Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 631.331.85

Разработка и исследование высевающего аппарата избыточного давления для точного поштучного дозирования семян сои

Мальцев П.С.

Азово-Черноморский инженерный институт Донской ГАУ

Аннотация

В статье представлено обоснование конструкции аппарата для точного поштучного дозирования семян зернобобовых культур.

Ключевые слова: ВЫСЕВАЮЩИЙ АППАРАТ, ПОШТУЧНОЕ ДОЗИРОВАНИЕ СЕМЯН, ЗЕРНОБОБОВЫЕ КУЛЬТУРЫ

Соя – уникальная белковая культура, имеющая большую ценность для экономики страны. Залогом увеличения производства сои является качественный посев [1-5]. Поштучное дозирование семян сои сложная производственная операция из-за большой секундной подачи. Так при норме высева 500000 шт. на гектар при междурядье 0,45 м и рабочей скорости движения 2 м/с секундная подача составляет 45 дозирующих элементов, что для высевающего диска, имеющего 40 шт. дозирующих элементов, означает частоту вращения высевающего диска более одного оборота в секунду. При такой секундной подаче дозирующих элементов значительно ухудшаются условия для работы дозаторов, что влечет снижение качества их работы. Поэтому разработка конструкции аппарата, качественно работающего при секундной подаче более 45 шт./с является актуальной.

На первоначальном этапе разработки необходимо выбрать принцип действия дозатора. Из трех наиболее широко распространённых в настоящее время типов дозаторов (механический, вакуумный, с нагнетающим воздушным потоком) был выбран с нагнетающим воздушным потоком, так как он имеет высокую производительность, и

качественное дозирование за счет использования при дозировании всей площади семени [1-4].

В Центре инжиниринга и трансфера Азово-Черноморского инженерного института была разработана конструкция аппарата с нагнетающим воздушным потоком для точного поштучного дозирования семян зернобобовых культур (рис. 1). В процессе разработки конструкции дозатора были учтены особенности, необходимые для работы с большой секундной подачей дозирующих элементов, направленные на совершенствование конструкции. Конструкция разработанного аппарата защищена патентом на изобретение РФ [5]. На рис. 1 представлена функциональная схема разработанного дозатора семян с нагнетающим воздушным потоком.

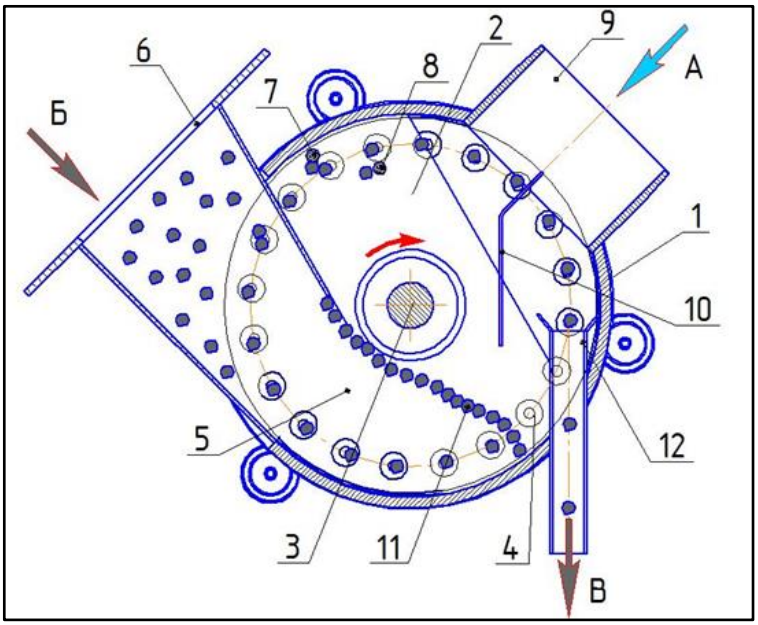

Рис. 1. Функциональная схема аппарата

Примечание: А – направление движения воздуха; Б – направление движения семян; В – направление движения семян в воздушном потоке; 1 – корпус; 2 – высевающий диск; 3 – приводной вал; 4 – дозирующий элемент; 5 – высевающий диск; 6 – горловина аппарата; 7 – щетка верхнего сбрасывателя; 8 – щетка нижнего сбрасывателя; 9 – патрубок подачи воздуха; 10 – защитный экран, 11 – семена; 12 – заборное устройство семян.

