

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАБОТЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО ДИСКОВО-ЩЕТОЧНОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

Вдовкин Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Механика и инженерная графика», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8-а.

E-mail: wdownkin@mail.ru

Крючин Павел Владимирович, канд. техн. наук, ассистент кафедры «Электрификация и автоматизация АПК», ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8-а.

E-mail: kryuchin-pv@mail.ru.

Исаев Юрий Михайлович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Математика и физика», ФГБОУ ВПО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина.

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, дом 1.

E-mail: isurmi@yandex.ru.

Семашкин Николай Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Математика и физика», ФГБОУ ВПО Ульяновская ГСХА им. П. А. Столыпина.

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, дом 1.

E-mail: emotion.snm@mail.ru

Ключевые слова: аппарат, диск, валик, винт, частица, семена.

Цель исследования – теоретически обосновать технологический процесс работы универсального дисково-щеточного высевающего аппарата. На основании анализа универсальных высевающих аппаратов на кафедре «Механика и инженерная графика» Самарской ГСХА был разработан дисково-щеточный высевающий аппарат для высева семян с различными физико-механическими свойствами. В статье представлено описание конструктивно-технологической схемы и процесс работы универсального дисково-щеточного высевающего аппарата (патент РФ на изобретение №2452166). Для обеспечения устойчивого транспортирования семенного материала из бункера к семябрасывающему валу исследован процесс транспортирования семенного материала высевающим диском и получено выражение, позволяющее установить зависимость угловой скорости вращения высевающего диска от конструктивно-технологических параметров, при которых будет обеспечиваться устойчивое транспортирование семенного материала из бункера к семябрасывающему валу. Так же был исследован процесс перемещения семян упругими элементами семябрасывающего валика по поверхности высевающего диска, в результате которого было получено дифференциальное уравнение, описывающее перемещение частицы семенного материала винтовой поверхностью семябрасывающего валика по высевающему диску в воронку семяпровода. В результате теоретических исследований было получено аналитическое выражение, устанавливающее функциональную зависимость угловой скорости вращения высевающего диска от конструктивно-технологических параметров, при которых будет обеспечиваться устойчивое транспортирование семенного материала из бункера к семябрасывающему валу и дифференциальные уравнения перемещения частицы семенного материала винтовой поверхностью семябрасывающего валика по высевающему диску в воронку семяпровода.

В настоящее время в селекционном производстве в основном используются сеялки с катушечными высевающими устройствами, которые способны с требуемым качеством высевать семена определенных культур. Однако селекционная работа, как правило, связана с выведением широкого набора культур, семена которых имеют различные физико-механические свойства. Невысокая универсальность этих высевающих аппаратов приводит к необходимости увеличения парка посевных машин, что ведет к удорожанию производимой продукции [9].

Цель исследований – теоретически обосновать технологический процесс работы универсального дисково-щеточного высевающего аппарата.

Задача исследований – выполнить теоретические исследования технологического процесса дозирования семян универсальным дисково-щеточным высевающим аппаратом.

На кафедре «Механика и инженерная графика» Самарской ГСХА был разработан универсальный дисково-щеточный высевающий аппарат для высева семян с различными физико-механическими свойствами (рис. 1) [3, 5, 7, 10].

Материалы и методы исследований. Разработанный высевающий аппарат состоит из следующих элементов: корпуса 1, неподвижного диска 2, приводного вала 3, загрузочного окна 4, неподвижных штифтов 5, козюлька 6, козырька 7, семябрасывающего валика 8, высевающего диска 9, воронки семяпровода 10.

