

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ЯЧЕИСТО-ДИСКОВОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОСЕВА АМАРАНТА МЕТЕЛЬЧАТОГО

Артамонов Евгений Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: artamonov.evgenij.ivanovich@mail.ru.

Котов Дмитрий Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: kotov_dn@ssaa.ru

Артамонова Ольга Александровна, ст. преподаватель кафедры «Механика и инженерная графика», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

E-mail: art.olja@mail.ru.

Ключевые слова: амарант, высев, устройство, диск.

Цель исследования – повышение равномерности высева семян амаранта метельчатого ячеисто-дисковым высевающим устройством. Одним из условий, позволяющих обеспечить достижение высокой планируемой урожайности амаранта, является его точный посев с заданным межсеменным интервалом. Равномерное распределение семян и растений необходимо в связи с высокими требованиями к зоне питания. Анализ существующей агропрактики и конструкций современных высевающих устройств для мелкосемянных культур показывает, что они не позволяют полностью выполнить агропотребования по точности распределения семян в рядке при посеве амаранта с вариацией межсеменных интервалов (10-15%) и малой нормой высева (0,3-0,5 кг/га), ввиду особо малых размеров семян и особенностей их физико-механических свойств. В связи с этим, была разработана конструктивно-технологическая схема ячеисто-дискового высевающего устройства, позволяющего проводить посев семян амаранта с малыми нормами высева и высокой продольной равномерностью распределения семян в рядке. Новизна конструкции ячеисто-дискового высевающего устройства подтверждена патентами Российской Федерации на изобретение и полезную модель №61981, №2347349 соответственно. Проведено теоретическое обоснование основных конструктивных и режимных параметров механического ячеисто-дискового высевающего устройства для посева амаранта, в частности аналитическим путем, определены: параметры ячейки высевающего диска, а также скорость движения семян относительно ячеистого высевающего диска. В результате теоретических исследований были обоснованы геометрические параметры ячейки: максимальный диаметр ячейки $D_{\max_j} = 1,42$ мм, максимальная глубина ячейки $H_{\max_j} = 1,62$ мм, а также условия западения семян амаранта в ячейку высевающего диска, а именно критическая скорость семен $v_{\text{кр}} = 0,074$ м/с и критическая частота вращения высевающего диска $n_o^{\text{кр}} \leq 17$ мин⁻¹, при которой будет обеспечиваться западение семян амаранта в ячейку высевающего диска.

Одним из условий, позволяющих обеспечить достижение высокой планируемой урожайности амаранта, является его точный посев с заданным межсеменным интервалом. Равномерное распределение семян и растений необходимо в связи с высокими требованиями к зоне питания [1]. Анализ существующей агропрактики и конструкций современных высевающих устройств для посева мелкосемянных культур показывает, что они не позволяют полностью выполнить агропотребования по норме высева и точности распределения семян в рядке при посеве амаранта, ввиду особо малых размеров семян и особенностей их физико-механических свойств [2, 3, 4, 5].

Цель исследований – повышение равномерности высева семян амаранта метельчатого ячеисто-дисковым высевающим устройством.

Задача исследований – теоретически обосновать основные конструктивные и режимные параметры ячеисто-дискового высевающего устройства.

Материалы и методы исследований. Для решения поставленной задачи авторами на кафедре «Технический сервис» ФГБОУ ВО Самарской ГСХА было разработано ячеисто-дисковое высевающее устройство [6, 7].

Результаты исследований. Разработанное высевающее устройство (рис. 1) состоит из следующих элементов: корпус 1, ячеистый диск 2, корпус отражателя семян 3, корпус семяпровода 4, бункер 5, ячейка 6, выталкиватель семян 7, сошник 8, отражатель 9, уплотняющее кольцо 10, механизм поджатия отражателя 11.