Разрабатываемый аппарат работает следующим образом. В его корпус 1 подаются из горловины 6 семена 11, а из патрубка 9 – воздушный поток. На приводном валу 3 аппарата располагается высевающий диск 2 с дозирующими элементами 4, проходя через которые воздушный поток выходит из корпуса 1 наружу в атмосферу. Воздушный поток

фиксирует семена 11 в дозирующих элементах 4, а при вращении высевающего диска 2 семена 11 транспортируются к заборному устройству 12. В результате перекрытия выступом прокладки (на рис. 2 позиция 7) отверстий в дозирующих элементах 4 (рисунок 1), семена выходят из дозирующих элементов 4 в заборное устройство 12 и далее поступают по семяпроводу (направление движения В) в борозду, открытую сошником.

Используя разработанную функциональную схему, была создана принципиальная схема аппарата с нагнетающим воздушным потоком (рис. 2).

Избыточное давление подается внутрь корпуса 1, что делает возможным использование двух высевающих дисков 5. Такая компоновка позволяет одному высевающему аппарату дозировать семена в два ряда, что делает возможным варьировать междурядья в более широких пределах. Корпус 1 аппарата представляет собой сварную стальную конструкцию с двумя высевающими дисками 5 по сторонам. Высевающий диск 5 изготавливается из прозрачного полимера, для визуального контроля рабочего процесса и наличия семян. Прокладка 6 устраняет утечку воздуха из корпуса аппарата 1. Она выполнена из материала, имеющего антифрикционные свойства, для уменьшения потерь на трение и имеет выступ для сброса семян в заборное устройство 4.

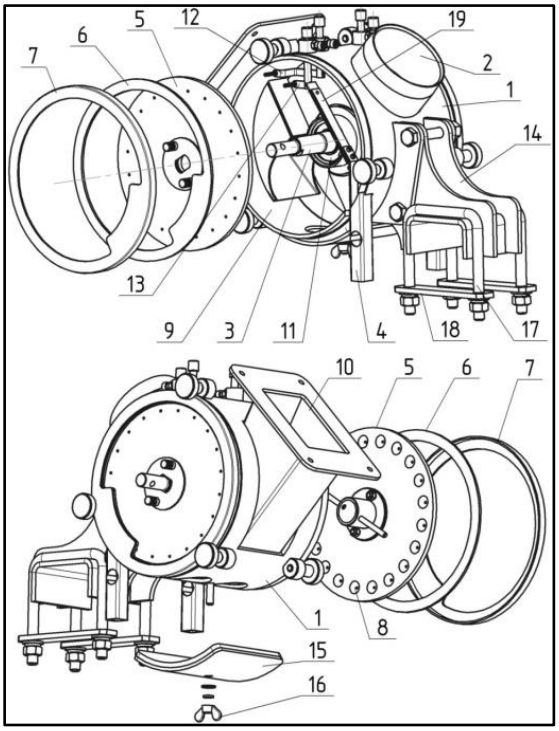

Рис. 2. Принципиальная схема высевающего аппарата

Примечание: 1 – корпус; 2 – патрубок; 3 – вал; 4 – заборное устройство; 5 – высевающий диск; 6 – прокладка; 7 – крышка; 8 – дозирующий элемент; 9 – нагнетательная камера; 10 – горловина; 11– корпус подшипника; 12 и 13 – сбрасыватели; 14 – кронштейн; 15 – люк выгрузной; 16 – гайка; 17 – хомут; 18 – планка; 19 – защитный экран.

