

На правах рукописи



СОЛДАТОВ Юрий Игоревич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДЕЛИТЕЛЯ ДЛЯ ЛЕНТОЧНОГО ПОСЕВА
СЕМЯН САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПНЕВМАТИЧЕСКИМ
ВЫСЕВАЮЩИМ АППАРАТОМ**

4.3.1. Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ).

Научный руководитель: **Гиевский Алексей Михайлович**,
доктор технических наук, доцент.

Официальные оппоненты: **Новиков Артур Игоревич**, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», профессор кафедры древесиноведения;
Зубрилина Елена Михайловна, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет», доцент кафедры «Управление качеством».

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН).

Защита состоится 21 марта 2024 г. в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 35.2.008.01, созданного на базе ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учебный корпус агроинженерного факультета (корпус № 3), аудитория 319.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ и на сайте www.vsau.ru («Диссертационные советы» – «Защиты» – «35.2.008.01»), а также по ссылке: <http://ds.vsau.ru/?p=11168>.

Автореферат разослан 26 января 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Афоничев Дмитрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Семеноводство сахарной свеклы является важным направлением в агропромышленном комплексе, поскольку использование качественных семян существенно влияет на урожайность корнеплодов. Для укрепления технологического суверенитета в свекловодстве необходимо увеличить на рынке количество и качество отечественного посевного материала. Однако существующие способы посева сахарной свеклы имеют недостатки, связанные с формированием рациональной густоты насаждения растений. Учеными ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова была запатентована технология загущенного выращивания семенников сахарной свеклы с междурядьями 45+15 см, которая позволяет получать корнеплоды малой массы (штеклинги), обеспечивающие больший выход семян, а также более низкие затраты на хранение. Препятствием для выращивания штеклингов является отсутствие посевных машин для реализации предлагаемой схемы размещения междурядий 45+15 см.

Одним из актуальных направлений внедрения этой схемы является разработка посевных машин, способных производить высев дражированных семян сахарной свеклы в две строчки с размещением в шахматном порядке друг относительно друга. Вместо изготовления отдельной сеялки, предлагается разработать приспособление для уже существующих сеялок, позволяющее производить высев семян сахарной свеклы ленточным способом с одной высевающей секции.

Диссертационная работа посвящена разработке и обоснованию конструкции делителя потока для высевающего аппарата сеялки точного посева, позволяющего производить посев дражированных семян сахарной свеклы ленточным способом одним высевающим аппаратом секции пневматической сеялки точного посева ТС-М-4150А, производимой в Воронежской области предприятием ООО «Техника Сервис Агро».

Диссертационная работа выполнена в рамках НИР агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»: «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», п. 2.1 «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации производства продукции растениеводства», утвержденной ученым советом университета (номер государственной регистрации 01.200.1-003986).

Степень разработанности темы. Вопросами исследования процесса посева сахарной свеклы и других культур, высеваемых пунктирным способом, занимались и занимаются в настоящее время множество научных организаций и ученых.

Значительный вклад в развитие теории пунктирного посева, а также в совершенствование конструкций высевающих аппаратов внесли В.В. Василенко, В.В. Труфанов, Е.М. Зубрилина, посев дражированных семян исследовал, в частности, А.И. Новиков. Технологические процессы посева, а также совершенствование конструкций и рабочих процессов посевных машин изучали в следующих научных и научно-образовательных организациях: Донской государственный технический университет (Зубрилина Е.М., Маркво И.А., Новиков В.И. и др.), Донской государственный аграрный университет (Несмиян А.Ю., Хижняк В.И. и др.), Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и

нефтепродуктов в сельском хозяйстве (Балашов А.В., Гаврилин А.В., Пустоваров Н.Ю. и др.).

Вопросами выращивания корнеплодов сахарной свеклы загущенным способом, в т.ч. с использованием схемы междурядий 45+15 см занималась научная школа К.Р. Казарова, действующая в Воронежском государственном аграрном университете имени императора Петра I. Представители этой школы (Лукина И.К., Черников В.А. и др.) и в настоящее время продолжают исследования в данной области, а также ведут плодотворную работу совместно с Всероссийским научно-исследовательским институтом сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова (Бартенев И.И., Борзенков С.П., Гаврин Д.С., Путилина Л.Н. и др.), а также с Мичуринским государственным аграрным университетом (Абросимов А.Г., Горшенев В.И., Соловьев С.В. и др.). Однако до настоящего времени реализация схемы междурядий 45+15 см существующими сеялками точного посева не представляется возможной. Поэтому исследования, направленные на разработку и обоснование параметров устройства для разделения семян с одного посевающего аппарата, являются актуальной задачей.

Объектом исследования является делитель для ленточного посева семян сахарной свеклы пневматическим посевающим аппаратом сеялки точного посева ТС-М 4150А.

Предметом исследования являются закономерности разделения подаваемых семян сахарной свеклы на две строчки дискретным воздушным потоком.

Цель работы: повышение качества посева дражированных семян сахарной свеклы в две строчки с междурядьем 15 см пневматическим посевающим аппаратом путем их разделения дискретным воздушным потоком.

Поставленная цель может быть достигнута в случае реализации **научной гипотезы**, заключающейся в том, что делитель потока семян сахарной свеклы для пневматического посевающего аппарата, производящий разделение семян воздушным потоком на две строчки, позволит использовать имеющиеся в хозяйствах сеялки точного посева для посева семян сахарной свеклы ленточным способом.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи**:

- установить возможность реализации посева семян сахарной свеклы со схемой междурядий 45+15 см путем разделения семян на две строчки дискретным воздушным потоком;
- обосновать параметры делителя потока семян, обеспечивающие качественное разделение и распределение семян в две строчки пневматическим посевающим аппаратом сеялки точного посева;
- определить рациональный режим работы пневматического посевающего аппарата для посева дражированных семян сахарной свеклы в две строчки;
- доказать целесообразность использования разработанного делителя потока семян для пневматического посевающего аппарата сеялки точного посева.