Высевающее устройство работает следующим образом. Семена амаранта засыпаются в бункер 5 (рис. 1), под действием сил гравитации они заполняют полость в корпусе семяпровода 4 до ячейистого диска 2 и корпуса отражателя семян 3. При вращении ячейистого диска 2 ячейки 6, выполненные на периферической поверхности диска в один ряд, проходят под слоем семян и заполняются. Семена, не попавшие в ячейки, но двигающиеся в активном слое, отражаются отражателем семян 9 в полость корпуса семяпровода 4. Ячейистый диск 2 гарантированно транспортирует семена, запавшие в ячейки 6, без повреждений и выпадения. Семена удерживаются уплотняющим кольцом 10 до встречи с выталкивателем семян 7, который сбрасывает их на дно борозды, сформированное сошником 8.

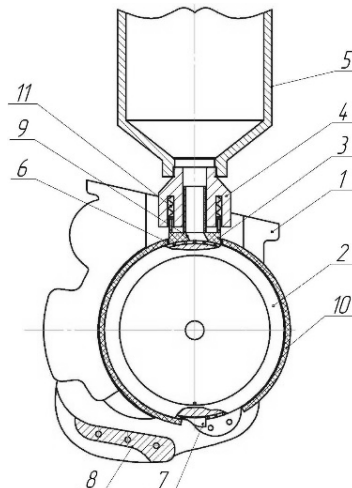


Рис. 1. Схема ячейисто-дискового высевающего устройства:

1 – корпус; 2 – ячейистый диск; 3 – корпус отражателя семян; 4 – корпус семяпровода; 5 – бункер; 6 – ячейка; 7 – выталкиватель семян; 8 – сошник; 9 – отражатель; 10 – уплотняющее кольцо; 11 – механизм поджатия отражателя

Для теоретического обоснования основных конструктивных и режимных параметров механического ячейисто-дискового высевающего устройства для посева амаранта метельчатого необходимо рассмотреть ряд технологических процессов, в частности процесс заполнения ячеек высевающего диска семенами амаранта метельчатого, а также процесс взаимодействия нижнего слоя семян с движущимся вертикальным высевающим диском, которые напрямую влияют на равномерность высева.

Качественные показатели посева, полученные устройствами пунктирного высева, зависят от условий заполнения ячеек семенами и от процента травмирования их при контакте с движущимися элементами конструкций в работе устройства. Показатели напрямую зависят от размерных параметров и положения ячеек, пути движения ячейки высевающего диска под лежащими выше слоями семян в бункере и относительной скорости движения активного слоя семенного материала по поверхности с ячейками диска [8].

Вероятность заполнения ячейки зависит от ее линейных размеров, но в таком случае не гарантировано, что в ячейке высевающего диска окажется более 1-го семени. Расчет конструктивных параметров ячейки высевающего диска должен учитывать, что в ней должно размещаться самое крупное семечко и не должно укладываться 2 семени с самым минимальным размером [8].

Семя амаранта имеет почти круглую форму, поэтому поверхности ячейки (рис. 2) должны быть выполнены в виде, близком к форме семени таким образом, чтобы при его извлечении выталкивателем семян, силы трения о стенки ячейки были сведены к минимуму. Размеры ячейки должны быть рассчитаны таким образом, чтобы выполнялось условие: западает одно наибольшее семя и не умещаются два самых маленьких [8].

Условие расчета диаметра ячейки высевающего диска:

$$2d_c^{\min} \rangle D_{\text{я}} = d_c^{\max} + 2\kappa_1, \quad (1)$$

где $d_c^{\min}$ – минимальный диаметр семени фракции, мм;

$d_c^{\max}$ – максимальный диаметр семени фракции, мм;

$D_{\text{я}}$ – диаметр ячейки высевающего диска, мм;

κ_1 – зазор между семенем и внутренней поверхностью ячейки, $\kappa_1 = 0,1...0,2$ мм [8].

