

На правах рукописи



МИХАЙЛОВ Владимир Сергеевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫСЕВА СЕМЯН ЛУКА
РЕПЧАТОГО ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ВЫСЕВАЮЩИМ АППАРАТОМ**

4.3.1. Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Мичуринск – 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: **Козлов Вячеслав Геннадиевич**,
доктор технических наук, доцент.

Официальные оппоненты: **Крючин Николай Павлович**,
доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный аграрный университет», кафедра «Механика и инженерная графика», заведующий;

Цыбулевский Валерий Викторович

кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», кафедра «Тракторы, автомобили и техническая механика», доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет»

Защита состоится 21 июня 2024 г. в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 35.2.022.02 по защите кандидатских и докторских диссертаций, созданного на базе ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ по адресу: 393760, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101, зал заседаний диссертационных советов (ауд. 1/206), тел./факс (47545) 3-88-13, доб. 382, e-mail: dissov@mgau.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ и на сайте университета: <http://www.mgau.ru/>, а также на официальном сайте ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации: <https://vak.minobrnauki.gov.ru/main>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, с указанием индекса, почтового адреса, телефона, электронной почты и сайта организации, фамилии, имени, отчества лица, подготовившего отзыв, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан «_____» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Криволапов Иван Павлович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Среди многообразия сортов и видов овощей, которые культивируются в России, на особом месте стоит лук. Помимо его ценных питательных качеств лук обладает достаточно высокими лечебными свойствами. Кроме того, в луке содержится большое количество эфирных масел и почти 30 видов минеральных веществ. В настоящее время возделывание лука-репки возможно как из семян, так и из севка. Для нечерноземной зоны и средней полосы России, а также северной части европейских стран в большей степени характерен второй способ возделывания. В среднем таким способом на указанных территориях выращивается около 80 % всего урожая лука. В то же время прослеживается устойчивая тенденция к увеличению доли лука-репки, возделываемого из семян. Одной из основных проблем, с которыми сталкиваются производители лука-репки при посеве семян, является «сложность равномерного распределения семян вдоль ряда в соответствии с агротехническими требованиями».

Выполнение настоящей диссертационной работы проходило в рамках научно-исследовательской работы «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», которая была утверждена Ученым советом ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет» (Государственная регистрация № 01.200.1-003986): а именно в части п.п. 2.1 «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации производства продукции растениеводства».

Степень разработанности темы. Исследованием вопросов равномерного распределения семян вдоль ряда в соответствии с агротехническими требованиями активно занимаются коллективы машиностроительных фирм: Sfoggia (Италия), Mashio Gaspardo (Италия), Franz Kleine (Германия), Amazone (Германия), Kuhn (Франция) и др.; Весомый вклад в разработку данного направления внесли выдающиеся российские ученые: Абезин В.Г., Аксенов А.Г., Балашов А.В., Белодедов В.А., Бузенков Г.М., Вальянов Д.Г., Валуев В.Н., Василенко В.В., Гусев В.М., Дубина К.П., Журавлев Б.И., Завражнов А.И., Загудаев С.Д., Зубрилина Е.М., Иванов В.П., Киреев И.М., Коваль З.М., Крючин Н.П., Ларюшин Н.П., Лобачевский П.Я., Несмиян А.Ю., Полторынкин С.С., Попов А.Е., Сахнов А.В., Труфляк Е.В., Хижняк В.И., Цепляев А.Н., Цыбулевский В.В., Чичкин В.П., Яшин А.В. и другие; ведущие научные коллективы ФГБОУ ВО Российской Федерации: Пензенский государственный аграрный университет, Самарский государственный аграрный университет, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Российский государственный аграрный университет имени К.А. Тимирязева (Институт механики и энергетики им. В.П. Горячкина), Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I, Донской государственный аграрный университет (Азово-Черноморский инженерный институт), Ставропольский государственный аграрный университет, Вятский государственный агротехнологический университет, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, и др.

Результаты исследования в перспективе будут способствовать дальнейшему совершенствованию и повышению точности посева посевных агрегатов путем

совершенствования конструктивно-технологической схемы работы высевающего аппарата.

Научная гипотеза. Увеличение реализации потенциала урожайности лука репчатого может быть достигнута повышением качества размещения семян в рядке пневматическим высевающим аппаратом.

Объект исследования: процесс высева семян лука репчатого пневматическим высевающим аппаратом с криволинейным участком семяпровода.

Предмет исследования: закономерности рабочего процесса пневматического высевающего аппарата с криволинейным участком семяпровода.

Цель работы: повышение качества высева семян лука репчатого путем совершенствования пневматического высевающего аппарата.

Достижение заявленной цели стало возможным благодаря выполнению следующих задач:

- определить необходимые для обоснования параметров элементов пневматического высевающего аппарата значения физико-механических свойств семян лука сорта «Боско»;

- разработать математическую модель движения частицы по криволинейной траектории семяпровода, обеспечивающую скатывание семян лука репчатого с постоянной скоростью, для криволинейного участка семяпровода высевающего аппарата;

- усовершенствовать конструкцию пневматического высевающего аппарата для повышения качества высева семян лука репчатого и обосновать параметры криволинейного участка семяпровода;

- разработать методику определения качественных показателей работы подающих устройств (семяпроводов) пневматических высевающих аппаратов сеялки точного высева для ленточного посева лука-репки;

- провести технико-экономическое обоснование целесообразности внедрения разработки в сельскохозяйственное производство.

Научная новизна. Результатами диссертационной работы, обладающими научной новизной, являются:

- значения физико-механических свойств семян лука сорта «Боско», отличающиеся возможностью использования при определении параметров элементов пневматического высевающего аппарата;

- математическая модель движения частицы по криволинейной траектории семяпровода, отличающаяся аппроксимацией численного решения квазилинейного дифференциального уравнения движения семени в направлении касательной к кривой;

- пневматический высевающий аппарат, в нижней части корпуса, которого установлен семяпровод, отличающийся тем, что криволинейный участок обеспечивает постоянную скорость скатывания семян и повышает качество высева;

- закономерности рабочего процесса усовершенствованного пневматического высевающего аппарата, отличающиеся учетом особенностей скатывания семян лука по криволинейному участку семяпровода.