Данная конструкция требует обоснования режимов работы. Частота вращения приводного вала высевающих дисков зависит от необходимой нормы высева. Для сои диапазон частот вращения составляет от 1 до 2 оборотов в секунду. Необходимое давление воздуха для дозирования семян сои определи, получив теоретическую зависимость, проведя анализ сил, действующих на семя в дозирующем элементе. Полученное выражение имеет следующий вид [6].

$$p \geq \frac{4}{\pi\eta d^2}\left(\left(\frac{mg\sin\gamma + m\omega^2 R}{\sin\varphi\cos\delta}\right)(\sin\delta\cos\alpha + \cos\varphi\sin\alpha\tan\alpha) + \frac{2\pi\rho gabxy}{(f+f_1)(a+b)\mathrm{tg}\,\beta}(\mathrm{tg}\,\alpha\,\mathrm{tg}\,\mu - 1) + mg\cos\gamma\tan\alpha\right), \text{ Pa.} \quad (1)$$

Подставив в выражение необходимые данные, был синтезирован график зависимости необходимого для фиксации семени в дозирующем элементе давления от величины угла $\angle\alpha$ (угол между касательной линией к кривой образующей дозирующего элемента, проходящей через точку контакта и вертикальной осью дозирующего элемента) [6]. График представлен на рис. 3.

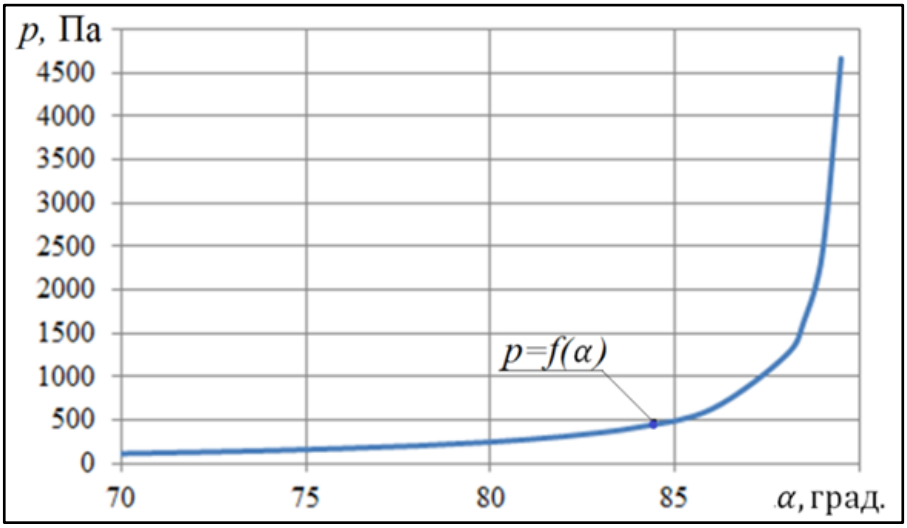

Рис. 3. График изменения необходимого для фиксации семени в дозирующем элементе давления от величины угла $\angle\alpha$

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Анализируя график, отмечаем, что для гарантированного захвата семени дозирующим элементом необходимо давление воздуха в аппарате более 4 КПа.

Для уточнения параметров и режимов работы разработанного аппарата было проведено его экспериментальное исследование. С этой целью был проведен трехфакторный эксперимент типа 2^3. Для его проведения был задействован специальный стенд (рис. 4). Стенд для исследования высевающего аппарата с нагнетающим воздушным потоком работает следующие образом: электродвигатель 2 через редуктор 4 приводит в действие высевающие диски аппарата 7 с нагнетающим воздушным потоком; резистор 3 необходимого для изменения числа оборотов. Одновременно вентилятором 5 воздух подаётся в аппарат. Необходимое давление создается при помощи изменения положения заслонки 6. Семена из бункера 13 поступают в аппарат и начинается процесс дозирования. При помощи датчика 8 контролируется число оборотов высевающего диска, а при помощи камеры 11 ведется скоростная съемка процесса. Отснятые материалы обрабатываются при помощи персонального компьютера (ПК) 10.