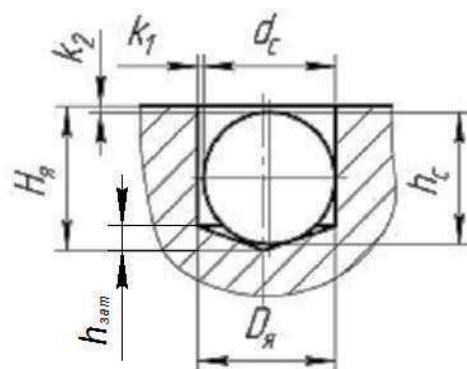


Рис. 2. Размеры ячейки под семя амаранта в ячейстом высевальном диске

Для определения глубины ячейки $H_я$ необходимо соблюдать условие:

$$2h_c^{\min} > H_я = h_c^{\max} + \kappa_2 + h_{зам}, \quad (2)$$

где $h_c^{\min}$ – минимальная высота семени фракции, мм;

$h_c^{\max}$ – максимальная высота семени фракции, мм;

$H_я$ – глубина ячейки, мм;

κ_2 – зазор между семенем и образующей поверхностью высевального диска, $\kappa_2 = 0,1 \dots 0,2$ мм;

$h_{зам} = 0,5D_я \cdot \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}$ – глубина ячейки, определяемая углом заточки сверла φ , мм.

Относительная скорость перемещения семян по поверхности высевального диска с ячейками определяет вероятность заполнения ячеек в диске и их травмирование быстро движущимися конструктивными элементами.

Западание семени в круглую ячейку происходит при скорости семени V_c относительно ячейки меньшей критического значения, определяемого по схеме процесса (рис. 3).

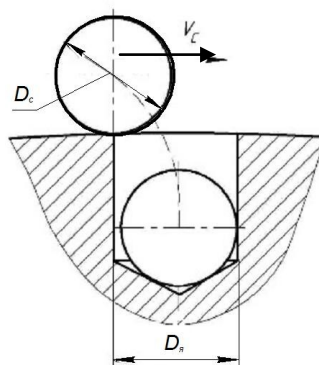


Рис. 3. Схема западания семени при его свободном падении в ячейку

Для случая, когда центр семени амаранта совпадает с центром круглой ячейки критическая скорость семени V_c^{kp} определяется по выражению В. П. Горячкина:

$$v_c^{kp} \leq \frac{D_я - 0,5 \cdot d_c}{\sqrt{d_c / g}}, \quad (3)$$

где $D_я$ – диаметр ячейки, м;

d_c – диаметр семени, м;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Согласно условию заполнения круглой ячейки (рис. 3) путь, пройденный семенем при движении по хорде:

$$L_{xop} = \sqrt{2d_c D_{я} - d_c^2}, \quad (4)$$

Тогда критическая относительная скорость семени при движении по хорде:

$$v^{kp}_{xop} = (\sqrt{2d_c D_{я} - d_c^2} - 0,5d_c) \sqrt{\frac{g}{d_c}}. \quad (5)$$

Полученные теоретические зависимости (1), (3) и (4) позволяют определить значение критической скорости движения нижнего слоя семян амаранта относительно вертикального ячеистого высевающего диска, при меньших значениях которой происходит западание семени в круглую ячейку ячеистого высевающего диска.

Для определения скорости движения семян амаранта относительно вертикального ячеистого высевающего диска, выделим в массе семян единичный объем dV массой m , находящийся в контакте с поверхностью высевающего диска (рис. 4) и составим дифференциальное уравнение его движения.

При движении выделенного единичного объема по поверхности вращающегося высевающего диска на выделенный единичный объем будут действовать следующие силы (рис. 4):

- сила тяжести вышележащих слоев семян – P_g ;
- сила трения семян о поверхность обода диска – F_1 ;
- сила трения вышележащих слоев семян – F_2 ;
- центробежная сила инерции – $F_{цб}$.