Методология и методы исследования. В качестве основных методов теоретической части настоящего исследования использовались методы теоретической механики и математического моделирования. Некоторые

теоретические расчеты, а также первичную и вторичную обработку результатов экспериментальных исследований проводили с использованием прикладных программных продуктов. Эмпирическая часть исследования сопровождалась видеосъемкой, использованием методов электронной системы контроля функционирования высевальных аппаратов. Оригинальные исследования на этапе эксперимента осуществлялись согласно методикам его планирования, а также на основе стандартных и типовых методик.

Теоретическая значимость работы заключается в получении аналитической зависимости, описывающей траекторию скатывания семян лука репчатого с постоянной скоростью, позволяющей производить расчеты параметров криволинейного участка семяпровода высевального аппарата.

Практическая значимость может быть сформулирована следующим образом: усовершенствованный пневматический высевальный аппарат повышает качество высева семян лука репчатого; экспериментально установленные закономерности рабочего процесса усовершенствованного пневматического высевального аппарата позволяют обосновать режимы работы посевного агрегата при высеве семян лука репчатого; испытательный стенд для исследования пневматических высевальных аппаратов семян овощных культур позволяет производить регулировки указанных аппаратов.

Положения, выносимые на защиту:

- значения физико-механических свойств семян лука сорта «Боско», необходимые для определения параметров высевальных устройств семян лука;
- аналитическая зависимость, описывающая траекторию скатывания семян лука репчатого с постоянной скоростью, позволяющая обосновать параметры криволинейного участка семяпровода;
- пневматический высевальный аппарат, в нижней части корпуса которого установлен семяпровод, обеспечивающий постоянную скорость скатывания семян и повышающий качество высева;
- закономерности рабочего процесса усовершенствованного пневматического высевального аппарата, позволяющие обосновать режимы работы посевного агрегата при высеве семян лука репчатого.

Апробация и степень достоверности результатов исследования.

Результаты работы были представлены и обсуждены в рамках международных и национальных научно-практических конференций: «Проблемы и перспективы сельскохозяйственной отрасли в Приднестровье» (Тирасполь, 2014); «Аграрная наука и образование – основа успешного развития АПК Приднестровья» (Тирасполь, 2017); «Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения» (Белгород, 2018); «Тенденции развития технических средств и технологий в АПК» (Воронеж, 2021); «Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения» (Воронеж, 2021); «Проблемы ресурсообеспеченности и перспективы развития агропромышленного комплекса» (Воронеж, 2021; 2023) и др.

Результаты работы используются в ООО «Агропарк» (Приднестровская Молдавская Республика, 2023 г.). Опытно-производственная проверка модернизированного пневматического высевального аппарата для сеялки точного высева марки Sfoggia Calibra (при посеве лука сорта «Боско») подтвердила, что внедрение новой конструкции пневматического высевального аппарата сеялки

Sfoggia повышает качество заделки семян в борозду, тем самым увеличивая урожайность.

Также достоверность результатов исследования была обеспечена использованием методов математической статистики на этапах планирования эксперимента и обработки результатов. Кроме того, достоверность научных положений диссертационного исследования проверялась в ходе сравнения результатов моделирования и экспериментальных исследований. Разработанные математические модели и прикладные программы, описывающие эти модели, используются в учебном процессе Приднестровского государственного университета, а также Воронежского государственного аграрного университета. Реальные эксплуатационные условия для проведения исследования были созданы на сельскохозяйственном предприятии ООО «Агропарк» с. Парканы Слободзейского района (Приднестровье).

Имеются рекомендации для агропредприятий Приднестровья по внедрению овощных сеялок с усовершенствованным пневматическим высевальным аппаратом, модернизированным на основе результатов диссертационной работы Михайлова Владимира Сергеевича, которые утверждены Министром сельского хозяйства и природных ресурсов Приднестровской Молдавской Республики.

К личному вкладу соискателя могут быть отнесены:

- постановка цели и задач; определение методологической основы исследования;
- разработка программы и методики экспериментальных исследований;
- разработка установки и методики испытаний высевального аппарата овощной сеялки точного посева марки Sfoggia Calibra;
- непосредственное проведение автором эксперимента и его обработка;
- получение аналитических зависимостей;
- создание программного комплекса для исследования работы пневматического высевального аппарата сеялки точного посева;
- совершенствование устройства семяпровода с криволинейным участком, обеспечивающим постоянную скорость скатывания семян и повышающим качество посева;
- подготовка научных публикаций по результатам выполненных работ.

Публикации. Результаты исследований отражены в 23 научных работах общим объемом 5,75 п.л. (авторский вклад – 2,27 п.л.), из них 4 статьи – в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертационных исследований (авторский вклад – 1,12 п.л.), одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, одна монография, пять патентов, из них два патента РФ и три патента Приднестровской Молдавской Республики.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, включающих 59 рисунков и 13 таблиц, заключения, списка литературы из 166 наименований, 6 приложений. Объем диссертации – 172 страницы.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 4.3.1. – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки), пункты 4 и 15.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** раскрывается актуальность темы диссертационной работы, приводятся цель исследования, положения, выносимые на защиту, научная новизна, практическая ценность и реализация результатов.

В **первом разделе «Современный уровень и перспективы развития посева семян лука репчатого»** рассмотрено современное состояние средств механизации для посева овощных культур, приведена классификация вакуумных высевальных аппаратов сеялок, изучена возможность совершенствования процесса посева семян лука репчатого пневматическим высевальным аппаратом, в нижней части которого установлен семяпровод, обеспечивающий постоянную скорость скатывания семян, равную скорости движения посевного агрегата.

Выполненный обзор позволил оценить степень разработанности темы и сформулировать цель и задачи исследования.