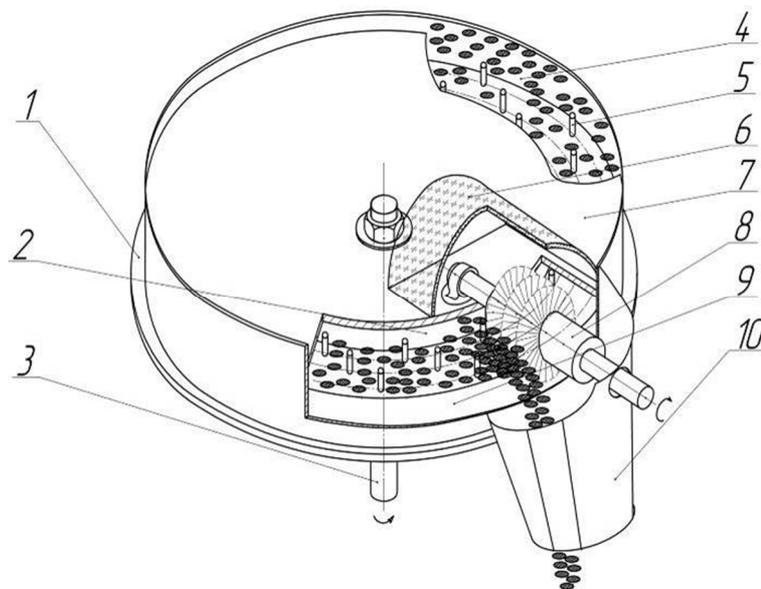


Рис. 1. Схема универсального дисково-щеточного высевального аппарата

Высевающий аппарат работает следующим образом. При вращении высевального диска 9 неподвижные штифты 5, заходя в зону загрузочного окна 4, увлекают определенную порцию семенного материала под козырек 7 и транспортируют ее к семябросывающему валику 8, который, вращаясь навстречу движению высевального диска за счет упругих элементов, расположенных по винтовой линии, перемещает семена в воронку семяпровода 10, образуя непрерывный поток семенного материала [7, 10].

Норма высева регулируется передаточным отношением в механизме привода приводного вала высевального аппарата.

Для обеспечения устойчивого транспортирования семенного материала из бункера к семябросывающему валику необходимо исследовать процесс транспортирования семенного материала высевальным диском.

Одним из важных этапов работы высевального аппарата является процесс транспортирования семян высевальным диском от бункера к зоне работы семябросывающего валика. Перемещение семенного материала происходит с использованием жестко закрепленных на высевальном диске штифтов. Проведем анализ взаимодействия штифтов с семенным материалом для определения условий непрерывного равномерного транспортирования семян с применением основных положений механики насыпных грузов [2].

При выходе из бункера семенной материал попадает на высевальный диск. Благодаря невысокой окружной скорости вращения диска и установленным по образующей логарифмической спирали штифтам скорость семян за короткий промежуток времени сравнивается со скоростью высевального диска и протекает устойчивое транспортирование. Для эффективной работы высевального аппарата необходимо, чтобы семена, под действием центробежных сил, возникающих при вращении высевального диска, не смещались на периферию диска, образуя слой семян различной плотности [8].

Перемещение семенного материала от бункера в зону работы семябросывающего валика происходит за счёт совместного действия сил трения семян о поверхность высевального диска и штифта.

Силу трения семенного материала о высевальный диск можно определить из выражения

$$F_{mp,d} = N_d \cdot f_{mp}, \quad (1)$$

где N_d – нормальная сила, Н;

f_{mp} – коэффициент трения покоя семян о высевальный диск.

Так как

$$N_d = \sigma_n \cdot S_{m,ш},$$

где σ_n – нормальное давление семенного материала на поверхность высевального диска, Па;

$S_{m,ш}$ – площадь высевального диска между штифтами, м².

$$S_{м.ш} = \frac{(D^2 - d^2) \cdot \alpha_0}{8}, \quad (2)$$

где D – наружный диаметр высевающего диска, м;

d – внутренний диаметр рабочей поверхности высевающего диска, м;

α_0 – угол сектора, соседних заходностей штифтов, рад.

На основании этого выражение (1) запишется:

$$F_{тр.д} = \sigma_n \cdot S_{м.ш} \cdot f_{тр}, \quad (3)$$

Определить нормальное давление, возникающее в слое семенного материала толщиной h , можно из выражения

$$\sigma_n = \gamma \cdot g \cdot h, \quad (4)$$

где γ – объемная масса семенного материала, кг/м³;

h – высота слоя семян, м.

Для определения условия непрерывного транспортирования семенного материала выделим элементарный объем $abcd$ и рассмотрим его напряженное состояние. На все грани элементарного объема будут действовать нормальные σ_n, σ_y и касательные τ_{xy}, τ_{xz} напряжения (рис. 2). Условие равновесия для линии ad элементарного объема, принадлежащей свободной поверхности сыпучего тела, запишем в виде:

$$F_{б.д} = F_{тр.д} + 2F_{тр.ш} - F_{ин}, \quad (5)$$

где $F_{б.д}$ – сила бокового давления рассматриваемого элементарного объема, Н;

$F_{тр.ш}$ – сила трения о поверхность штифта, Н;

$F_{ин}$ – центробежная сила инерции, действующая на семенной материал при вращении высевающего диска.