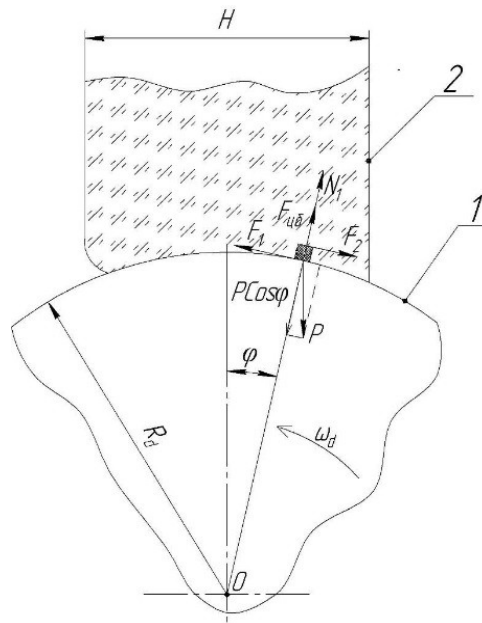


Рис. 4. Схема сил, действующих на выделенный единичный объем семян амаранта

Учитывая силы трения слоев семян, лежащих выше, а также силы вертикального давления массы семян и центробежной силы инерции, уравнение запишется в виде

$$m\varphi'' = F_1 + P_g \cdot \sin\varphi_1 - F_2, \quad (7)$$

где φ_1 – угловое перемещение выделенного единичного объема в абсолютном движении, град.;

F_1 – сила трения семян о поверхность обода диска, Н;

P_g – сила вертикального давления семян на диск, Н;

F_2 – сила трения вышележащих слоев семян, Н.

Сила тяжести вышележащих слоев семян определяется по формуле

$$P_g = \sigma_g \cdot S, \quad (8)$$

где σ_g – среднее вертикальное давление семян на диск, Па;

S – площадь выделенного единичного объема семян, м².

Сила трения семян о поверхность диска определяется по формуле

$$F_1 = f_1 \cdot N_1, \quad (9)$$

где f_1 – коэффициент трения семени о диск;

N_1 – нормальная реакция со стороны диска на выделенный единичный объем семян, Н.

$$N_1 = P_e \cdot \cos \varphi_1 - F_{\text{тр}} = \sigma_e \cdot S \cdot \cos \varphi_1 - m \cdot R_o \cdot \varphi_1'^2, \quad (10)$$

где R_o – радиус высевающего диска, м.

Сила трения вышележащих слоев семян на выделенный единичный объем семян определяется по формуле

$$F_2 = f_{\text{вн}} \cdot N_2, \quad (11)$$

где $f_{\text{вн}}$ – коэффициент внутреннего трения семян;

N_2 – нормальная реакция со стороны выделенного единичного объема семян на вышележащие слои семян, Н.

$$N_2 = P'_e \cdot \cos \varphi_1 = \sigma'_e \cdot S \cdot \cos \varphi_1, \quad (12)$$

где σ'_e – среднее вертикальное давление вышележащих семян на выделенный единичный объем семян, Па.

Среднее вертикальное давление семенного материала, находящегося в бункере, определяется по выражению

$$\sigma_{e_{cp}} = \frac{\rho \cdot g}{a} (1 - e^{-ah}), \quad (13)$$

где ρ – насыпная плотность семенного материала, кг/м³;

h – высота слоя семян, м.

$$a = \frac{\xi \cdot f_{\text{вн}} \cdot L}{S},$$

где ξ – коэффициент бокового давления;

L – периметр загрузочного отверстия, м;

S – площадь загрузочного отверстия, м².

Существенная разница между шириной вертикального высевающего диска и высотой емкости для семенного материала позволяет рассматривать его как пространство с двумя параллельными стенками, заполненное сыпучим материалом.

При таком заполнении площадь горизонтального сечения сыпучего тела на единицу длины стенки составляет $S = B$, где B – ширина полосы вертикального диска, а периметр на единицу длины $L = 2 \cdot B$.