Научная новизна. Результаты диссертационной работы, обладающие научной новизной, заключаются в следующем:

- установлена аналитическая зависимость для определения коэффициента запаса присасывающей силы семян сахарной свеклы к посевающему диску, отличающаяся учетом лобового сопротивления семени;

- выявлена закономерность подачи семян сахарной свеклы в борозду, отличающаяся тем, что движущиеся семена разделяются на две строчки дискретным воздушным потоком в делителе;

- установлены зависимости для обоснования параметров делителя потока семян сахарной свеклы, обеспечивающие качественное разделение и распределение семян в две строчки пневматическим высевальным аппаратом сеялки точного посева;

- получены зависимости для определения рационального режима работы пневматического высевального аппарата для посева дражированных семян сахарной свеклы в две строчки, отличающиеся учетом параметров делителя.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что полученная аналитическая зависимость для определения коэффициента запаса присасывающей силы семян сахарной свеклы к высевальному диску позволяет обосновать рациональные режимы работы высевального аппарата сеялки точного посева для семян сахарной свеклы; выявленная закономерность подачи семян сахарной свеклы в борозду позволяет рассчитать рациональные параметры делителя и его режим работы.

Практическую значимость имеют: разработанный делитель потока семян к высевальному аппарату сеялки точного посева и обоснованные его рациональные параметры (патент РФ № 212300); рекомендации по применению делителя для ленточного посева семян сахарной свеклы пневматическим высевальным аппаратом сеялки точного посева ТС-М 4150А.

Методология и методы исследования. Теоретическое исследование произведено на основе методов математического моделирования и классической механики. Лабораторный эксперимент поставлен с использованием апробированных методик, для его проведения модернизирована лабораторная установка для исследования процесса посева семян пневматическим высевальным аппаратом. Измерения проводили сертифицированными и поверенными приборами. При проведении расчетов и обработке результатов эксперимента использовали современные компьютеры и применяли программное обеспечение: Microsoft Excel, IPython, Mathcad, Maple, Statistica.

Положения, выносимые на защиту:

- аналитическая зависимость для определения коэффициента запаса присасывающей силы семян сахарной свеклы к высевальному диску, позволяющая оценить способность семян сахарной свеклы к удержанию в отверстиях высевального диска;

- закономерность подачи семян сахарной свеклы в борозду, позволяющая обосновать требуемые параметры делителя;

- зависимости для обоснования параметров делителя потока семян сахарной свеклы, позволяющие рассчитать рациональные параметры делителя, при которых обеспечивается качественный посев;

- зависимости для определения рационального режима работы пневматического высевального аппарата для посева дражированных семян сахарной свеклы в две строчки, позволяющие определить давление в пневмосистеме и угловую скорость высевального диска, обеспечивающие требуемые параметры распределения семян в строчках.

Степень достоверности и апробации результатов. Результаты получены с применением современных теоретических подходов, методов математического анализа, теории посевных машин, математического моделирования, апробированных методик экспериментальных исследований. Достоверность результатов подтверждается методологической базой исследований, проведением системного анализа решаемых задач и применением методов математического моделирования, использованием современных средств вычислительной техники, поверенных измерительных приборов, результатами внедрения в производство.

Результаты диссертационной работы используются ООО «Техника Сервис Агро» при разработке делителей к высевающему аппарату сеялки точного высева для семеноводческих хозяйств, а также в учебном процессе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» при подготовке бакалавров по направлению 35.03.06 «Агроинженерия».

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались в период с 2019 по 2023 год на ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, а также на международных, всероссийских и национальных научных конференциях.

Личный вклад соискателя заключается в постановке цели, задач и выборе методов исследований, разработке компьютерных программ, разработке программы и методики экспериментальных исследований, проведении опытов, выполненных лично автором; модернизации лабораторной установки, получении аналитических зависимостей и проведении расчетов, настройке делителя потока семян, обработке результатов эксперимента, выполненных при участии автора, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Публикации. Результаты исследований отражены в 42 научных работах, общим объемом 25,1 п.л. (авторский вклад – 7,1 п.л.), из них 1 монография, 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций (авторский вклад – 0,63 п.л.), 6 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ, один патент на полезную модель, один патент на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, включающих 51 рисунок и 15 таблиц, заключения, списка литературы из 168 наименований, 9 приложений. Объем диссертации – 180 страница.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Результаты, выносимые на защиту, относятся к пунктам: 4 «Механизированные, автоматизированные и роботизированные технологии и технические средства для агропромышленного комплекса», 15 «Физическое, математическое и компьютерное моделирование механизированных, автоматизированных, роботизированных и биомашинных систем» паспорта научной специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрывается актуальность темы диссертационной работы, приводятся: цель исследования, положения, выносимые на защиту, научная новизна, практическая ценность и реализация результатов, дается краткий обзор содержания работы.

В первом разделе «Современное состояние свекловодства» рассмотрено современное состояние семеноводства сахарной свеклы в Центрально-Черноземном регионе. Обоснован ленточный способ посева семян сахарной свеклы путем имитационного моделирования, рассмотрены машины для посева семян сахарной свеклы с междурядьем 45 см и устройства для посева семян ленточным способом, а также изучена возможность использования существующих машин и разработок для производства штеклингов. Выполненный обзор позволил оценить степень разработанности темы и сформулировать цель и задачи исследования.

Во втором разделе «Теоретическое обоснование параметров делителя для двустрочного посева» изучались вопросы математического моделирования движения семени в делителе потока к пневматическому высевашему аппарату.