Во **втором разделе «Аналитическое обоснование направлений совершенствования конструкции высевального аппарата»** доказана рациональность применения в конструкции направляющих элементов высевальных аппаратов с рассчитанной геометрической формой. Благодаря этому скорость движения частицы от высевального диска до основания ряда остается практически неизменной, что позволяет увеличить точность укладки семян в борозду, тем самым равномерность распределения.

Моделирование движения частицы по криволинейной траектории семяпровода

Пусть частица массой m , кг движется по кривой: $y = f(x)$. На нее при движении действуют три активные силы (рис. 1): сила тяжести mg , нормальная реакция \bar{N} , N и сила трения $\bar{F}_{\text{тр}} = k\bar{N} + kF_{\text{в}}$, где k – коэффициент трения, g – ускорение силы тяжести, м/с^2 .

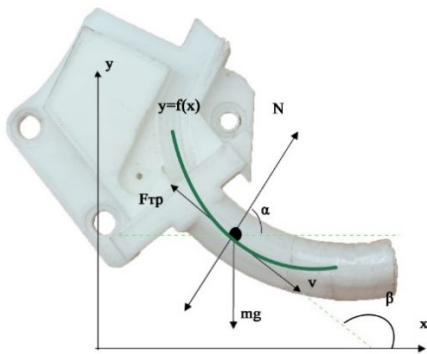


Рисунок 1 – Схема сил, действующих на частицу в семяпроводе

$$F_{\text{в}} = m \cdot v_{\text{в}}^2.$$

где $v_{\text{в}}$ – скорость воздушного потока, м/с .

Тогда уравнение движения частицы в проекции на ось x имеет вид:

$$m\ddot{x} = N \cos \alpha - F_{\text{тр}} \sin \alpha, \quad (1)$$

или

$$m\ddot{x} = N(\cos \alpha - k \sin \alpha). \quad (2)$$

Здесь и далее точки вверху обозначают производные соответствующего порядка функции x по времени.

Нормальная реакция N определяется условием равновесия сил вдоль оси, направленной по нормали к кривой: $N = mg \sin \alpha + \frac{mv^2}{\rho}$, где ρ – радиус кривизны в данной точке, м ;

$\frac{mv^2}{\rho}$ – центробежная сила инерции; v – скорость частицы, м/с .

Радиус кривизны траектории может быть определен по формуле:

$$\rho = \frac{[1+(y'_x)^2]^{\frac{3}{2}}}{y''_x}. \quad (3)$$

Здесь y'_x и y''_x – соответственно первая и вторая производные по x уравнения траектории $y=f(x)$.

Так как $\cos \alpha = \frac{ctg \alpha}{\sqrt{1+ctg^2 \alpha}}$, $\sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{1+ctg^2 \alpha}}$ и учитывая, что $tg \beta = y'_x = -tg(\frac{\pi}{2} - \alpha) = -ctg \alpha$, откуда $ctg \alpha = -y'_x$, получаем:

$$\cos \alpha = \frac{-y'_x}{\sqrt{1+(y'_x)^2}}, \sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{1+(y'_x)^2}}. \quad (4)$$

Отметим также, что

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 = \dot{x}^2 + \dot{y}^2 = \dot{x}^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 = \dot{x}^2 + \left(\frac{dy}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}\right)^2 = \dot{x}^2 + (y'_x \cdot \dot{x})^2$$

и, окончательно, $v^2 = \dot{x}^2 [1 + (y'_x)^2]$.

Тогда уравнение (2) принимает вид:

$$\ddot{x} = \left(g \sin \alpha + \frac{v^2}{\rho}\right) (\cos \alpha - k \sin \alpha),$$

или

$$\ddot{x} = \left(g \frac{1}{\sqrt{1+(y'_x)^2}} + \frac{\dot{x}^2 y''_x}{\sqrt{1+(y'_x)^2}}\right) \left(\frac{-y'_x}{\sqrt{1+(y'_x)^2}} - k \frac{1}{\sqrt{1+(y'_x)^2}}\right).$$

Проведя соответствующие упрощения, получаем:

$$\ddot{x} = -\frac{(g + \dot{x}^2 y''_x)(k + y'_x)}{1 + (y'_x)^2}. \quad (5)$$

Вместе с начальными условиями:

$$x|_{t=0} = x_0, \dot{x}|_{t=0} = v_{x0}, \quad (6)$$

получаем задачу Коши для квазилинейного дифференциального уравнения (4) относительно функции $x(t)$.

Отметим, что в случае движения частицы по прямолинейной наклонной плоскости $y = ax + b$, $y'_x = a = tg \beta$, а $y''_x = 0$. Тогда уравнение (4) принимает вид:

$$\ddot{x} = -\frac{g(k + tg \beta)}{1 + (tg \beta)^2} = -g(k \cos \beta + \sin \beta) \cos \beta. \quad (7)$$

Если через γ обозначить острый угол наклона плоскости к оси x , то $\beta = \pi - \gamma$. Тогда $\sin \beta = \sin \gamma$, $\cos \beta = -\cos \gamma$, и уравнение (7) примет вид:

$$\ddot{x} = g(\sin \gamma - k \cos \gamma) \cos \gamma,$$

что соответствует уравнению движения по наклонной плоскости в проекции на ось x .

Выбор кривой, по которой движение происходит с постоянной скоростью

Для выбора кривой, по которой движение будет происходить с постоянной скоростью нам необходимо задаться начальными $(x_0; y_0)$ и конечными $(x_k; y_k)$ координатами, при которых некоторая частица, двигаясь от начальной к конечной точки по криволинейной траектории должна поддерживать постоянную скорость v , равную начальной скорости попадания на кривую.