Подставляя эти значения в выражение (13), получаем

$$a = \frac{2\xi \cdot f_{\text{вн}}}{b}$$

и

$$\sigma_{e_{cp}} = \frac{\rho \cdot g \cdot b}{2 \cdot \xi \cdot f_{\text{вн}}} (1 - e^{-\frac{2\xi \cdot f_{\text{вн}}}{b} h}). \quad (14)$$

После подстановки выражений (9), (11) и (13) в уравнение (7) получим:

$$m\varphi_1'' = f_1 \left(\frac{\rho \cdot g \cdot b}{2\xi \cdot f_{\text{вн}}} (1 - e^{-\frac{2\xi \cdot f_{\text{вн}}}{b} h}) S \cdot \cos \varphi_1 - mR_o \varphi_1'^2 \right) + \frac{\rho \cdot g \cdot b}{2\xi \cdot f_{\text{вн}}} (1 - e^{-\frac{2\xi \cdot f_{\text{вн}}}{b} h}) S \times \\ \times \sin \varphi_1 - f_{\text{вн}} \frac{\rho \cdot g \cdot b}{2\xi \cdot f_{\text{вн}}} (1 - e^{-\frac{2\xi \cdot f_{\text{вн}}}{b} h_1}) S \cdot \cos \varphi_1,$$

где h_1 – высота семян над выделенным единичным объемом семян, м.

Преобразуем это выражение, заменив массу выделенного единичного объема семян:

$$m = \rho \cdot dV = \rho \cdot dh \cdot S = \rho \cdot (h - h_1) \cdot S$$

получим

$$\varphi_1'' + f_1 \varphi_1'^2 = \frac{g \cdot b (1 - e^{-\frac{2\xi \cdot f_{\text{вн}}}{b} h})}{2\xi \cdot f_{\text{вн}} (h - h_1) \cdot R_o} \left[\left(f_1 - f_{\text{вн}} \frac{(1 - e^{-\frac{2\xi \cdot f_{\text{вн}}}{b} h})}{(1 - e^{-\frac{2\xi \cdot f_{\text{вн}}}{b} h_1})} \right) \cos \varphi_1 + \sin \varphi_1 \right]. \quad (15)$$

Обозначим

$$A = f_1 - f_{\text{вн}} \frac{(1 - e^{-\frac{2\xi \cdot f_{\text{вн}} h}{b}})}{(1 - e^{-\frac{2\xi \cdot f_{\text{вн}} h_1}{b}})}. \quad (16)$$

Решением уравнения (15) будет выражение вида:

$$\varphi_1'^2 = e^{-2f_1\varphi_1} \left[C + \frac{g \cdot b(1 - e^{-\frac{2\xi \cdot f_{\text{вн}} h}{b}})}{\xi \cdot f_{\text{вн}}(h - h_1) \cdot R_0} \int e^{2f_1\varphi_1} (A \cdot \cos\varphi_1 + \sin\varphi_1) \right], \quad (17)$$

где C – произвольная постоянная.

Интегрируя уравнение (17), получим:

$$\varphi_1'^2 = C e^{-2f_1\varphi_1} + \frac{g \cdot b(1 - e^{-\frac{2\xi \cdot f_{\text{вн}} h}{b}})}{\xi f_{\text{вн}}(h - h_1) \cdot R_0(1 + 4f_1^2)} [(A + 2f_1)\sin\varphi_1 + (2A \cdot f_1 - 1)\cos\varphi_1]. \quad (18)$$

При $t = 0$; $\varphi_1' = 0$; $\varphi_1'' = \text{ArcSin} \frac{H}{2R_0}$, где H – ширина загрузочного бункера, м.

$$C = \frac{-g \cdot b(1 - e^{-\frac{2\xi \cdot f_{\text{вн}} h}{b}}) \cdot e^{2f_1\varphi_1''}}{\xi f_{\text{вн}}(h - h_1) \cdot R_0(1 + 4f_1^2)} [(A + 2f_1)\sin\varphi_1'' + (2A \cdot f_1 - 1)\cos\varphi_1''] \quad (19)$$

