training of the Belarusian State Agricultural Academy developed a fundamentally new design of the disc coulters. The design peculiarity is that the disc coulters operates at zero angle of attack. This allows reducing soil release during the coulters movement practically to zero, increasing the speed of seeding unit and realizing narrow seeding of small-seeded agricultural crops. The process of sowing depends to a large extent on the movement of the whole sowing machine and, in particular, of a single coulters and its elements. Therefore, in this article we have presented methods of calculation and analysis of the dynamics of movement of the examined coulters elements, which allows us to relate its constructive parameters to the kinematic parameters of movement of its main elements: a disk, a flange and a furrow-maker. Results of these methods can be used in planning experimental studies of narrow-row sowing of crops with one-disk coulters with zero angle of attack and symmetrically arranged furrow-making flanges and in calculating coulters groups of the proposed design.*

**Key words:** sowing, disc coulters, flange, furrow-maker, mathematical model, soil.

### **Введение**

Сошник является одним из рабочих органов сеялки. По своему устройству сошники могут быть дисковыми, анкерными, килевидными, полозовидными. От качества работы сошников зависит степень заделки семян и их распределение, что в значительной мере определяет их всхожесть и развитие растений. Рабочий процесс сошника складывается из трех фаз: образование бороздки, размещение в ней семян, частичной или полной их заделки. Поэтому качество работы сошниковой группы определяется оптимальной глубиной заделки семян, равномерностью их распределения в бороздке и равномерностью заделки почвой бороздки. Глубина заделки зависит от вида высеваемых семян, срока посева, влажности и механического состава почвы. Например, семена зерновых колосовых на тяжелых дерново-подзолистых почвах рекомендуется заделывать на глубину 2–3, на средних суглинках и торфяных почвах 3–4, на легких супесчаных почвах 4–5 см [1, 2].

Уменьшение глубины посева может привести к вымерзанию всходов озимых и изреженности всходов яровых. При излишне глубокой заделке всходят ослабленные растения, а часть ростков гибнет, так как не может пробиться к свету. Кроме этого, неравномерное размещение семян по глубине ведет к недружному развитию растений и созреванию зерна [3, 4]. Исследования показывают [5–7], что отклонение от оптимальной глубины сева на 10 мм, например зерновых культур, ведет к снижению полевой всхожести в зависимости от высеваемой культуры на 5–10 %. При этом снижение урожайности происходит более интенсивно – на 12–30 %.

Неравномерность заделки семян в ходе сева возникает из-за того, что после прохода сошника почва, удерживаемая боковыми стенками, осыпается в поперечном направлении. С поперечной осыпи образуется продольная, которая оказывается уже во внутренней части сошника. Если семена попадут на осыпь, то они будут заделаны на различную глубину даже в том случае, если глубина хода сошника останется постоянной. С другой стороны, на неравномерность заделки семян влияет то, что работа сошника сопровождается образованием предсошникового холма, развивающегося за счет выноса почвы из бороздки на некоторое расстояние вперед и в стороны. Минимизация выброса почвенного слоя в процессе движения сошников является актуальной задачей.

Сотрудниками Белорусской государственной сельскохозяйственной академии разработана принципиально новая конструкция дискового сошника. Ее особенность заключается в том, что дисковый сошник работает при нулевом угле атаки. Это позволяет практически до нуля снизить выброс почвы при движении сошника, увеличить скорость посевного агрегата и реализовать ускоренный посев мелкозерновых сельскохозяйственных культур.

### Основная часть

Процесс сева во многом зависит от движения в целом посевного агрегата и в частности единичного сошника и его элементов. Поэтому рассмотрим движение элементов предлагаемого однодискового сошника, конструкция и принцип работы которого были подробно представлены в работах [8–10]. Примем за его исходные данные (рис. 1) радиусы: диска –  $R_d$ , реборды –  $R_p$ , бороздкообразователя –  $R_b$ , реборды в начале бороздкообразователя –  $r_1$ , в его середине –  $r_b$ . Зададимся толщиной элементов сошника:  $b_d$  – диска,  $b_p$  – реборды,  $b_b$  – бороздкообразователя, а также конусностью реборды –  $\mu$  и параметром, характеризующим положение центра закругления бороздкообразователя –  $\delta_b$ .