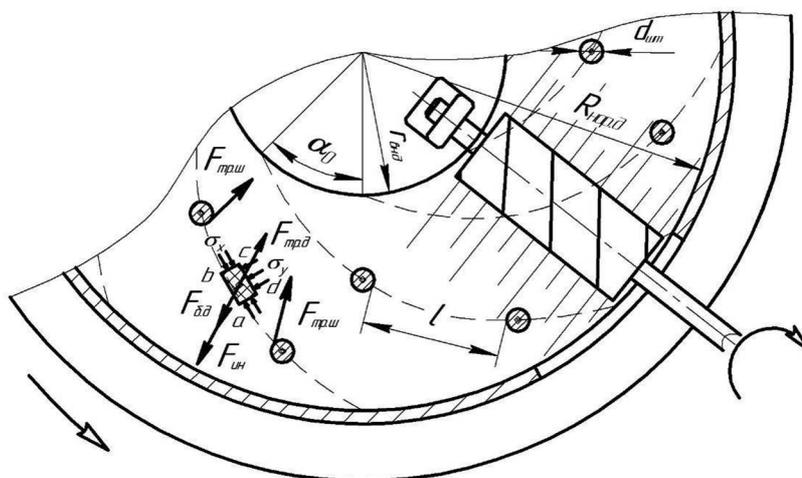


Рис. 2. Схема сил, касательных и нормальных напряжений, действующих на выделенный элемент

Силу бокового давления, действующую на элемент, найдём по формуле

$$F_{б.д} = \int_0^h \int_0^l \sigma_y dh \cdot dl, \quad (6)$$

где l – расстояние между штифтами, м;

σ_y – боковое давление, Па.

Боковое давление рассчитывали из выражения

$$\sigma_y = \varepsilon \cdot \sigma_n, \quad (7)$$

где ε – коэффициент бокового давления.

Подставляя выражения (4) и (7) в формулу (6) интегрируя по переменным h и l , получим:

$$F_{\sigma_0} = \int_0^h \int_0^l \varepsilon \cdot \gamma \cdot g \cdot h \cdot dh \cdot dl = \varepsilon \cdot \gamma \cdot g \cdot \frac{h^2}{2} \cdot l = \frac{1}{2} \varepsilon \cdot \gamma \cdot g \cdot h^2 \cdot l. \quad (8)$$

Силу трения рассматриваемого элементарного объёма семян о поверхность штифта найдём из выражения

$$F_{mp.u} = \sigma_0 \cdot S_{um} \cdot f_n, \quad (9)$$

где σ_0 – давление семенного материала на штифт, Па;

S_{um} – площадь штифта, м²;

f_n – коэффициент трения покоя семян о штифт.

$$S_{um} = \frac{\pi \cdot d_{um} \cdot h_0}{2}, \quad (10)$$

где h_0 – высота штифта, м;

d_{um} – диаметр штифта, м.

Давление семенного материала на штифт устанавливали с учетом равнонаправленного бокового давления. С учетом этого давление σ_0 на штифт принимали постоянной величиной. В результате чего запишем формулу

$$\sigma_0 \cong \sigma_n \cdot \mu, \quad (11)$$

где σ_n – нормальное давление на высевающий диск;

μ – коэффициент неустойчивости семенного материала.

Коэффициент неустойчивости семенного материала μ , определяли из выражения

$$\mu = 1 + 2f_\varepsilon^2 - 2f_\varepsilon \sqrt{1 + f_\varepsilon^2}, \quad (12)$$

где f_ε – коэффициент внутреннего трения семенного материала.

Подставив выражение (11), (10) и (4) в формулу (9), получим

$$F_{mp.u} = \gamma \cdot g \cdot h \cdot \mu \frac{\pi \cdot d_{um} \cdot h_0}{2} \cdot f_n. \quad (13)$$

Силу инерции, действующую на выделенный элементарный объём, определим из выражения

$$F_{un} = m \cdot \omega_0^2 \cdot r, \quad (14)$$

где ω_0 – угловая скорость вращения высевающего диска, рад/с;

r – расстояние от центра вращения высевающего диска до рассматриваемого объёма, м;

$m = \gamma \cdot h \cdot \frac{(D^2 - d^2) \alpha_0}{8}$ – масса выделенного элемента семенного материала, кг.