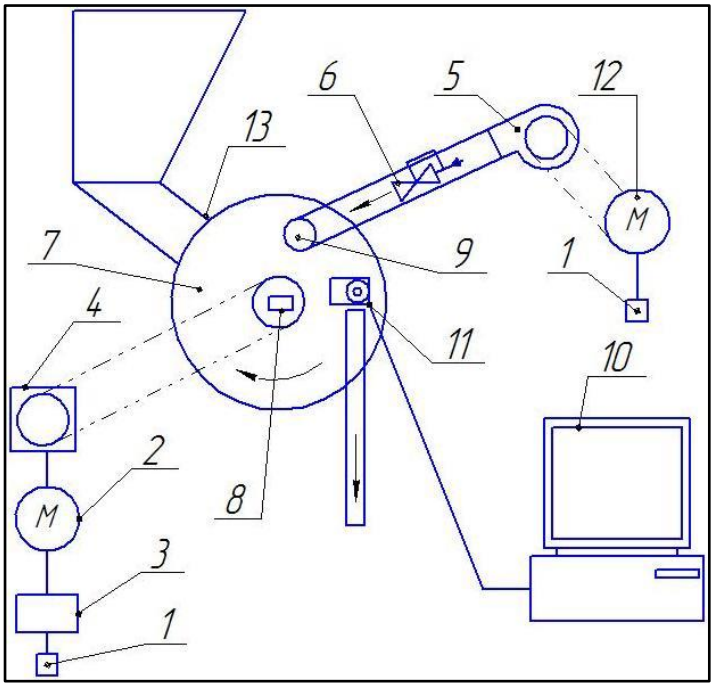

Рис. 4. Схема стенда

Примечание: 1 – источник питания; 2 – электродвигатель постоянного тока; 3 – переменное сопротивление; 4 – редуктор; 5 – воздушный вентилятор; 6 – регулируемая заслонка; 7 – дозатор семян; 8 – датчик оборотов; 9 – нагнетательная камера; 10 – персональный компьютер; 11 – скоростная видеокамера; 12 – электродвигатель; 11 – бункер для семян.

Экспериментальное исследование проводилось с использованием семян сои сорта Комсомолка. Аналитически [7] установлены наиболее влияющие на процесс факторы: d – диаметр отверстия в дозирующем элементе, мм; p – избыточное давление в дозирующем элементе, Па; n – частота вращения высевающего диска, $с^{-1}$. Для оценки качества процесса дозирования использовались следующие характеристики: a_0 – процент дозирующих элементов без семян, %; a_1 – процент дозирующих элементов с одним семенем (параметр оптимизации), %; a_2 – процент дозирующих элементов с двумя семенами, %; M – средняя подача семян дозирующими элементами, шт.; σ – среднее квадратическое отклонение от средней подачи семян дозирующими элементами, шт.; V – коэффициент вариации средней подачи семян дозирующими элементами, %.

Опыты ПФЭ 2^3 проведены по известной методике [7] в последовательности, имеющей случайный характер, т.е. опыты рандомизированы. Повторность опытов трехкратная по 500 подач в каждой повторности. Таким образом, в каждом опыте регистрировалось 1500 подач, что обеспечило высокую точность результатов исследования. Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований

№ опыта	Факторы			Частости подачи семян дозирующими элементами			Числовые характеристики		
	X_1	X_2	X_3						
	d, мм	*n, $с^{-1}$*	*p, кПа*	a_0, %	a_1, %	a_2, %	*M, шт.*	*σ, шт.*	*V, %*
1	4,3	2,0	6,0	0,0033	0,996	0,0007	0,9973	0,063	6,333
2	4,3	2,0	4,0	0,0053	0,9933	0,0013	0,996	0,081	8,161
3	4,3	1,0	6,0	0,000	0,9953	0,0047	1,0047	0,068	6,750
4	4,3	1,0	4,0	0,000	0,9993	0,0007	1,0007	0,015	1,482
5	3,1	2,0	6,0	0,064	0,936	0,000	0,936	0,245	26,148
6	3,1	2,0	4,0	0,106	0,894	0,000	0,894	0,308	34,433
7	3,1	1,0	6,0	0,028	0,972	0,000	0,972	0,165	16,972
8	3,1	1,0	4,0	0,036	0,964	0,000	0,964	0,186	19,324