Тогда уравнение движения частицы в направлении касательной к кривой примет вид:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \sin \alpha - F_{тр}. \quad (8)$$

Сила трения равняется $F_{тр} = kN$, где k – коэффициент трения; N – нормальная реакция:

$$N = \frac{mv^2}{\rho} + mg \cdot \cos \alpha.$$

Уравнение (8) принимает вид:

$$\frac{dv}{dt} = g \sin \alpha - \frac{kv^2}{\rho} - k \cdot g \cos \alpha, \quad (9)$$

где $v = \left(\frac{dx}{dt}\right) \cdot \sqrt{1 + y_x'^2}$.

Так как скорость на всем участке движения должна быть постоянной должно выполняться равенство: $\frac{dv}{dt} = 0$, что приводит уравнение (9) к виду:

$$g \sin \alpha - \frac{kv^2}{\rho} - k \cdot g \cos \alpha = 0. \quad (10)$$

Используя указанные ранее представления $\sin \alpha$, $\cos \alpha$ и ρ через производные искомой функции, получаем:

$$y'' = -\frac{g}{v^2} \left(1 + \frac{y'}{k}\right) (1 + y'^2). \quad (11)$$

Граничные условия:

$$y(x_0) = y_0, y(x_k) = y_k, \quad (12)$$

замыкают полученную задачу.

В силу квазилинейности уравнения (11), полученную граничную задачу мы численно решили достаточно известным методом, суть которого заключается в задании производной в начальной точке траектории $y'(x_0) = a$, где $a < 0$, так как функция $y(x)$ очевидно убывающая. Полученная задача Коши решается численным методом, после чего вычисляется значение $y(x_k)$. Эта величина сравнивается с заданным значением y_k и корректируется производная в начальной точке траектории. Данный алгоритм носит название «метод пристрелки». Этот итерационный процесс продолжается до тех пор, пока полученное значение $y(x_k)$ не приблизится к значению y_k на заданную величину.

Следует отметить, что искомая функция далеко не всегда существует. Это зависит как от положения начальной и конечной точек траектории, так и начальной скорости движения частицы. На рисунках 2 и 3 представлены траектории кривых, определенных по формуле (11) при различных значениях a и двух значениях скоростей. Как видно из этих графиков, при уменьшении начальной скорости движения частицы, возможность варьирования конечных координат $(x_k; y_k)$ значительно сужается.

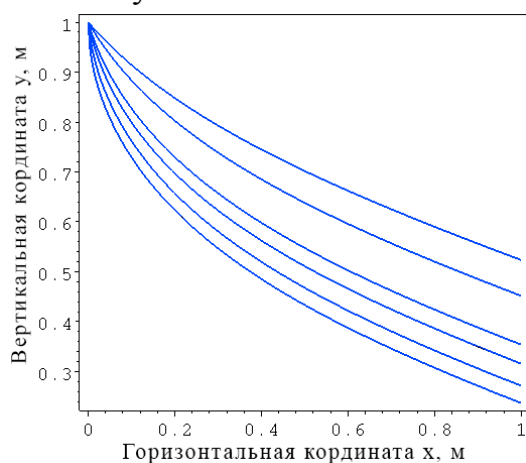


Рисунок 2 – Возможные траектории движения при $v = 3,5$ м/с при различных a

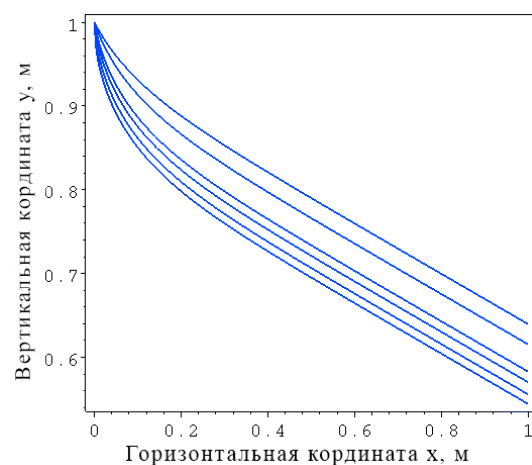


Рисунок 3 - Возможные траектории движения при $v = 2$ м/с при различных a

Рассмотрим следующий пример. Пусть $x_0 = 0$, $y_0 = 0,107$ м, $x_k = 0,0748$ м, $y_k = 0$, $v = 1,7$ м/с. Решение задачи (11), (12) с помощью указанного выше алгоритма дает численную функцию, аналитическая аппроксимация которой имеет вид:

$$y(x) = \frac{0,00081}{x+0,0125} - 0,643x + 0,0379. \quad (13)$$

Выбор аппроксимирующей функции обусловлен сложностью вида численного решения и позволяет получить достаточную точность приближения, относительная погрешности которого не превышает 2%. На рисунке 4 представлено наложение графиков численно полученной функции траектории движения и ее аналитической аппроксимации. Как видно из этого рисунка эти кривые практически совпадают. Необходимость получения аппроксимирующей функции вызвано тем, что для анализа адекватности полученной траектории в уравнении (2.12 диссертационной работы) должен быть использован аналитический вид функции $y(x)$.

С целью проверки эффективности выбранной траектории движения, подставим функцию (13) в уравнение (2.12 диссертационной работы) с соответствующими начальными условиями. Получаем уравнение:

$$\ddot{x} = \frac{\left(g + \frac{0,00162\dot{x}^2}{(0,0125+x)^3}\right)\left(0,343 + \frac{0,000812}{(0,0125+x)^2}\right)}{1 + \left(\frac{0,000812}{(0,0125+x)^2} + 0,643\right)^2}. \quad (14)$$

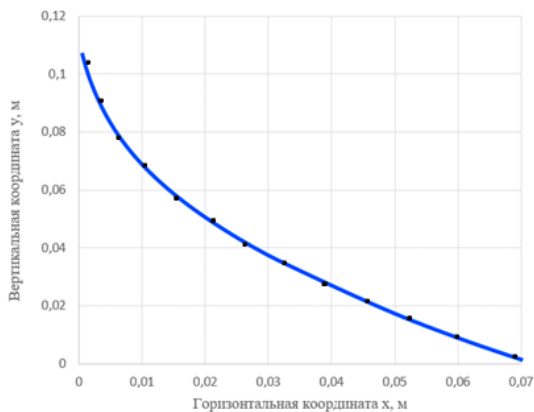


Рисунок 4 – Траектория движения (численная и аппроксимированная)