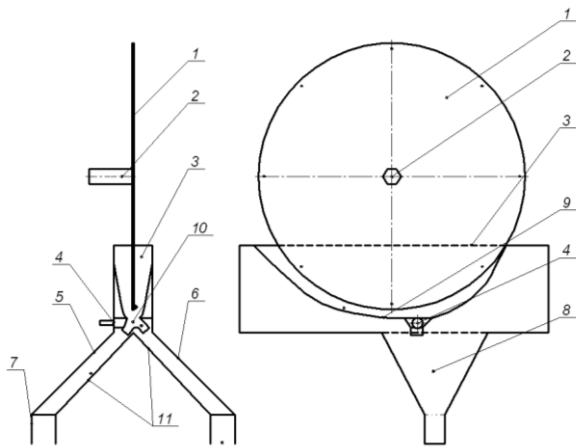


Рисунок 1. Схема устройства делителя потока семян с высевашего аппарата сеялки точного посева ТС-М-4150А

Расчетная схема представлена на рисунке 1. Посевной материал с высевашего диска 1, приводимого в движение валом 2, поступает в вертикальный входной отвод 3 делителя, где по наклонной лотке 9 скатывается к воздушной камере 10 и при отсутствии подачи воздуха к форсунке 4 попадает на начало косого отвода 5 слева, затем – в посевное ложе, создаваемое первым сошником. При подаче воздуха семя смещается струей в поперечном направлении и падает на начало косого отвода справа 6 и по внутренней стенке 11 скатывается к сошнику. Для корректировки траектории используются направляющие 7.

В работе уточнен расчет процесса захвата дражированных семян с учетом их шаровидной формы. Присасывающая сила в этом случае выглядит так:

$$F_{\Pi} = \eta_{\Pi} \cdot \frac{\pi \cdot \Delta H \cdot d_{\text{сем}}}{2} \left(d_{\text{сем}} - \sqrt{d_{\text{сем}}^2 - d_{\text{отв}}^2} \right), \quad (1)$$

где F_{Π} – присасывающая сила, Па; η_{Π} – коэффициент присасывания; ΔH – величина разрежения, Па; $d_{\text{сем}}$ – диаметр семени, м; $d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстия диска, м.

Значение этой силы должно быть больше или равно силам сопротивления: сила тяжести $F_{\text{тяж}}$, центробежная сила $F_{\text{цб}}$, сила инерции семени в момент присасывания $m_{\text{сем}} \frac{dV}{dt}$ и сила лобового сопротивления $F_{\text{лоб}}$, возникающая при движении присасываемого семени в слое посевного материала. Отсюда, модуль равнодействующей силы сопротивления $R_{\text{сопр}}$ определим из выражения:

$$R_{\text{сопр}} = \sqrt{\frac{(m_{\text{сем}} g \cdot \cos \alpha + \omega^2 R_{\text{отв}})^2 + \left(k_{\phi} \cdot \gamma \cdot l_{\text{сем}} \cdot g \cdot \frac{\pi d_{\text{сем}}^2}{4} \cdot \frac{1 - \sin \tau \cos 2\beta}{1 + \sin \tau \cos 2\beta} + \right)^2}{+ m_{\text{сем}} \left(g \cdot \sin \alpha + \frac{(\omega R_{\text{отв}} - \omega R_{\text{втр}})^2}{d_{\text{сем}}} \right)^2}}. \quad (2)$$

где $m_{\text{сем}}$ – масса семени, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; α – угол поворота диска, на котором осуществляется присасывание, рад; ω – угловая скорость

диска, рад/с; $R_{\text{отв}}$ – радиус расположения отверстий, м; k_{ϕ} – коэффициент искажения формы; τ – угол внутреннего трения семян; γ – объемная масса семян, кг/м³; $l_{\text{сем}}$ – высота слоя семян над присасываемой частицей, м; β – угол наклона площадки разрушения к направлению напряжения, рад; $R_{\text{в}}$ – радиус расположения ворошителей, м; $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения.

Для оценки способности присасывающей силы выдерживать нестабильность сил сопротивления на семя вводим коэффициент запаса присасывающей силы k_3 , определяемый по формуле:

$$k_3 = \frac{F_{\Pi}}{R_{\text{сопр}}} \quad (3)$$

Графическая зависимость коэффициента запаса присасывающей силы от угловой скорости диска и разрежения представлена на рисунке 2. В результате анализа

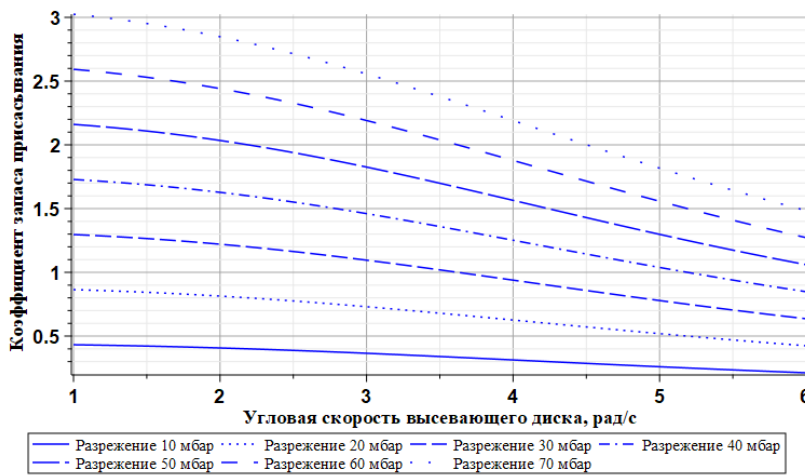


Рисунок 2. Зависимость коэффициента запаса присасывающей силы от угловой скорости при разной глубине разрежения

сделаем вывод, что уточненный расчет процесса захвата дражированных семян сахарной свеклы позволил определить разрежение в высевающем аппарате 30 мбар при угловой скорости диска не более 4 рад/с. Повышение скорости до 5 рад/с требует увеличения разрежения до 40 мбар, а до 6 рад/с – 50 мбар. Коэффициент запаса присасывающей силы должен составлять $2,0 \pm 0,5$.