Запишем условие равновесия элементарного объёма семенного материала, который под действием центробежной силы не будет перемещаться к периферии высевающего диска:

$$\frac{1}{2} \varepsilon \cdot \gamma \cdot g \cdot h^2 \cdot l = \gamma \cdot g \cdot h \frac{(D^2 - d^2) \cdot \alpha_0}{8} f_{mp} + \mu \cdot \gamma \cdot g \cdot h \cdot f_n \cdot \pi \cdot d_{um} \cdot h_0 - \omega_0^2 \cdot r \cdot \gamma \frac{(D^2 - d^2)}{8} \alpha_0 \cdot h. \quad (15)$$

После соответствующих математических преобразований получим

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g \left(\frac{(D^2 - d^2)}{8} \cdot \alpha_0 \cdot f_{mp} + \mu \cdot f_n \cdot \pi \cdot d_{um} \cdot h_0 - \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot h \cdot l \right)}{r \frac{(D^2 - d^2)}{8} \cdot \alpha_0}}. \quad (16)$$

Результаты исследований. Полученное выражение позволяет установить зависимость угловой скорости вращения высевающего диска от конструктивно-технологических параметров, при которых будет обеспечиваться устойчивое транспортирование семенного материала из бункера к семябрасывающему валу.

От эффективной работы семябрасывающего валика зависит полнота очистки высевающего диска и равномерность высева семенного материала. Использование семябрасывающего валика с упругими элементами, установленными по винтовой линии, и его вращение навстречу движущегося семенного потока даёт возможность осуществлять транспортирование семян от центра к периферии высевающего диска в высевное окно [6].

Для исследования процесса перемещения семян семябрасывающим валиком по поверхности высевающего диска рассмотрим движение частицы семенного материала при установившемся режиме работы высевающего аппарата [1].

Будем считать, что образующая высевающего диска неподвижна, а винтовая поверхность семябрасывающего валика вращается вокруг своей оси с постоянной угловой скоростью ω_B . Если в начальный момент времени частица семенного материала находится на поверхности высевающего диска, то через некоторый отрезок времени она окажется затянута силой трения, возникающей между частицей и винтовой поверхностью семябрасывающего валика, перемещаясь по ней, как в аксиальном, так и перпендикулярном к нему направлениях, совершая криволинейный характер движения (рис. 3) [1].

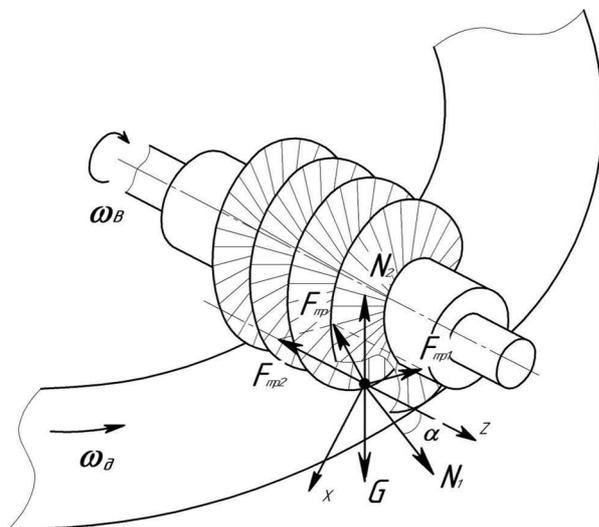


Рис. 3. Схема сил приложенных к частице семенного материала винтовой поверхностью семябрасывающего валика

Приложенными к частице силами будут: $G = mg$ – сила тяжести, Н; N_2 – нормальная реакция поверхности высевающего диска, Н; N_1 – нормальная реакция упругих элементов винтовой поверхности семябрасывающего валика, Н; $f_2 N_2$ – сила трения частицы о поверхность высевающего диска, Н; $f_1 N_1$ – сила трения частицы об упругие элементы винтовой поверхности семябрасывающего валика, Н.

Вектор силы трения частицы семенного материала о высевающий диск является не заданным. Причем вследствие того, что образующие винтовой поверхности семябрасывающего валика перпендикулярны к оси высевающего диска, то реакция N_1 и сила трения $f_1 N_1$ во всех точках движения будут лежать в плоскости, показанной на рисунке 4.