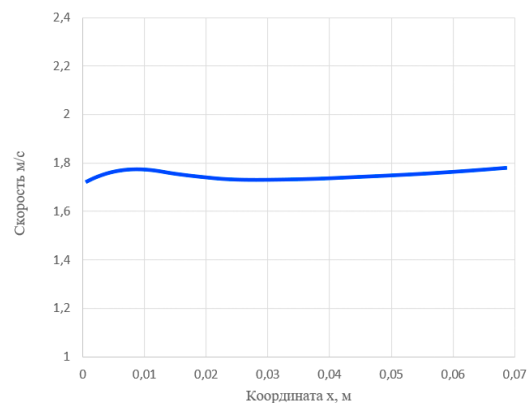


Рисунок 5 – Скорость частицы при движении по кривой

Анализ рисунка 5 позволяет представить закон изменения скорости движения частицы по этой траектории в зависимости от времени движения до достижения конечной точки поверхности. Как видно, скорость движения частицы остается практически неизменной, что и доказывает верность полученной траектории движения. Некоторые незначительные колебания скорости вызваны аппроксимирующим приближением численно полученной реальной траектории.

В результате была доказана рациональность применения в конструкции направляющих элементов высевающих аппаратов с рассчитанной геометрической формой имеющей форму клотоиды. Благодаря этому скорость движения частицы от высевающего диска до основания рядка остается практически неизменной, что позволяет увеличить точность укладки семян в борозду.

В третьем разделе «Программа и методика экспериментального обоснования рациональных параметров пневмовакuumного аппарата точного высева» описаны экспериментальная установка, общая и частные методики исследований.

Было выделено семь основных направлений: проведение поисковых опытов; исследование технологических свойств используемого посевного материала; обоснование рациональных параметров криволинейных направителей семян высевачего аппарата; оценка влияния криволинейных направителей семян высевачего аппарата на показатели качества работы секции сеялки; сравнительная оценка показателей работы предложенного криволинейного направителя семян с показателями работы серийного направителя семян высевачего аппарата секции сеялки; сравнение результатов теоретической и экспериментальной частей исследования; проверка эффективности предложенного конструктивного решения в производственных условиях.

Сравнительные исследования проводились на испытательном стенде с применением высевачего аппарата (рис. 6).

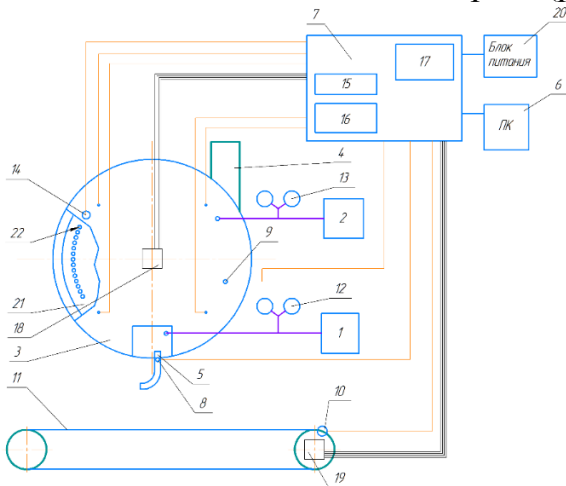


Рисунок 6 – Принципиальная схема пневматического высевачего аппарата со сменными семяпроводами: 1 – компрессор; 2 – вакуумный насос; 3 – высевачий аппарат; 4 – семенной бак; 5 – сменный семяпровод; 6 – компьютер; 7 – блок управления; 8 – датчик высева семян; 9 – датчик оборотов высевачего диска; 10 – датчик скорости посевного агрегата; 11 – ленточный транспортер; 12 – манометр давления; 13 – манометр вакуума; 14 – датчик пропуска семян; 15 – драйвер шагового двигателя; 16 – программируемая плата «Arduino UNO»; 17 – LCD-дисплей; 18, 19 – шаговые двигатели; 20 – блок питания; 21 – высевачий диск; 22 – отверстие высевачего диска

Принцип работы установки для испытания высевачего аппарата со сменными семяпроводами, основан на свойствах работы пневматических высевачих аппаратах сеялок точного высева.

Программное обеспечение установки для испытания высевачего аппарата со сменными семяпроводами написано на языке «С++» с использованием среды разработки «Arduino UNO». Она позволяет производить программирование и отладку программы через USB порт ПК, что ускоряет процесс отладки программы.

Лабораторные исследования проводились в соответствии с ГОСТ «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные и посадочные. Показатели назначения и надежности. Общие требования», а также разработанной методикой проведения сравнительных исследований.

Исследования проводились на разработанной экспериментальной установке (рис. 7).

Пневматический высевачий аппарат 3 для ленточного посева семян лука устанавливается таким образом, чтобы его нижняя кромка семяпровода находилась в 1-2 см над уровнем ленточного транспортера 11, на котором уложена липкая поверхность в виде ленты с учетными квадратными ячейками размером 2 на 2 см. Ленточный транспортер 11 приводится в движение электроприводом 19. Для вращения высевачего диска 1 используется пошаговый двигатель 18 с подобранным числом оборотов, соответствующим скорости движения сеялки в пределах 3–10 км/ч, что соответствует норме высева 0,8-1,0 млн. шт. на 1 га. Для создания разрежения и избыточного давления использовались компрессор 1 и

вакуумный насос 2 соответственно. Общее управление установкой осуществляется с центрального пульта 7.