В работе было проведено моделирование движения семени с момента отрыва от высевающего аппарата до выхода из делителя. Вначале оно движется под действием силы тяжести вниз на сборочный лоток, по поверхности которого затем совершает качение до воздушной камеры, где происходит процесс разделения на два потока. Процесс полета семени может быть описан с помощью системы дифференциальных квазилинейных уравнений второго порядка:

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} + k \cdot \frac{dx}{dt} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} = 0 \\ \frac{d^2y}{dt^2} + k \cdot \frac{dy}{dt} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} + g = 0 \end{cases}, \quad (4)$$

где x и y – координаты положения семени вдоль оси абсцисс и ординат соответственно, м; k – коэффициент парусности, с⁻¹.

После приземления семя начинает качение по поверхности сборочного лотка. Его форма является криволинейной, что позволяет уменьшить угол входа частицы к поверхности, вследствие чего количество отскоков будет минимальным. Квазилинейное уравнение движения в этом случае имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{3}{5} \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{1}{2} g \sin 2\varphi_c - (k \cos \varphi_c + R_T(x)^{-1} \sin \varphi_c) \frac{dx}{dt} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} \\ \frac{7}{5} \frac{d^2y}{dt^2} = \sin^2 \varphi_c - (k \sin \varphi_c + R_T(x)^{-1} \cos \varphi_c) \frac{dy}{dt} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} \end{cases}, \quad (5)$$

где φ_c – угол наклона касательной к кривой; R_T – радиус кривизны траектории, м.

Установили, что делитель потока необходимо оборудовать сборочным лотком подачи семян в воздушную камеру с формой, описываемой уравнением $f(x) = 100x^2 - 6x + 0,09$, с длиной 0,035 м, высотой 0,1 м, с его смещением в продольной вертикальной плоскости от места отрыва семени от диска на 0,005 м против направления вращения высевающего диска. Выходные отводы делителя устанавливаются таким образом, чтобы семя смещалось относительно центра высевающего аппарата на 0,075 м, а наклон отводов относительно линии горизонта в поперечном направлении составлял 45° .

После схода с лотка семя попадает в воздушную камеру, которая установлена во второй части делителя. Уравнение полета семени с учетом влияния воздушного потока вдоль оси z имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{d^2z}{dt^2} + k \cdot \frac{dz}{dt} \sqrt{\left(\frac{dz}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} - ku^2 = 0 \\ \frac{d^2y}{dt^2} + k \cdot \frac{dy}{dt} \sqrt{\left(\frac{dz}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} + g = 0 \end{cases}, \quad (6)$$

где u – скорость воздушного потока, м/с.

На рисунке 3 показана траектория полета семени в делителе с учетом абсолютно упругого соударения. На нем видим, что при пересечении воздушной камеры, обозначенной горизонтальной линией с координатой $y = 0,17$ м, на семя действует воздушный поток слева направо со скоростью 30 м/с до горизонтальной линии с координатой $y = 0,16$ м. В этом интервале под действием силы сопротивления воздушного потока семя изменяет свою траекторию и приобретает горизонтальную составляющую скорости в направлении оси z , затем попадает в правый отвод. В дальнейшем семя, увеличивая скорость под действием ускорения свободного падения, соударяется с внутренней стенкой делителя и отскакивает под тем же углом к нормали в 63° с той же начальной скоростью $v_3 = 1,41$ м/с до соударения с наружной стенкой отвода делителя.

Получаем, что при диаметре воздушной камеры 0,01 м скорость воздушного потока должна составлять от 22 до 35 м/с, это соответствует давлению в пневмосистеме от $1,2 \cdot 10^5$ Па до $1,4 \cdot 10^5$ Па. При угловой скорости высевающего диска $\omega = 0,45$ рад/с и при скорости воздушного потока 30 м/с совокупное время движения семени с момента отрыва от диска до выхода из отводов левого и правого делителя составляет соответственно 0,404 с и 0,398 с.

Проведенный анализ прогнозируемой урожайности семян сахарной свеклы (рисунок 4) позволяет сделать вывод, что при благоприятных погодных условиях использование в первый год посева схемы междурядий 45+15 см с интервалом

между семенами в рядке от 13 до 19 см приводит к увеличению средней урожайности семян на второй год вегетации на 30 ц/га выше, чем с междурядьем 45 см.

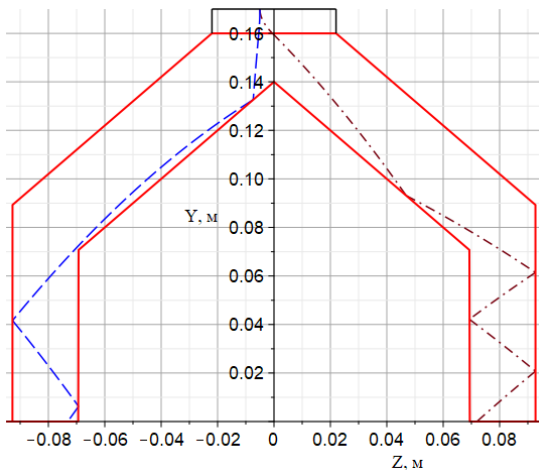


Рисунок 3. Траектория полета частицы в проектируемом устройстве

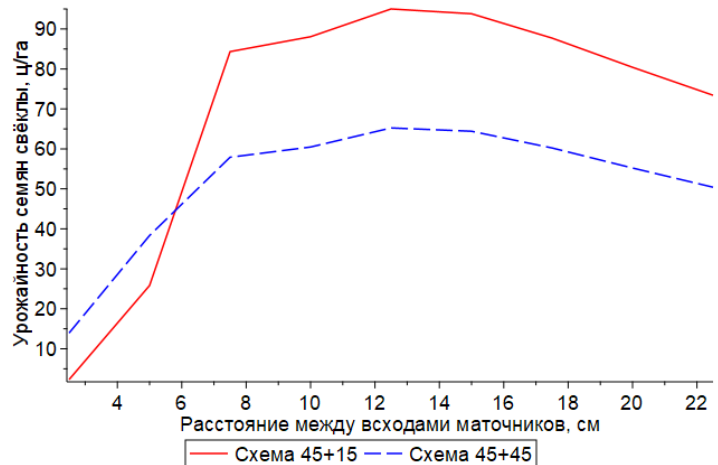


Рисунок 4. Влияние расстояния между семенами в рядке на урожайность во второй год вегетации

В разделе 3 «Программа и методика экспериментальных исследований» представлены: программа экспериментальных исследований, описание экспериментальной установки, методики проведения исследований и обработки результатов.