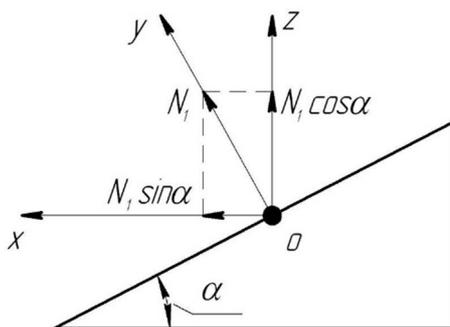


Рис. 4. Разложение нормальной реакции винтовой поверхности семябрасывающего валика в плоскости xoz

Чтобы найти вектор силы трения $f_2 N_2$ нужно знать нахождение траектории движения частицы семенного материала по высевающему диску, так как она расположена в сторону, противоположную скорости ее движения. Поэтому, расположение силы трения будет изменяться с изменением вектора скорости частицы семенного материала [1].

Спроецируем перемещение частицы семенного материала на оси координат x, z , принимая левую систему координат. Дифференциальные уравнения перемещения частицы семенного материала в проекциях на левую систему координат запишутся:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = N_1 \sin \alpha + f_1 N_1 \cos \alpha - f_2 G \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{z}^2 + \dot{x}^2}} \\ m\ddot{z} = N_1 \cos \alpha - f_1 N_1 \sin \alpha - f_2 G \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{z}^2 + \dot{x}^2}} \end{cases}, \quad (17)$$

где m – масса частицы, кг; \ddot{x} – вторая производная от перемещения по оси x , м/с²; f_1 – коэффициент трения частицы семенного материала о упругие элементы винтовой поверхности; $\alpha = const$ – угол уклона винтовой линии семябрасывающего валика, град; f_2 – коэффициент трения частицы о поверхность высевающего диска; \dot{x} – первая производная от перемещения по оси x , м/с; \dot{z} – первая производная от перемещения по оси z , м/с; \ddot{z} – вторая производная от перемещения по оси z , м/с².

Но при затягивании частицы плоской поверхностью, перпендикулярной к оси семябрасывающего валика, частица совершает относительное угловое перемещение в той же плоскости на угол $(\omega_B t - \alpha)$ (рис. 5).

На рисунке 5 AC равно длине пути скольжения частицы семенного материала по винтовой поверхности семябрасывающего валика, а BC – длине пути переноса частицы самим винтом.

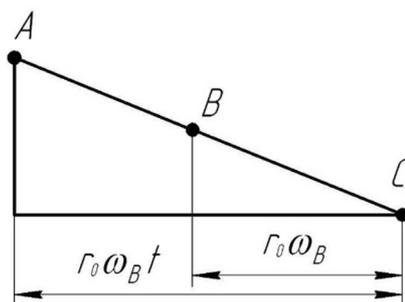


Рис. 5. Схема перемещения частицы семенного материала по развертке винтовой линии семябрасывающего валика

Поэтому перемещение, скорость и ускорение частицы в аксиальном направлении можно выразить так:

$$\begin{cases} z = (r_0 \omega_B t - x) \cdot \operatorname{tg} \alpha; \\ \dot{z} = (r_0 \omega_B - \dot{x}) \cdot \operatorname{tg} \alpha; \\ \ddot{z} = -\dot{x} \operatorname{tg} \alpha, \end{cases} \quad (18)$$

где r_0 – расстояние пройденное частицей семенного материала по винтовой поверхности семябрасывающего валика, м; t – время перемещения частицы, с; x – перемещение, м.

Тогда система (17) запишется при $m = 1$:

$$\begin{cases} \ddot{x} = N_1 (\sin \alpha + f_1 \cos \alpha) - f_2 g \frac{\dot{z}}{\sqrt{(r_0 \omega_B - \dot{x})^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \dot{x}^2}} \\ \ddot{z} = N_1 (\cos \alpha - f_1 \sin \alpha) - f_2 g \frac{\dot{x}}{\sqrt{(r_0 \omega_B - \dot{x})^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \dot{x}^2}} \end{cases}, \quad (19)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