Тогда

$$\varphi_1'^2 = \frac{g \cdot b(1 - e^{-\frac{2\xi \cdot f_{\text{вн}} h}{b}})}{\xi f_{\text{вн}}(h - h_1) \cdot R_0(1 + 4f_1^2)} [(A + 2f_1)(\sin\varphi_1 - \sin\varphi_1'') + (2A \cdot f_1 - 1)(\cos\varphi_1 - \cos\varphi_1'')] \quad (20)$$

Абсолютная скорость выделенного единичного объема семян определяется по выражению:

$$v_a = \varphi_1' R_0 = R_0 \sqrt{\frac{g \cdot b(1 - e^{-\frac{2\xi \cdot f_{\text{вн}} h}{b}})}{\xi f_{\text{вн}}(h - h_1) \cdot R_0(1 + 4f_1^2)} [(A + 2f_1)(\sin\varphi_1 - \sin\varphi_1'') + (2A \cdot f_1 - 1)(\cos\varphi_1 - \cos\varphi_1'')]}. \quad (21)$$

Абсолютное движение выделенного единичного объема суммируется из относительного движения его вдоль высевающего диска v_r и переносного движения высевающего диска v_e :

$$v_a = v_e - v_r = \omega_0 \cdot R_0 - v_r. \quad (22)$$

Следовательно, относительная скорость движения выделенного слоя семян v_r по высевающему диску, которая должна быть меньше или равна критической скорости западения семян в ячейку v_r^{kp} , определяемой по формуле (5), равна:

$$v_c^{kp} \geq v_r = R_d \left(\omega_0 - \sqrt{\frac{g \cdot b(1 - e^{-\frac{2\xi \cdot f_{\text{вн}} h}{b}})}{\xi f_{\text{вн}}(h - h_1) \cdot R_0(1 + 4f_1^2)} [(A + 2f_1)(\sin\varphi_1 - \sin\varphi_1'') + (2A \cdot f_1 - 1)(\cos\varphi_1 - \cos\varphi_1'')]}. \right) \quad (23)$$

Из приведенного уравнения видно, что на относительную скорость v_r влияют угловая скорость вращения высевающего диска ω_0 , величина радиуса ячеистого высевающего диска R_0 , ширина обода высевающего диска b , а также физико-механические свойства семян (коэффициенты трения о диск f_1 , и внутреннего трения $f_{\text{вн}}$).

Подставляя в уравнение (23) различные значения конструктивных и режимных параметров ячеистого дискового высевающего устройства (ω_0, R_0, b), можно получить зависимости изменения относительной скорости движения слоя семян, находящегося во взаимодействии с ячеистым высевающим диском, в любой его точке.

По результатам расчетов, выполненных по уравнению (23), были построены графические зависимости относительной скорости движения выделенного слоя семян v_r и критической скорости семени V_c^{kp} от частоты вращения высевающего диска n (рис. 5).