Программа экспериментальных исследований включала определение физико-механических свойств дражированных семян (размерные характеристики, аэродинамические свойства, масса 1000 семян, плотность, объемная масса, коэффициент внутреннего трения); коэффициента присасывания; вероятности заполнения отверстий высевающего диска в зависимости от скорости вращения диска и разрежения в вакуумной камере; возможности работы делителя для двустрочного посева с использованием нагнетательного воздушного потока; рационального режима работы делителя потока для двустрочного посева на пневмовакuumный высевающий аппарат сеялки точного посева.

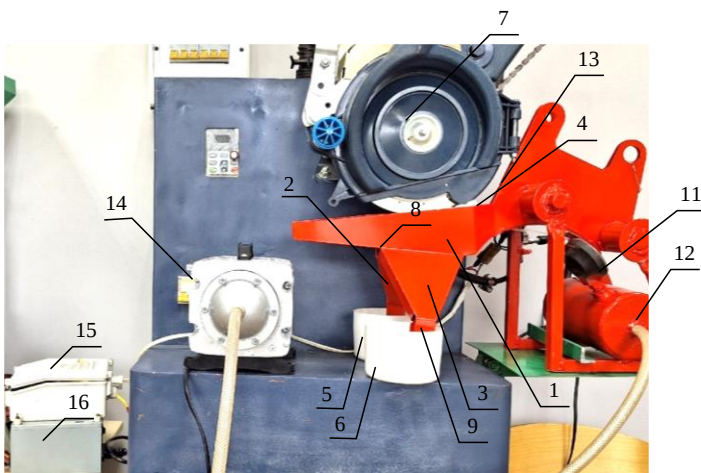


Рисунок 5. Лабораторная установка для испытания делителя потока семян к высевающему аппарату

делителя потока семян к высевающему аппарату

Исследования проводились в лабораторных условиях на установке (рисунок 5), состоящей из высевающего аппарата 7 сеялки ТС-М-4150А, к которому подключен вакуумный насос для создания регулируемого разрежения. Вал высевающего аппарата с диском приводится в движение электродвигателем с возможностью бесступенчатой регулировки частоты вращения. На высевающий аппарат был установлен делитель потока (патент РФ 212300), состоящий из входного от-

дают в левый косой отвод 2, а при подаче воздуха к форсунке – в правый отвод 3. Частота срабатывания форсунки, равная половине частоты схода семян с диска высевашевого аппарата, задается микроконтроллером 15 с блоком питания 16. Микроконтроллер управляет электромагнитным клапаном 13, который подает воздушный поток к камере 8 от компрессора 14 с ресивером 12 и манометром 11, который подает воздушный поток к камере 8 от компрессора 14 с ресивером 12 и манометром 11. С отводов семена подаются к лоткам 5 и 6, корректировка траектории производится направляющей 9. К высевашевой секции делитель крепится с помощью проушин 10.

В четвертом разделе «Результаты экспериментальных исследований» определены показатели качества работы высевашевого аппарата и делителя потока.

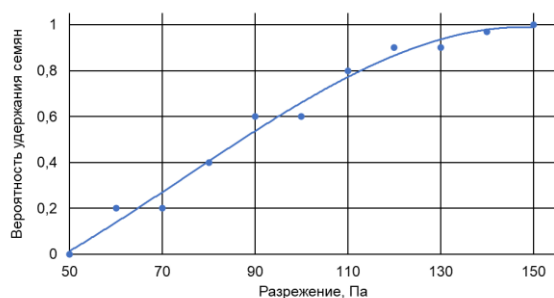


Рисунок 6. График зависимости вероятности удержания семян от разрежения в вакуумной камере

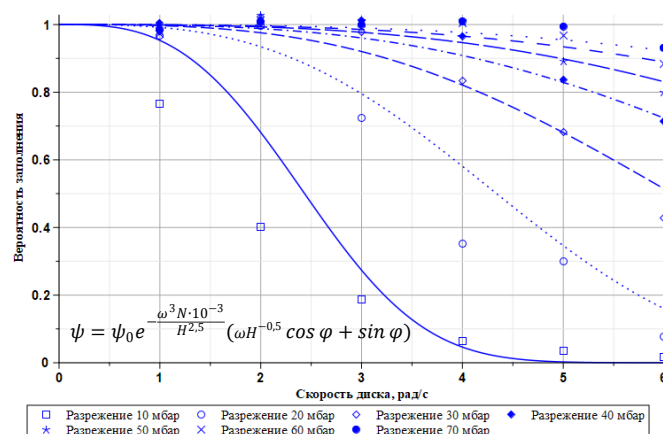


Рисунок 7. Зависимость вероятности заполнения отверстий диска от скорости вращения и глубины разрежения для диска 2,2×48

В результате эксперимента был определен коэффициент присасывания, показывающий отношение присасывающей силы, действующей на семя, к создаваемой. Из рисунка 6 видно, что при постепенном уменьшении разрежения вероятность удержания семени снижается по полиномиальной зависимости. При разрежении 150 Па вероятность удержания семян равна 1, что говорит о полном удержании посевного материала. При снижении глубины вакуума до 130 Па начинается отрыв семян, поэтому было взято среднее значение между этими двумя показателями. Для семян, используемых в исследованиях, коэффициент присасывания составил 0,92. С учетом изменений за счет состава драже, формы и состояния поверхности при хранении и транспортировке, в расчетах он может принимать значение от 0,85 до 0,95.