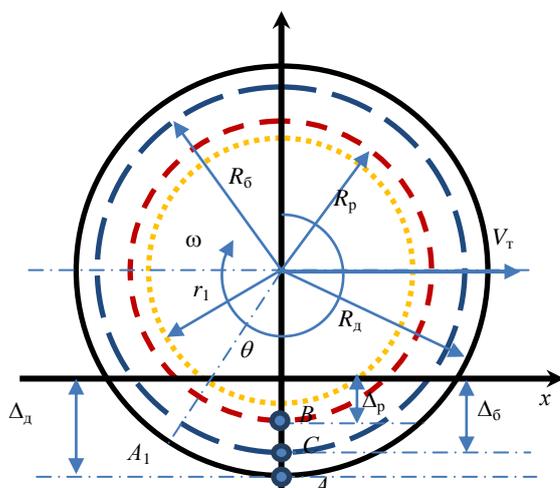


Рис. 1. Схема к расчету траекторий движения точек исследуемого сошника

Сделаем привязку рабочего органа к декартовой системе координат согласно рис. 1 с учетом введенных обозначений и заглупления его элементов.

Пусть сошник движется без скольжения под действием тягового усилия трактора с постоянной скоростью  $V_t$  (км/ч) и заглуплением его элементов соответственно: диска – на величину  $\Delta_d$ , большего радиуса реборды –  $\Delta_p$ , бороздкообразователя –  $\Delta_b$ . Так как диск, реборды и бороздкообразователи сошника имеют единую ось вращения, жестко связаны между собой и вращаются без проскальзывания и буксования, то изменение угла  $\theta$  поворота точек сошника во времени  $t$  (с) свяжем с угловой скоростью его вращения  $\omega$  (рад/с):

$$\theta(t) = \omega \cdot t \quad (1)$$

В свою очередь угловая скорость сошника  $\omega$  определяется как

$$\omega = \frac{V_t}{3,6 \cdot R_d} = \frac{5}{18} \cdot \frac{V_t}{R_d} \quad (2)$$

Тогда с учетом (2) формулу изменения угла  $\theta$  поворота точек сошника (1) можно переписать в виде:

$$\theta(t) = \frac{5}{18} \cdot \frac{V_t}{R_d} \cdot t \quad (3)$$

Рассмотрим движение точки  $A$ , лежащей на кромке диска сошника (рис. 2). Можно заметить, что за время

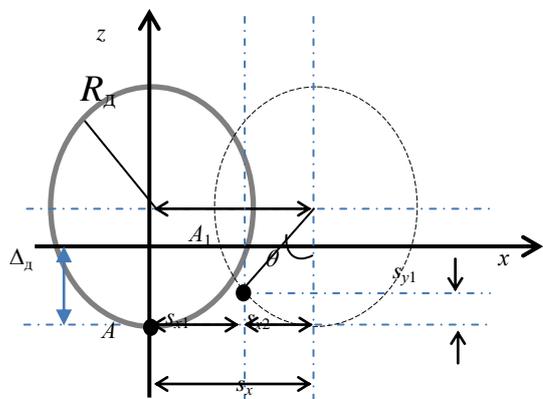


Рис. 2. Схема к расчету траектории движения точек, лежащих на кромке диска

$t$  центр сошника продвинется вдоль оси  $Ox$  на расстояние  $s_x = \frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18}$  (м), при этом точка  $A(0; -\Delta_d)$  перейдет в точку  $A_1(x_{A1}; y_{A1})$ , сместившись по дуге диска на угол  $\theta$ . Нетрудно заметить, что по оси  $Ox$  точка  $A$  пройдет путь, равный смещению центра сошника, уменьшенный на величину  $s_{x2} = R_d \cdot \sin(\theta)$ , т.е.

$$x_{A1} = s_{x1} = s_x - s_{x2} = \frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18} - R_d \cdot \sin(\theta). \quad (4)$$

По оси  $Oy$  ордината точки  $A$  сместится вверх на величину  $s_{y1} = R_d - R_d \cdot \cos(\theta)$ , т.е.

$$y_{A1} = R_d - R_d \cdot \cos(\theta) - \Delta_d. \quad (5)$$

Тогда точки, лежащие на кромке диска, будут двигаться по циклоиде, которая с учетом формулы (3) определяется параметрической системой уравнений:

$$\begin{cases} x_a(t) = R_a \cdot \left( \frac{5}{18} \cdot \frac{V_\tau}{R_a} \cdot t - \sin\left(\frac{5}{18} \cdot \frac{V_\tau}{R_a} \cdot t\right) \right), \\ z_a(t) = R_a \cdot \left( 1 - \cos\left(\frac{5}{18} \cdot \frac{V_\tau}{R_a} \cdot t\right) \right) - \Delta_a. \end{cases} \quad (6)$$

Данная циклоида согласно [11] будет характеризоваться следующими параметрами: периодом –  $T = 2\pi \cdot R_d$ , амплитудой –  $a = 2 \cdot R_d$ , радиусом кривизны –  $\rho = 4R_d$ .  $\sin\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{2 \cdot 18 \cdot R_a}\right) = 4R_a \cdot \sin\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{36 \cdot R_a}\right)$ .