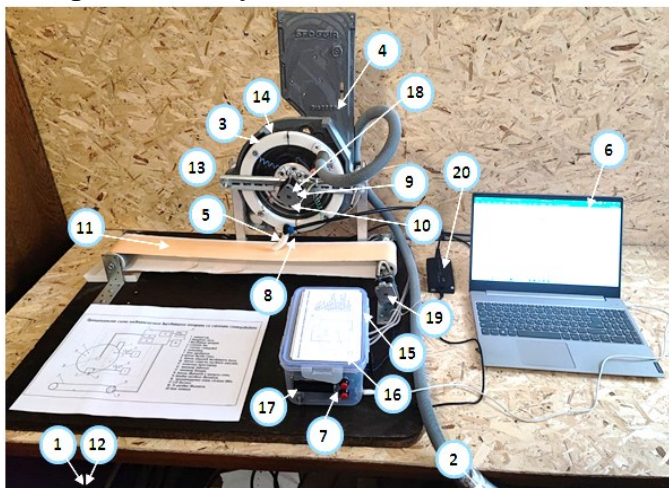


Рисунок 7 – Испытательный стенд для проведения исследований пневматического высевающего аппарата: 1 – компрессор; 2 – вакуумный насос; 3 – высегающий аппарат; 4 – семенной бак; 5 – сменный семяпровод; 6 – компьютер; 7 – блок управления; 8 – датчик высева семян (хронограф); 9 – датчик оборотов высегающего диска; 10 – датчик скорости посевного агрегата; 11 – ленточный транспортер; 12 – манометр давления; 13 – манометр вакуума; 14 – датчик пропуска семян; 15 – драйвер шагового двигателя; 16 – программируемая плата «Arduino UNO»; 17 – LCD-дисплей; 18, 19 – шаговые двигатели; 20 – блок питания

Для определения скорости перемещения семени по семяпроводу использовался хронограф (рис. 8). Он предназначен для измерения скорости пули (снаряда, частицы), в метрах в секунду. Помимо этого, прибор отображает энергию в джоулях (при правильно заданной массе частицы) и прочую статистическую информацию. Есть возможность измерять очереди, в том числе определять скорострельность.

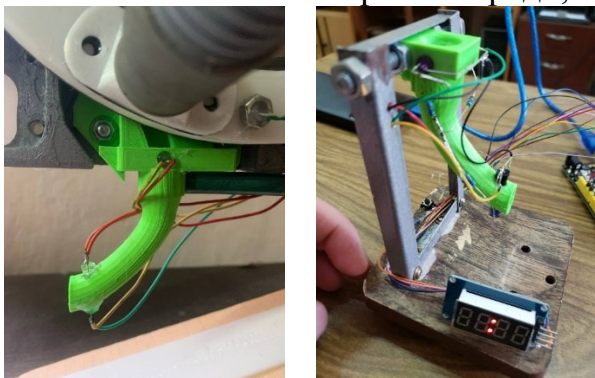


Рисунок 8 - Датчик высева семян (хронограф)

Опыт проводился в следующей последовательности: на высегающем аппарате устанавливался один из исследуемых семяпроводов (рис. 9), затем семена засыпают в семенной бункер 4 и приводят в движение высегающий диск. Семена из семенной камеры присасываются к диску и перемещаются в зону сброса (атмосферного, избыточного давления), откуда подаются в семяпровод, и далее контрольную поверхность с нанесенными на ней квадратными

ячейками размером 2 на 2 см.

Сравниваемые подающие устройства семян криволинейного и вертикального типа представлены на рисунке 8.

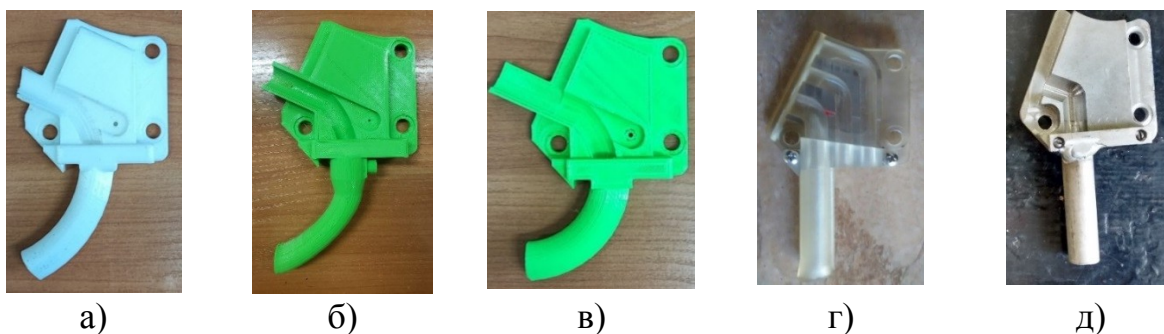


Рисунок 9 – Виды семяпроводов: а) с криволинейной направляющей в виде клоотоиды; б) с криволинейной направляющей и аэрокамерой; в) с криволинейной направляющей в виде гиперболы; г) с вертикальной направляющей из пластика; д) с вертикальной направляющей из металла

Для каждого типа распределителя опыт повторяли трижды. Число учетных квадратных ячеек в каждом повторении сто. Опыты проводились при норме высева 0,8-1,0 млн. шт./га, скорости движения сеялки в пределах 0,83 – 2,78 м/с и высоте падения семян до контрольной поверхности – 2,0 см.

В четвертом разделе «Результаты экспериментальных исследований» определены физико-механические свойства семян лука сорта «Боско» и экспериментальная оценка предложенного пневматического высевающего аппарата.

Размеры семян лука репчатого сорта «Боско» находятся в пределах: длина 2,98...3,06 мм, ширина 2,20...2,31 мм; толщина 1,98... 2,08 мм. В некоторых случаях значения достигали максимума: длина – 3,31 мм; ширина – 2,56 мм; толщина – 2,29 мм, что позволяет их отнести по классификации профессора В.П. Чичкина к средней группе крупности, при их среднем эквивалентном размере равным 2,41 мм. Абсолютная масса семян лука данного сорта составляет 3,883 г при коэффициенте вариации $v=5,4\%$, а объемная масса семян равна 514,7 г/л. Данные семена относятся к виду сыпучих.