Как показали исследования, изменение вероятности заполнения отверстий высевашевого диска описывается уравнением $\frac{d^2\psi}{ds^2} + 2\mu \frac{d\psi}{ds} + \mu^2\psi = 0$, где $\mu = \frac{\omega^2 N_{от.} \cdot 10^{-3}}{\Delta H^2}$ и $s = \omega \Delta H^{-0,5}$. Выполнение агротехнических требований (вероятность заполнения >97%) для дражированных семян сахарной свеклы при установке разрежения в 30 мбар обеспечивается при угловой скорости диска до 4 рад/с. С увеличением скорости до 5 рад/с необходимо устанавливать разрежение 40 мбар, до 6 рад/с – 50 мбар. С учетом подстановки значений s и μ получим уравнение регрессии в виде:

$$\psi = \psi_0 e^{-\frac{\omega^3 N_{\text{от}} \cdot 10^{-3}}{\Delta H^{2,5}}} (\omega \Delta H^{-0,5} \cos \varphi + \sin \varphi). \quad (7)$$

где ψ_0 – начальная амплитуда вероятности, $\psi_0 = 1$; $N_{\text{от}}$ – количество отверстий, шт.; ω – частота вращения высевающего диска, рад/с; μ – коэффициент, описывающий упругость среды; s – независимая переменная связи скорости диска и создаваемого разрежения, $s = \omega \Delta H^{-0,5}$; φ – начальная фаза колебаний вероятности.

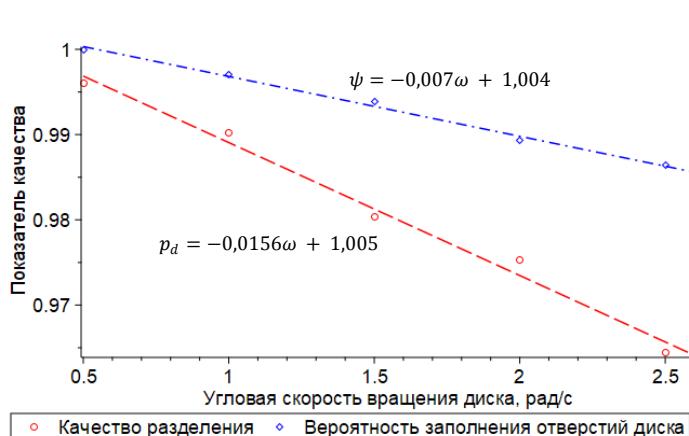


Рисунок 8. Зависимость показателей качества разделения семян от частоты вращения высевающего диска

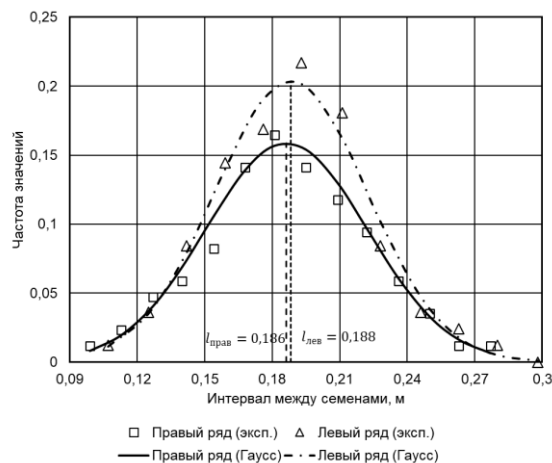


Рисунок 9. Распределение интервалов между семенами в строчках

В результате исследований определили, что качественная работа делителя обеспечивается нагнетательным воздушным потоком в воздушной камере диаметром 0,01 м при давлении 0,15...0,17 МПа. На рисунке 8 видим, что на качество разделения семян делителем оказывает влияние и вероятность заполнения отверстий диска, которая должна быть близка к 100%. При угловой скорости диска до 1,7 рад/с вероятность заполнения отверстий диска выше 99%, а качество разделения выше 97,5%. Качество разделения меньше 97% наблюдается при повышении угловой скорости диска выше 2,2 рад/с, при этом вероятность заполнения остается выше 98%.

При анализе результатов обработки экспериментальных данных определили, что средний интервал размещения семян в левой и правой строчках составляет в среднем 18,5 см. Это свидетельствует о том, что рекомендуемый интервал от 13 до 19 см соблюдается. Коэффициент вариации размещения семян для левого и правого ряда составляет меньше 0,33 (33%). Это говорит о том, что представленное распределение близко к распределению Гаусса. Доля интервалов между семенами меньше 0,13 и больше 0,26 м, возникающих из-за отсутствия семени либо при присасывании больше одного семени к отверстию, составляет около 3%, что при вероятности заполнения в 97% вполне приемлемо.

В пятом разделе «Экономическая эффективность применения делителя потока семян на пневматический высевающий аппарат» установлено, что посев дражированных семян сахарной свеклы со схемой размещения междурядий 45+15 см с установкой делителя на 8 высевающих аппаратов сеялки точного высева ТС-М-4150А позволит увеличить урожайность семян на 6% на второй год вегетации корнеплодов. Это даст годовой экономический эффект в размере 1,19 млн руб. на второй год вегетации сахарной свеклы, за весь срок эксплуатации экономический эффект составит 14,65 млн руб. При этом стоимость переоборудования одного аппарата составляет 36 350 руб., всей сеялки – 290 600 руб. Срок окупаемости составит 2,2 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При благоприятных погодных условиях и интервале между семенами в рядке в первый год посева от 13 до 19 см использование схемы междурядий 45+15 см по сравнению с междурядьем 45 см приводит к увеличению средней урожайности семян на второй год вегетации на 30 ц/га.