Обозначим:

$$C = \sin \alpha + f_1 \cos \alpha, \quad (20)$$

$$D = \cos \alpha - f_1 \sin \alpha, \quad (21)$$

$$A(\dot{x}) = \frac{(r_0 \omega_B - \dot{x}) \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{(r_0 \omega_B - \dot{x})^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \dot{x}^2}}, \quad (22)$$

$$B(\dot{x}) = \frac{\dot{x}}{\sqrt{(r_0 \omega_B - \dot{x})^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \dot{x}^2}}. \quad (23)$$

Тогда система (19) примет вид:

$$\begin{cases} \ddot{x} = CN_1 - f_2 g A(\dot{x}) \\ -\operatorname{tg} \alpha \ddot{x} = DN_1 - f_2 g B(\dot{x}) \end{cases} \quad (24)$$

Если из системы уравнений исключить нормальную реакцию N_1 , то получим одно уравнение с одним неизвестным относительно координаты x :

$$\ddot{x} + f_2 g \frac{(r_0 \omega_B - \dot{x}) \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{(r_0 \omega_B - \dot{x})^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \dot{x}^2}} = \left(-\ddot{x} \operatorname{tg} \alpha + f_2 g \frac{\dot{x}}{\sqrt{(r_0 \omega_B - \dot{x})^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + \dot{x}^2}} \right) \frac{C}{D}, \quad (25)$$

или

$$\ddot{x} = \frac{f_2 g (C \cdot B(\dot{x}) - D \cdot A(\dot{x}))}{(D + C \cdot \operatorname{tg} \alpha)}. \quad (26)$$

Полученные дифференциальные уравнения описывают перемещение частицы семенного материала винтовой поверхностью семясбрасывающего валика по высевающему диску в воронку семяпровода.

Заключение. В результате теоретических исследований было получено аналитическое выражение, устанавливающее функциональную зависимость угловой скорости вращения высевающего диска от конструктивно-технологических параметров, при которых будет обеспечиваться устойчивое транспортирование семенного материала из бункера к семясбрасывающему валику и уравнение, описывающее движение частицы семенного материала по образующей винтовой поверхности семясбрасывающего валика.

Библиографический список

1. Григорьев, А. М. Винтовые конвейеры. – М. : Машиностроение, 1972. – 185 с.
2. Зенков, Р. Л. Механика насыпных грузов. – М. : Машгиз, 1952. – 215 с.
3. Крючин, Н. П. Влияние конструктивно-режимных параметров семясбрасывающего валика на качество работы высевающего аппарата / Н. П. Крючин, П. В. Крючин // Вклад молодых ученых в аграрную науку Самарской области : сб. науч. тр. – Самара : РИЦ СГСХА, 2011. – С. 99-101.
4. Крючин, Н. П. Разработка высевающего аппарата для высева семян с различными физико-механическими свойствами / Н. П. Крючин, П. В. Крючин // Известия Самарской ГСХА. – Самара : РИЦ СГСХА, 2010. – №3 – С. 42.
5. Крючин, Н. П. Результаты экспериментальных исследований дисково-штифтового высевающего аппарата / Н. П. Крючин, С. В. Сафонов, П. В. Крючин // Известия Самарской ГСХА. – Самара : РИЦ СГСХА, 2007. – №3 – С. 36-37.
6. Крючин, Н. П. Теоретическое обоснование параметров упругих элементов семясбрасывающего валика / Н. П. Крючин, С. В. Вдовкин, П. В. Крючин // Известия Самарской ГСХА. – Самара : РИЦ СГСХА, 2012. – №3. – С. 25.
7. Крючин, Н. П. Универсальный высевающий аппарат / Н. П. Крючин, П. В. Крючин // Сельский механизатор. – 2011. – №11. – С. 8.
8. Крючин, П. В. Исследования высева семян дисково-щеточным высевающим аппаратом // Наука и молодежь: новые идеи и решения : мат. V Международной науч.-практ. конф. молодых исследователей / ФГБОУ ВПО Волгоградская ГСХА. – Волгоград, 2011. – Ч. III. – С. 259-262.
9. Мухин, С. П. О создании универсальной посевной техники // Техника в сельском хозяйстве. – 1997. – №3. – 22 с.
10. Пат. 2452166 Российская Федерация. Высевающий аппарат / Крючин Н. П., Вдовкин С. В., Крючин П. В., Котов Д. Н. – № 2010152159/13 ; заявл. 20.12.10 ; опубл. 10.06.12, Бюл. № 16. – 6 с.