Установлено, что статический коэффициент трения семян лука репчатого сорта «Боско» на фрикционных поверхностях показал: сталь окрашенная 0,45...0,49; сталь не окрашенная 0,54...0,56; резина 0,61...0,63; полимер 0,35...0,38. Таким образом, для криволинейных направляющих подающих устройств целесообразно использовать полимерные поверхности.

После обработки результатов сравнительных исследований подающих устройств семян с криволинейными направляющими для ленточного посева известными методами статистической обработки полученные данные представили в виде диаграммы распределения семян по площади посева для обоих типов подающих устройств семян лука (рис. 10), которые показывают зависимость частоты появления квадратной ячейки от количества в ней семян.

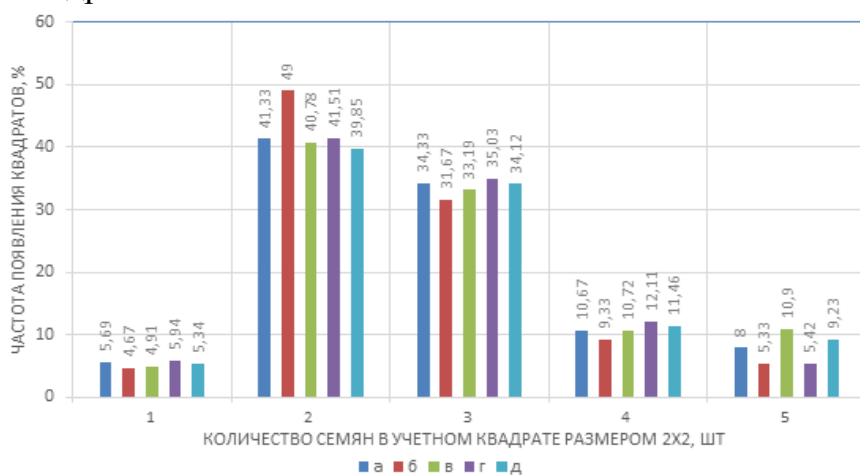


Рисунок 10 – Диаграмма распределения семян в зависимости от типа семяпровода: а - с вертикальной направляющей из пластика; б - с криволинейной направляющей в виде клотоиды; в - с криволинейной направляющей; г - с криволинейной направляющей в виде гиперболы; д - с вертикальной направляющей из металла

Анализируя диаграмму распределения семян в зависимости от типа семяпровода, можно сделать вывод, что наилучшие качественные показатели достигаются при количестве семян в учетных квадратных ячейках 2, поэтому сравнение качества работы семяпроводов целесообразно проводить по частоте появления таких квадратов.

Для проведения лабораторно-полевых исследований был обозначен наиболее ровный однородный участок почвы, на котором в 3-х местах во время исследований

на глубине 0-5, 5-10 и 10-15 см замерялась твердость почвы и влажность известными методами по ГОСТ 28268-89 в Приднестровье в 2019–2023 гг. на сорте «Боско» с нормой высева 0,8-1,0 млн. шт./га. Почва была подготовлена под посев. По хорошо изученной в хозяйстве технологии в подготовленную почву, после шлейфования и боронования, были непосредственно внесены подпочвенные гербициды, а также проведена предпосевная обработка культиватором. Величину глубины для обработки почвы взяли одинаковой с глубиной заделки семян. Участок почвы в месте проведения опытов представляет собой среднесуглинистый чернозем.

Посев проводился экспериментальным образцом посевной машины, оснащенной пневматическим высевающим аппаратом для строчного посева агрегатированной с трактором МТЗ – 82.1 (рис. 11).



Рисунок 11 - Общий вид посевного агрегата МТЗ-82.1+посевная машина, оснащенная модернизированным пневматическим высевающим аппаратом с подающим устройством криволинейного типа: а) общий вид; б) сошник с криволинейным семенопроводом; 1 – рама; 2 – бункер; 3 - высевающий аппарат пневматического типа; 4 – семенопровод; 5 – сошник; 6 – опорно-приводное колесо; 7 - уплотняющий каток; 8 – загортачи

Результаты обработки опытных данных проведения лабораторнополевых исследований машины для посева семян лука, оснащенной модернизированным высевающим аппаратом для строчного посева представлены на рисунках 12, 13.



Рисунок 12 – Зависимость равномерности распределения семян от скорости движения посевного агрегата

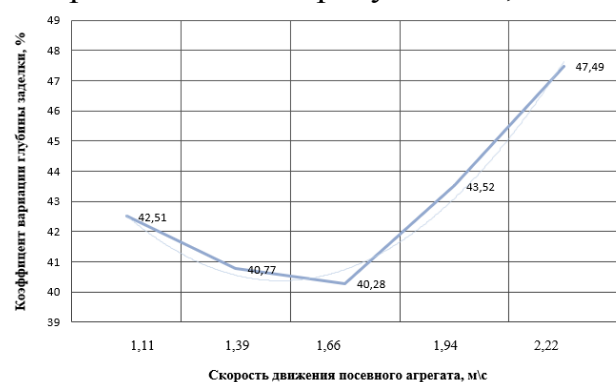


Рисунок 13 – Зависимость глубины заделки семян от скорости движения посевного агрегата

В результате анализа зависимости равномерности распределения семян от скорости движения посевного агрегата (рис. 12) можно сделать следующие выводы:

- оптимальная равномерность посева соответствует рабочей скорости

1,5–1,7 м/с, что соответствует значению коэффициента вариации 0,49;

– динамика коэффициента вариации, следующая: при значении менее 1,5 м/с наблюдается увеличение, а при значениях более 1,7 м/с не имеет устойчивой тенденции.

При значениях скорости менее 1,5 м/с отмечается заужение периферии ленты как результат малого значения подачи семян высевальным аппаратом в секунду.

При скорости выше 1,7 м/с вследствие слишком активного движения почвенных частиц за сошником уменьшается ширина ленты из-за смещения семян к центру ленты (строчки).