2. В результате моделирования процесса захвата дражированных семян сахарной свеклы с учетом сил лобового сопротивления и инерции семени в момент присасывания определено необходимое разрежение в высевальном аппарате 30 мбар при угловой скорости диска не более 4 рад/с. Повышение скорости до 5 рад/с требует увеличения разрежения до 40 мбар, а до 6 рад/с – 50 мбар; коэффициент запаса присасывающей силы, оценивающий способность присасывающей силы противостоять неустойчивости сил сопротивления и определяемый как отношение присасывающей силы к результирующей силе сопротивления должен составлять $2,0 \pm 0,5$.

3. Делитель семян на два потока с одного высевального аппарата необходимо оборудовать сборочным лотком подачи семян в воздушную камеру с формой, описываемой уравнением $f(x) = 100x^2 - 6x + 0,09$, длиной 0,035 м, высотой 0,1 м, с его смещением в продольной вертикальной плоскости на 0,005 м от места выхода семян. Выходные отводы делителя с наклоном относительно линии горизонта в поперечном направлении 45° устанавливаются со смещением относительно центра высевального аппарата на 0,075 м; при этом совокупное время движения семян в делителе с момента отрыва от диска до выхода из отводов левого и правого делителя составляет соответственно 0,404 и 0,398 с.

4. Качественная работа делителя обеспечивается нагнетательным воздушным потоком в воздушной камере диаметром 0,01 м при давлении 0,15...0,17 МПа, при этом угловая скорость диска не должна превышать 2 рад/с. Разработанный делитель обеспечивает разделение семян на две строчки со средним интервалом размещения в левой и правой строчках соответственно 18,8 и 18,6 см, при расчетном интервале 18,2 см. Коэффициент вариации размещения семян для левого и правого ряда составляет 17,9 и 19,2 %. Это подтверждает наличие в ленте нормального распределения.

5. Экспериментально определен коэффициент присасывания, показывающий степень использования присасывающей силы, который для дражированных семян сахарной свеклы может изменяться в пределах от 0,85 до 0,95. Для оценки вероятности заполнения отверстий высевального диска в зависимости от угловой скорости и разрежения получена экспериментальная регрессионная зависимость:

$$\psi = \psi_0 e^{-\frac{\omega^3 N_{от} \cdot 10^{-3}}{\Delta H^{2,5}}} (\omega \Delta H^{-0,5} \cos \varphi + \sin \varphi).$$

6. При стоимости переоборудования одного высевального аппарата для размещения семян со схемой 45+15 см 36 350 руб., урожайность семян на второй год вегетации повысится на 6 % по сравнению с посевом с междурядьем 45 см. Посев дражированных семян сахарной свеклы с установкой делителя на 8 высевальных аппаратов сеялки точного посева ТС-М-4150А позволит получить годовой экономический эффект на второй год вегетации сахарной свеклы в размере 1,19 млн руб., при стоимости переоборудования всей сеялки 290 600 руб. За весь срок эксплуатации экономический эффект составит 14,65 млн руб. при сроке окупаемости 2,2 года.

7. Предприятиям, выпускающим посевную технику, можно рекомендовать изготовление разработанного делителя (патент РФ № 212300) в качестве приспособ-

собления на пневматические высевальные аппараты сеялок точного посева для реализации схемы междурядий 45+15 см, что не требует существенного изменения конструкции базовых узлов сеялки. Разделение семян на две строчки с междурядьем 15 см производится с помощью нагнетательного воздушного потока, создаваемого пневмосистемой делителя при давлении 0,15...0,17 МПа, при этом угловая скорость диска не должна превышать 2 рад/с.

8. В качестве перспективы дальнейшей разработки темы стоит отметить следующие пункты: повышение точности работы делителя, реализуемое за счет совершенствования конструкции инжекторной пневмосистемы, в частности формы и размеров воздушной камеры; изучение возможности замены избыточного давления в форсунке делителя на разрежение, в результате которого возможно использование пневматической системы, установленной на сеялках точного посева; изучение возможности разделения разработанным делителем потока семян других технических культур, которые могут высеваться ленточным способом с аналогичной схемой междурядий.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях

1. Казаров К.Р. Оценка влияния схемы посева сахарной свеклы на урожайность/ К.Р. Казаров, В.А. Черников, И.К. Лукина, И.И. Бартенев, Ю.И. Солдатов// Вестник Воронежского государственного аграрного университета – 2020. – Т. 13 - № 3 (66). - С. 29-37

2. Гиевский А.М., Обоснование выбора высевального диска для посева сахарной свеклы на семенные цели / А.М. Гиевский, Ю.И. Солдатов// Вестник Воронежского государственного аграрного университета– 2021.– Т.14– № 2 (69).- С. 36- 41

3. Василенко В.В. Эмпирическая зависимость массы корнеплода от обоих интервалов в рядке растений сахарной свеклы/ В.В. Василенко, С.В. Василенко, К.Р. Казаров, В.В. Труфанов, Ю.И. Солдатов// Вестник Воронежского государственного аграрного университета– 2021.– Т. 14 - № 3 (70). - С. 51-57

4. Гиевский А. М. Особенности присасывания семян сахарной свеклы к ячейке диска высевального аппарата пневматической сеялки/ А. М. Гиевский, Ю. И. Солдатов// Вестник Воронежского государственного аграрного университета – 2023. – Т. 16, № 3(78). – С. 159-168.

Публикации в материалах конференций, научных журналах и сборниках научных трудов

5. Казаров К.Р. Влияние площади питания на вес корнеплода сахарной свеклы/ К.Р. Казаров, В.А. Черников, Ю.И. Солдатов, И.К. Лукина // Наука и образование на современном этапе развития: материалы международной научно- практической конференции - Ч. I. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. 185- 190.

6. Казаров К.Р. Моделирование выхода маточных корнеплодов при различных схемах посева/ К.Р. Казаров, В.А. Черников, Ю.И. Солдатов, И.К. Лукина // Материалы международной научно- практической конференции «Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения», посвященной 40-летию Белгородского ГАУ. – п. Майский, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018 г. С 81 – 84.