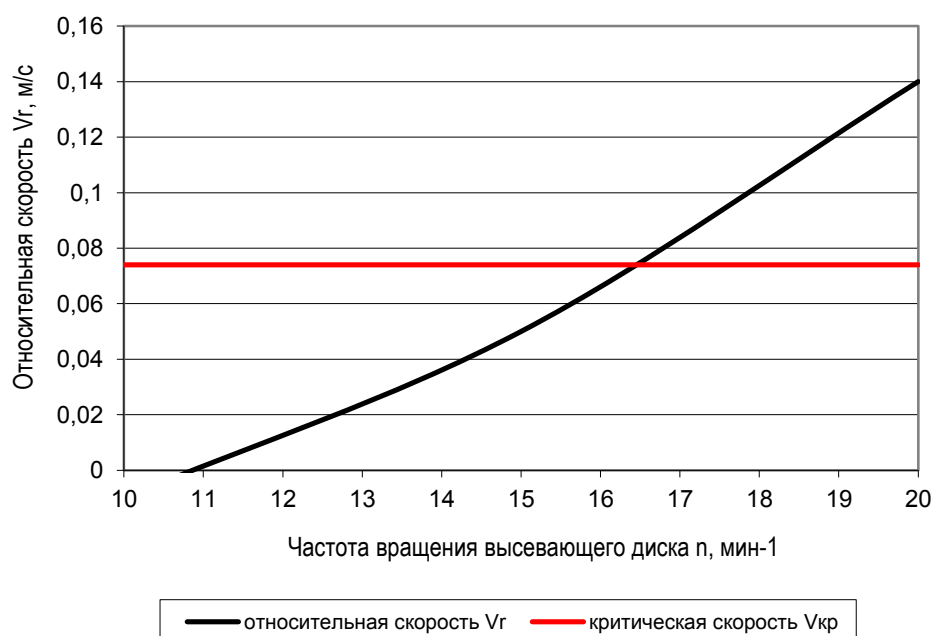


Рис. 5. Графические зависимости относительной скорости движения выделенного слоя семян V_r от частоты вращения высевающего диска n

Закключение. Обоснованы геометрические параметры ячейки: максимальный диаметр ячейки $D_{я}^{max} = 1,42$ мм, максимальная глубина ячейки: $H_{я}^{max} = 1,62$ мм, а также условия западения семян амаранта в ячейку высевающего диска, а именно: критическая скорость семени $V_c^{kp} = 0,074$ м/с и критическая частота вращения высевающего диска $n_o^{kp} \leq 17$ мин⁻¹, при которых будет обеспечиваться западение в ячейку высевающего диска семян амаранта, имеющих следующие размерные характеристики $d_c^{min} = 0,81$ мм, $d_c^{max} = 1,12$ мм [9].

Библиографический список

1. Крючин, Н. П. Разработка пневматического высевающего аппарата сеялки для посева амаранта малыми нормами / Н. П. Крючин, Н. В. Бурлака // Известия Самарской ГСХА. – 2015. – №3. – С. 38-41.
2. Казарин, В. Ф. Амарант – высокопластичная культура // Агро-Информ. – 2012. – №7. – С. 18-20.
3. Казарина, А. В. Особенности агротехнологии возделывания амаранта в Самарском Заволжье // Известия Самарской ГСХА. – 2015. – №4. – С. 7-11.
4. Бурлака, Н. В. Анализ высевающих аппаратов для посева мелкосемянных культур и их классификация // Современные технологии, средства механизации и техническое обслуживание АПК : сб. науч. тр. Поволжской межвузовской конф. – Самара, 2011. – С. 30-31.
5. Глуховцев, В. В. Практикум по основам научных исследований в агрономии / В. В. Глуховцев, В. Г. Кириченко, С. Н. Зудилин. – М. : Колос, 2006. – 248 с.
6. Пат. 61981 РФ, МПК А01С 7/04. Высевающее устройство / Артамонов Е. И. – № 2006139918/22 ; заявл. 10.11.06 ; опубл. 27.03.07, Бюл. №9. – 2 с.
7. Пат. 2347349 РФ, МПК А01С 7/04. Высевающее устройство / Артамонов Е. И., Гниломедов В. П. – № 2006139884/12 ; заявл. 10.11.06 ; опубл. 27.02.09, Бюл. №6. – 4 с.
8. Кухарев, О. Н. Теоретические основы ориентации // Нива Поволжья. – 2007. – №2. – С. 27-31.
9. Артамонов, Е. И. Повышение качества посева семян амаранта метельчатого совершенствованием технических средств и технологического процесса : дис. ... кан. техн. наук / Артамонов Евгений Иванович. – Пенза, 2013. – 178 с.