Обработав экспериментальные результаты, была синтезирована статистическая математическая модель

$$Y = 0{,}9688 + 0{,}0273X_1 - 0{,}0139X_2 + 0{,}0061X_3 + 0{,}0126X_1X_2 - 0{,}0064X_1X_3 + 0{,}0051X_2X_3 - 0{,}0034X_1X_2X_3 \quad (2)$$

При помощи статистической математической модели определены уравнения сечений поверхности отклика в кодированном и натуральном видах:

$$Y = 0{,}9688 - 0{,}0139X_2 + 0{,}0061X_3 + 0{,}0051X_2X_3 \quad (3)$$

(при $X_1 = 0$).

$$Y = 0{,}9688 + 0{,}0273X_1 + 0{,}0061X_3 - 0{,}0064X_1X_3 \quad (4)$$

(при $X_2 = 0$).

$$Y = 0{,}9688 + 0{,}0273X_1 - 0{,}0139X_2 + 0{,}0126X_1X_2 \quad (5)$$

(при $X_3 = 0$).

$$a_1 = 0{,}99353 - 0{,}02665n - 0{,}00078p + 0{,}00255np \quad (6)$$

(при $d = 3{,}0$ мм).

$$a_1 = 0{,}82005 + 0{,}03608d + 0{,}01292p - 0{,}00267dp \quad (7)$$

(при $n = 6{,}0\ c^{-1}$).

$$a_1 = 0{,}96375 + 0{,}007d - 0{,}05275n + 0{,}0105dn \quad (8)$$

(при $p = 3{,}0$ кПа).

Используя уравнения 6–8 построены графики частости односемянной подачи семян дозирующими элементами (рис. 5–7).

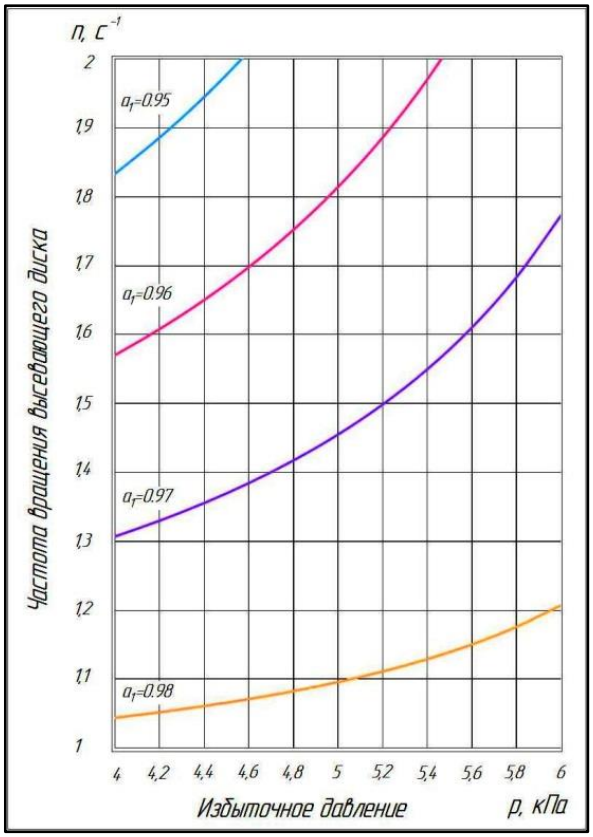

Рис. 5. Изолинии частости односемянной подачи семян сои дозирующими элементами при постоянном диаметре отверстий для выхода воздуха из дозирующих элементов высевающего диска аппарата d=3,9 мм (X_1=0)