7. Казаров К.Р. Обоснование нормы посева семян сахарной свеклы путем моделирования / К.Р. Казаров, В.А. Черников, И.К. Лукина, Ю.И. Солдатов// Новые технологии и технические средства для эффективного развития АПК: Материалы

национальной научно-практической конференции. – Ч.1. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 94-101.

8. Казаров К.Р. Анализ распределения семян сахарной свеклы сеялкой ССТ-12В в системе R/ Ю.И. Солдатов, К.Р. Казаров, П.В. Москалев// Наука, образование и инновации в современном мире: материалы Национальной научной конференции. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 251-256.

9. Гиевский А.М. К обоснованию выбора типа высевашеающего аппарата для возделывания сахарной свеклы для семенных целей/ А.М. Гиевский, Ю.И. Солдатов // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: материалы национальной научно-практической конференции, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I (Воронеж, 25 сентября 2020 г.) – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. С. 648- 654.

10. Казаров К. Р. Загущенный посев семян сахарной свеклы как способ увеличения урожайности / К. Р. Казаров, И. Е. Павловский, Д. И. Головин, Ю. И. Солдатов// Технологические инновации и научные открытия: Сборник научных статей по материалам VII Международной научно-практической конференции, Уфа, 03 декабря 2021 года.– Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2021. – С. 59-65.

11. Солдатов Ю. И. К обоснованию выбора типа высевашеающего аппарата для возделывания сахарной свеклы для семенных целей/ Ю. И. Солдатов, А. М. Гиевский// Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 73-й национальной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Воронеж, 01 апреля – 31 мая 2022 года/ Воронежский государственный аграрный университет. – Ч. I. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, 2022. – С. 45-56.

12. Чернышов А. В. Исследование работы пневматического высевашеающего аппарата на качество посева сои/ А. В. Чернышов, Ю. И. Солдатов, Д. Ю. Мочалов// Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы национальной научно- практической конференции, Воронеж, 19–21 апреля 2022 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I, 2022. – С. 311-318.

13. Гиевский, А. М. Исследование по выбору оптимального высевашеающего диска для посева сахарной свеклы с целью получения штеклингов/ А. М. Гиевский, Ю. И. Солдатов // Экономическое прогнозирование: модели и методы: Материалы XVIII Международной научно-практической конференции, Воронеж, 14–15 марта 2023 года/ Под общей редакцией И.Н. Щепиной.– Воронеж: Издательство «Истоки», 2023. – С. 46-52.

14. Распределение семян при двустрочном высеве вертикально дисковым аппаратом / С.В. Василенко, В.В. Василенко, Ю.И. Солдатов // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно- практической конференции (6- 7 июня 2023 г.) – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2023. – с. 105-114.

15. Гиевский А.М. К моделированию процесса присасывания семян к диску на примере сеялки ТС-М-4150А/ А.М. Гиевский, Ю.И. Солдатов, А.А. Заболотная// Актуальные вопросы физико-математических и технических наук в свете современных исследований АПК: материалы национальной научно- практической конференции (23 октября 2023 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2023– с. 359- 366

16. Гиевский А.М. К обоснованию выбора высевяющего аппарата загущенного посева сахарной свеклы/ А.М. Гиевский, Ю.И. Солдатов// Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения для АПК: материалы международной научно- практической конференции.— Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2023. – с. 162-168.

Монографии

17. Повышение эффективности процесса высева семян сельскохозяйственных культур и улучшение их посевных качеств/ В. И. Орбинский, В. П. Тихонова, И. В. Баскаков [и др.].— Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I, 2023. – 174 с. – ISBN 978-5-7267-1340-3.

Патенты и свидетельства

18. Патент 212300 Российская Федерация, A01C 7/00 (2006.01). Высевяющая секция пневматической сеялки точного высева/ Ю.И. Солдатов, А.М. Гиевский; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. - № 2022110035; заявл. 12.04.2022; опубл. 14.07.2022. - 6 с.

19. Патент 2790664 Российская Федерация, A01C 7/04 (2006.01). Пневматический аппарат для двустрочного высева пропашных культур/ Василенко В.В., Василенко С.В., Солдатов Ю.И.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. - № 2022123687; заявл. 06.09.2022; опубл. 28.02.2023. - 6 с.

20. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2022662118/69 Российская Федерация. Программа расчета прогнозируемой урожайности сахарной свеклы/ Шацкий В.П., Гиевский А.М., Чернышов А.В., Солдатов Ю.И.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. - № 2022662118/69; заявл. 29.06.2022; опубл. 13.07.2022. - 1 с.

21. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2022680384 Российская Федерация. Программа расчета коэффициента заполняемости отверстий высевяющего диска/ Гиевский А.М., Солдатов Ю.И.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.- № 2022680384; заявл. 31.10.2022; опубл. 31.10.2022. - 1 с.

22. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2023611049 Российская Федерация. Математическая модель полета частицы в адаптере сеялки/ Гиевский А.М., Солдатов Ю.И.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. - № 2023611049; заявл. 16.01.2023; опубл. 16.01.2023. - 1 с.

23. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2023617222 Российская Федерация. Математическая модель работы высевяющего аппарата сеялки точного высева/ Гиевский А.М., Солдатов Ю.И.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.- № 2023617222; заявл. 06.04.2023; опубл. 06.04.2023. - 1 с.

Просим принять участие в работе диссертационного совета 35.2.008.01 или выслать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, ученому секретарю Афоничеву Д.Н. Телефон: +7(473)224-39-39 (доб. 3320), e-mail: et@agroeng.vsau.ru.

Подписано в печать 17.01.2024 г. Формат 60x80^{1/16}. Бумага кн.-журн.

П.л. 1,0. Гарнитура Таймс. Тираж 100 экз. Заказ №25398.

Типография ФГБОУ ВО ВГАУ 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1.