Найдем проекции на оси координат абсолютной скорости точки  $A$ :

$$\overline{V_x^a} = \frac{dx_a(t)}{dt} = \frac{d\left[R_a \cdot \left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a} - \sin\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a}\right)\right)\right]}{dt} = \frac{5V_\tau}{18} - \frac{5V_\tau}{18} \cdot \cos\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a}\right), \quad (7)$$

$$\overline{V_z^a} = \frac{dz_a(t)}{dt} = \frac{d\left[R_a \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a}\right)\right) - \Delta_a\right]}{dt} = \frac{5 \cdot V_\tau}{18} \cdot \sin\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a}\right). \quad (8)$$

Тогда скорость точек, лежащих на кромке диска, будет определяться вектором:

$$\overline{V}_a = \frac{5V_\tau}{18} \cdot \left( \left(1 - \cos\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a}\right)\right) \vec{i} + \sin\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a}\right) \cdot \vec{k} \right), \quad (9)$$

а ее величина будет равна:

$$\begin{aligned} |\overline{V}_a| &= \frac{5V_\tau}{18} \cdot \sqrt{\left(1 - \cos\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a}\right)\right)^2 + \sin^2\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a}\right)} = \frac{5V_\tau}{18} \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot \cos\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a}\right) + \cos^2\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a}\right) + \sin^2\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a}\right)} = \\ &= \frac{5V_\tau}{18} \cdot \sqrt{2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a}\right)} = \\ &= \frac{5 \cdot V_\tau}{18} \cdot \sqrt{2 \cdot 2 \cdot \sin^2\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a}\right)} = \frac{2 \cdot 5 \cdot V_\tau \cdot \left|\sin\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a}\right)\right|}{18} = \frac{5}{9} \cdot V_\tau \cdot \left|\sin\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a}\right)\right|. \end{aligned} \quad (10)$$

Длину дуги, а значит и длину траектории движения точки  $A$ , лежащей на кромке диска сошника, за время движения  $t$  можно определить по формуле:

$$\ell = \int_0^\tau |\overline{V}_a| dt = \frac{5}{9} \cdot V_\tau \cdot \int_0^\tau \left|\sin\left(\frac{5 \cdot V_\tau \cdot t}{18 \cdot R_a}\right)\right| dt, \quad (11)$$

где  $\tau$  – текущее время измерения, с.

По аналогии с точками, лежащими на кромке диска, определяются траектории движения точек реборд (например точки С рис.1) и бороздкообразователей (например точки В рис.1), а также их кинематические параметры.

Траектории движения этих точек будут представлять собой циклоиды, которые определяются соответственно системами параметрических уравнений:

$$\text{– для реборды} \quad \begin{cases} x_p(t) = \frac{5V_T}{18} \cdot t - R_p \cdot \sin\left(\frac{5}{18} \cdot \frac{V_T}{R_d} \cdot t\right), \\ z_p(t) = R_d - R_p \cdot \cos\left(\frac{5}{18} \cdot \frac{V_T}{R_d} \cdot t\right) - \Delta_d, \end{cases} \quad (12)$$

$$\text{– для бороздкообразователя} \quad \begin{cases} x_6(t) = \frac{5V_T}{18} \cdot t - R_6 \cdot \sin\left(\frac{5}{18} \cdot \frac{V_T}{R_d} \cdot t\right), \\ z_6(t) = R_d - R_6 \cdot \cos\left(\frac{5}{18} \cdot \frac{V_T}{R_d} \cdot t\right) - \Delta_d. \end{cases} \quad (13)$$

Согласно формулам (12) и (13) определяются скорости этих точек и длины траекторий их движения:

– скорости точек реборды и бороздкообразователя соответственно:

$$|\bar{v}_p| = \frac{5V_T}{18R_d} \cdot \sqrt{R_p^2 + R_d^2 - 2 \cdot R_p \cdot R_d \cos\left(\frac{5 \cdot V_T \cdot t}{18 \cdot R_d}\right)}; \quad (14)$$

$$|\bar{v}_6| = \frac{5V_T}{18R_d} \cdot \sqrt{R_6^2 + R_d^2 - 2 \cdot R_6 \cdot R_d \cos\left(\frac{5 \cdot V_T \cdot t}{18 \cdot R_d}\right)}; \quad (15)$$

– длины траекторий, пройденной точкой реборды и бороздкообразователя:

$$\ell_p = \int_0^{\tau} \sqrt{\left(\frac{d}{dt}[x_p(t)]\right)^2 + \left(\frac{d}{dt}[z_p(t)]\right)^2} dt = \frac{5V_T}{18R_d} \cdot \int_0^{\tau} \sqrt{R_p^2 + R_d^2 - 2 \cdot R_p \cdot R_d \cos\left(\frac{5 \cdot V_T \cdot t}{18 \cdot R_d}\right)} dt; \quad (16)$$

– длина траектории, пройденной точкой:

$$\ell_6 = \int_0^{\tau} \sqrt{\left(\frac{d}{dt}[x_6(t)]\right)^2 + \left(\frac{d}{dt}[z_6(t)]\right)^2} dt = \frac{5V_T}{18R_d} \cdot \int_0^{\tau} \sqrt{R_6^2 + R_d^2 - 2 \cdot R_6 \cdot R_d \cos\left(\frac{5 \cdot V_T \cdot t}{18 \cdot R_d}\right)} dt. \quad (17)$$

где  $\tau$  – текущее время, с.

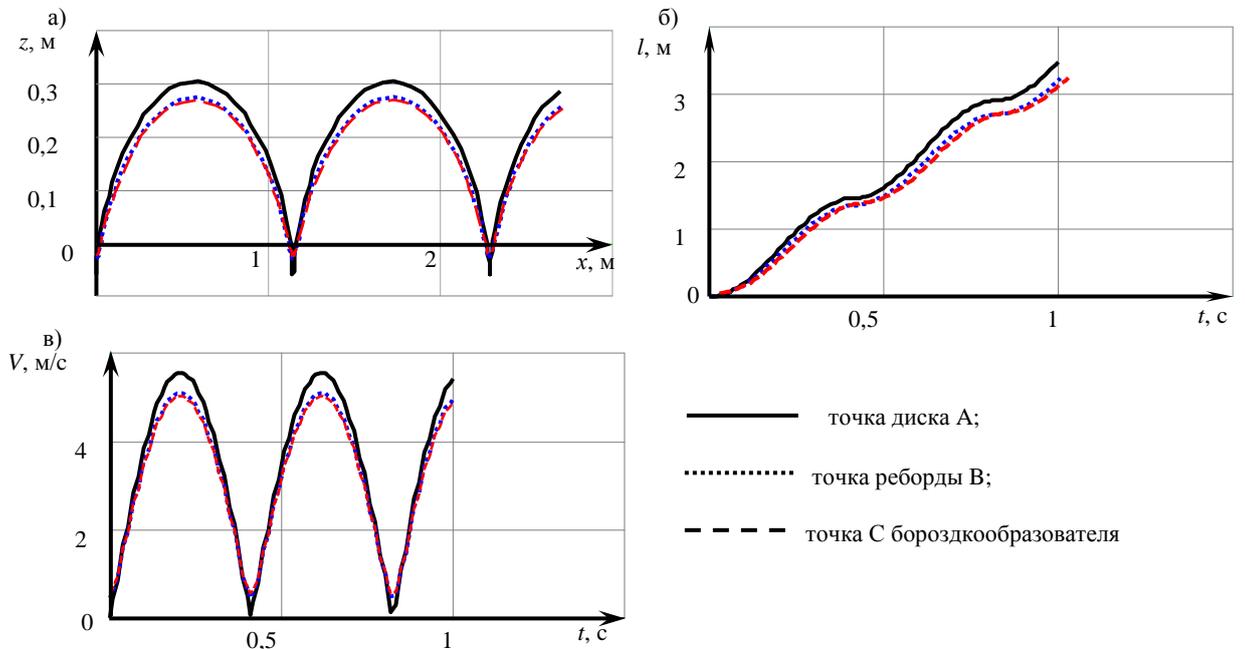


Рис. 3. Графические зависимости изменения траекторий движения (а), их длин (б) и скоростей (в)