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

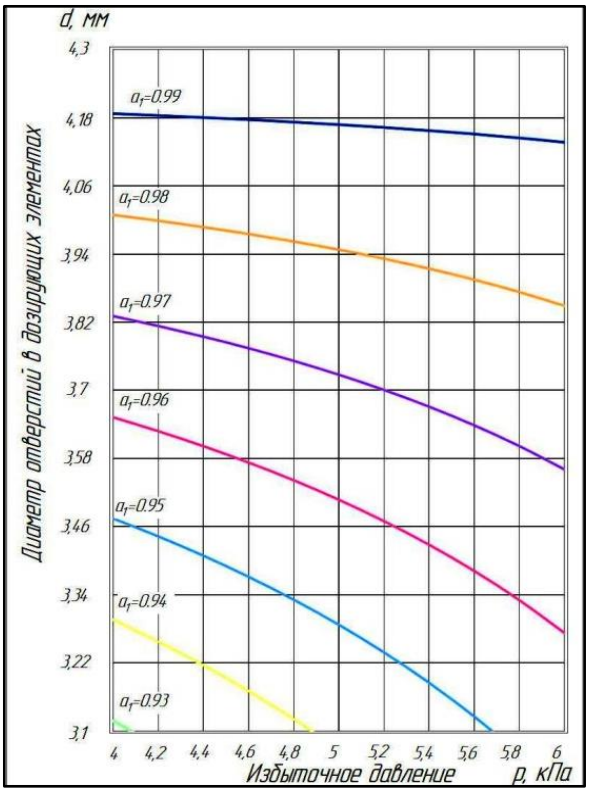

Рис. 6. Изолинии частости односемянной подачи сои дозирующими элементами при постоянной частоте вращения высевающего диска аппарата n=1,5 с$^{-1}$ (X_2=0)

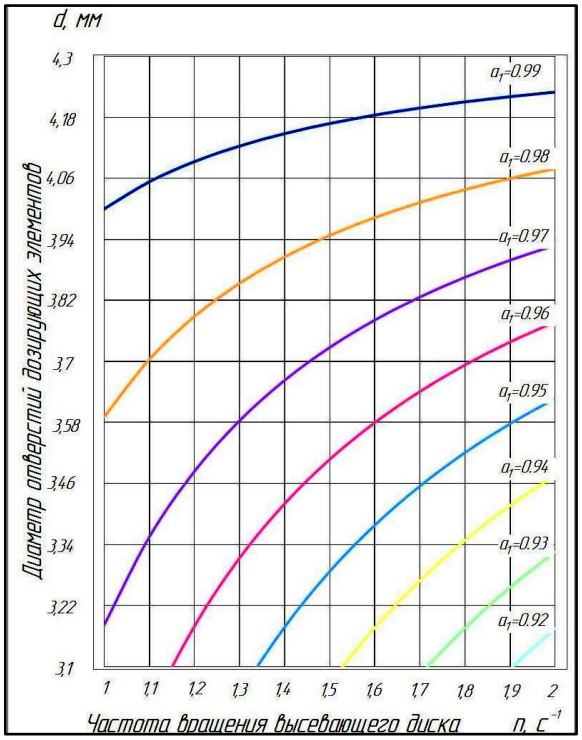

Рис. 7. Изолинии частости односемянной подачи сои дозирующими элементами высевающего диска при постоянном давлении в камере аппарата p=5,0 кПа (X_3=0)

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Проведя анализ графиков, выделяем для практического применения область двухмерных сечений, находящуюся за изолинией a_1=0,97, так как при этом общее количество нулевых и двойных подач – 3%.

На графиках рис. 5 видим, что для частости односемянной подачи дозирующими элементами 0,97 при увеличении частоты вращения высевающего диска с 1,31 до 1,78 $с^{-1}$ избыточное давление в аппарате необходимо увеличить с 4 до 6 кПа. Для частости односемянной подачи дозирующими элементами 0,98 при увеличении частоты вращения высевающего диска с 1,06 до 1,21 $с^{-1}$ избыточное давление в аппарате необходимо увеличить с 4 до 6 кПа. Эти данные подтверждают теоретическое исследование, что для гарантированного захвата семени дозирующим элементом при частоте вращения высевающего диска более одного оборота в секунду (для дозирования семян сои) необходимо давление воздуха в аппарате более 4 КПа.

Выводы

Проведя теоретическое и экспериментальное исследования, делаем следующие выводы.

1. Используя полученные графики (рис. 5–7) можно определить рациональные параметры работы разработанного аппарата с нагнетающим воздушным потоком для качественной работы аппарата, так (рис. 5) для частости односемянной подачи дозирующими элементами 0,98 при частоте вращения высевающего диска с 1,1 $с^{-1}$ необходимо избыточное давление в аппарате 5,1 кПа.

2. Разработанная конструкция аппарата имеет ряд преимуществ: один аппарат, осуществляет дозирование в 2 ряда, аппарат обладает лёгкой настройкой и простотой в эксплуатации за счёт использования прозрачных высевающих дисков, позволяет осуществлять визуальный контроль, качественное дозирование семян.

Учитывая вышеизложенные материалы, констатирую, что разработанная конструкция аппарата с нагнетающим потоком, соответствует современному уровню развития дозаторов семян.

Список использованных источников:

1. Бородаева М.Г., Зубрилина Е.М., Каргина А.В., Маркво И.А., Пастухов А.Г. Тенденции качественного развития сеялок точного высева в условиях конкурентоспособного импортозамещения // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: сб. ст. 10-й межд-ой науч.-практич. конф. в рамках 20-й межд-ой агропром. выст. «Интерагромаш-2017», Ростов-на-Дону, 2017. – С. 153–154.

2. Крючин Н.П., Горбачев А.П. Исследование пневматического транспортирования семян с различными физико-механическими свойствами // В сборнике: Современные ресурсоэффективные технологии и технические средства в АПК. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Курск, 2021. С. 25–28.

3. Хижняк В.И., Кочергин А.С., Таранов В.А., Онищенко Е.А. Разработка дозирующего модуля сеялки пунктирного высева СПВ-870 // Вестник аграрной науки Дона. - № 2 (50) - 2020. - С. 27–34.

4. Хижняк В.И., Мальцев П.С., Таранов В.А., Онищенко Е.А., Хронюк В.Б., Лаврухин П.В. Анализ конструкций пропашных сеялок // Вестник аграрной науки Дона. - № 4 (52) - 2020. – С. 42–53.

5. Пат. 2787370 RU C 1. A01 C7/04 Пневматический высевающий аппарат / Хижняк В.И., Мальцев П.С., Таранов В.А., Щиров В.В., Несмиян А.Ю., Кормильцев Ю.Г., Хижняк Д.В. – Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде – № 2022116802/12; заявл. 21.06.2022; опубл. 09.01.2023, Бюл №1.

6. Хижняк В.И., Мальцев П.С., Несмиян А.Ю., Кормильцев Ю.Г., Хижняк Д.В. Теоретическое исследование процесса дозирования семян с использованием нагнетающего воздушного потока // Вестник аграрной науки Дона. - № 4 (56) - 2021. – С. 46–55.

7. Хижняк В.И., Кочергин А.С., Несмиян А.Ю., Кормильцев Ю.Г., Таранов В.А. Экспериментальное исследование процесса дозирования семян аппаратом с нагнетаемым потоком воздуха // Вестник аграрной науки Дона. - 2022. - Т. 15. - № 3 (59). – С. 50–60.

==========

Цитирование:

Мальцев П.С. Разработка и исследование высевающего аппарата избыточного давления для точного поштучного дозирования семян сои [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/3/st_302.pdf.
DOI: https://doi.org/10.51419/202133302.