На рис. 3 приведен пример графических зависимостей движения точек диска, реборды и бороздкообразователя исследуемого сошника в плоскости  $xOz$  с реализацией расчетов в математическом пакете MathCad. Для этого были зафиксированы значения следующих параметров: скорости движения трактора  $V_T=10$  м/с, радиуса диска  $R_d=0,182$  м и его тол-

щины  $b_d=0,005$  м, радиуса реборды  $R_p=0,152$  м, ее толщины  $b_p=0,025$  м и конусности  $\mu=60^\circ$ , толщины бороздкообразователя  $b_6=0,01$  м и параметра, характеризующим положение центра закругления бороздкообразователя  $\delta_6=0,007$  м, заглубления диска  $\Delta_d=0,06$  м (рис. 4, блок исходных данных). На основании этих значений рассчитаны угловая скорость движения  $\omega=15,236$  рад/с (2), радиус бороздкообразователя  $R_6=0,147$  м, период  $T=1,144$  м и амплитуду  $a=0,364$  м циклоиды, характеризующей траекторию движения диска сошника. На основании формул (6), (12), (13) составлены системы параметрических уравнений движения элементов сошника. Используя формулы (10, 11, 14–17), определены функции, которые характеризуют изменение скоростей и длин траекторий рассматриваемых точек.

Анализ графических зависимостей показывает, что в рамках 1 со времени движения сошника точки его элементов будут двигаться по циклоидам. При смещении сошника на 2,8 м, его точки диска пройдут расстояние 3,5 м, реборды – 3,24 м, бороздкообразователя – 3,2 м. При скорости сошника 2,8 м/с скорости точек диска будут изменяться от 0 до 5,56 м/с, реборды – от 0,46 до 5,1 м/с, бороздкообразователя – от 0,54 до 5 м/с.

### **Заключение**

Таким образом, рассмотренная в работе методика расчета и анализа позволяет связать конструктивные параметры исследуемого сошника с кинематическими параметрами движения его основных элементов: диска, реборды и бороздкообразователя. Ее результаты могут быть использованы при планировании экспериментальных исследований узкорядного посева сельскохозяйственных культур однодисковыми сошниками с симметрично расположенными ребордами-бороздкообразователями и нулевым углом атаки и расчете сошниковых групп предлагаемой конструкции.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. 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. – 2007. – №3. – С. 142–149.
2. Петровец, В. Р. Обзор и исследование одно- и двухстрочных современных дисковых сошников / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, С. В. Авсюкевич // Вестник БГСХА. – 2009. – №1. – С. 152–158.
3. Петровец, В. Р. Технологии и машины для посева зерновых культур / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, С. В. Авсюкевич. – Горки, 2008. – 20 с.
4. Комаристов, В. Е. Влияние поступательной скорости зерновой сеялки на качество посева / Конструкция и технология производства сельскохозяйственных машин / В. Е. Комаристов. – Киев, 1974. – Вып. 4. – С. 30–34.
5. Исследование двухдисковой сошниковой группы на посевах зерновых культур / В. Р. Петровец [и др.] // Вестник БГСХА. – 2009. – №2. – С. 151–156.
6. Петровец, В. Р. Посев зерновых культур дисковыми сошниками с усеченно-конусными бороздкообразователями-уплотнителями: монография / В. Р. Петровец, С. В. Авсюкевич, Н. И. Дудко. – Горки, 2015. – 212 с.
7. Точицкий, А. А. Изыскание и исследование сошников к зернотуковым сеялкам для посева на торфяных почвах / диссертация кандидата технических наук 05.20.01 // А. А. Точицкий. – Минск, 1981. – 206 с.
8. Комбинированный однодисковый сошник с симметрично расположенными двухсторонними ребордами – бороздкообразователями и нулевым углом атаки / В. Р. Петровец [и др.] // Вестник БГСХА. – 2016. – № 3. – С. 137–140.
9. Математическая модель комбинированного однодискового сошника для узкорядного посева с симметрично расположенными двухсторонними ребордами-бороздкообразователями и нулевым углом атаки / В. Р. Петровец [и др.] // Вестник БГСХА. – 2016. – № 4. – С. 94–97.
10. 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 [и др.] // Вестник БГСХА. – 2016. – № 4. – С. 98–100.
11. Воднев, В. Т. Основные математические формулы: справочник / В. Т. Воднев, А. Ф. Наумович, Н. Ф. Наумович; под редакцией Ю.С. Богданова. – 2-е изд., испр. и перераб. – Минск: Вышэйшая школа.