Также необходимо отметить, что при еще большем увеличении скорости (свыше 2,2 м/с) вследствие возникновения вертикальных вибраций посевной машины в значительной степени увеличивается разброс глубины заделки семян (рис. 13).

На основании проведенного корреляционного анализа в модель описывающую зависимость качества посева семян лука были включены следующие факторы: высота падения семян X_1 и скорость движения высевального органа X_2 . Для оценки равномерности посева используем относительную шкалу, где максимальная равномерность посева, соответствующая 48,7 мм, будет равна 1. Отклонения от данного параметра будем фиксировать с шагом 5%.

Планирование эксперимента проводилось по стандартному плану.

На рисунке 14 представлена статистическая обработка данных.

Эффект	Оценки параметров (Таблица данных) Сигма-ограниченная параметризация									
	С Парам.	С Ст.Ош.	С t	С p	-95,00% Дов.Пр.	+95,00% Дов.Пр.	С Beta (B)	С Ст.Ош.В	-95,00% Дов.Пр.	+95,00% Дов.Пр.
Св. член	0,54979	0,11600	4,7393	0,00904	0,22770	0,87187				
"X1"	0,09193	0,03050	3,0137	0,03940	0,00723	0,17663	5,1547	1,71043	0,4058	9,9036
"X1"^2	-0,00766	0,00237	-3,2203	0,03227	-0,01426	-0,00105	-5,2042	1,61606	-9,6911	-0,7173
"X2"	0,03305	0,00984	3,3565	0,02839	0,00571	0,06040	4,6336	1,38048	0,8007	8,4664
"X2"^2	-0,00161	0,00038	-4,2298	0,01337	-0,00266	-0,00055	-4,6107	1,09005	-7,6372	-1,5842
"X1"*"X2"	0,00100	0,00101	-0,0000	1,00000	-0,00281	0,00281	-0,0000	1,04396	-2,8985	2,8985

Рисунок 14 – Результаты статистической обработки данных эксперимента

В результате расчета с применением пакета научных подпрограмм «Statistika» получено уравнение, описывающее зависимость равномерности посева семян от исследуемых факторов

$$c = 0,549 + 0,092x_1 + 0,033x_2 - 0,008x_1^2 - 0,002x_2^2 - 0,001x_1x_2 \quad (15)$$

Анализ позволил выявить, что связь между равномерностью посева семян и исследуемыми факторами сильная - множественный коэффициент корреляции достигает значения 0,915.

После проверки значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента, выяснилось, что все коэффициенты регрессии, кроме эффектов взаимодействия, оказались значимыми, т.к. вычисленные значения критерия Стьюдента оказались больше критического. Следовательно, регрессионное уравнение окончательно примет следующий вид:

$$c = 0,549 + 0,092x_1 + 0,033x_2 - 0,008x_1^2 - 0,002x_2^2 \quad (16)$$

Определим центр оптимума полученной функции. Для этого решим систему уравнений

$$\frac{d}{dx_1} f(x_1, x_2) = -0.016 * x_1 + 0.092$$

$$\frac{d}{dx_2} f(x_1, x_2) = -0.004 * x_2 + 0.033$$

Запишем полученные выражения в матричной форме

$$M = \begin{pmatrix} 0,016 & 0 \\ 0 & 0,004 \end{pmatrix}$$

$$v = \begin{pmatrix} 0,092 \\ 0,033 \end{pmatrix}$$

Решая, получим

$$z = \text{isolve}(M,v), \quad z = \begin{pmatrix} 6 \\ 10,266 \end{pmatrix}$$

Таким образом, найдены координаты оптимума:

$$X1 = 6 \text{ км/ч (1,666 м/с); } X2 = 10 \text{ см (100 мм).}$$

Значение функции отклика в центре оптимума составляет 0,995 относительной равномерности высева, что соответствует расстоянию между семенами от 4,85 до 4,89 см (48,5 до 48,9 мм).

На рисунке 15 показано двумерное сечение поверхности отклика.

Изображение поверхности отклика регрессионного уравнения представлено на рисунке 16.



Рисунок 15 - Двумерное сечение поверхности отклика

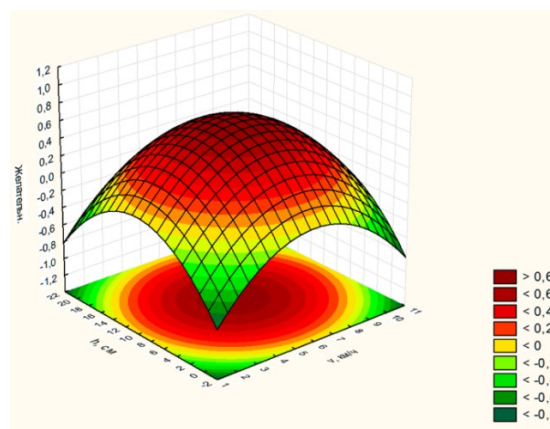


Рисунок 16 - Поверхности отклика регрессионного уравнения

На основе анализа двумерного сечения определена область оптимума критерия по равномерности высева семян и выбраны рациональные технологический параметры высевающего агрегата: скорость перемещения $6 \pm 5\%$ км/ч ($1,666 \pm 5\%$ м/с); высоту расположения высевающего аппарата над семенным ложе $10 \pm 5\%$ см ($100 \pm 5\%$ мм) для качественного дискретного распределения семян в борозде, при этом равномерность распределения семян лука в рядке составит 92 %.

В пятом разделе выполнено экономическое обоснование целесообразности внедрения разработки в сельскохозяйственное производство.

Представленный в настоящем исследовании проект экономически целесообразен, поскольку расчеты экономической эффективности проекта подтверждают годовой экономический эффект в размере 277427,2 рублей, а срок окупаемости всего 0,041 года.

В заключении дается анализ выполненной диссертационной работы и формулируются основные выводы и рекомендации.

В приложении приводятся расчеты, выполненные при проведении теоретического и практического исследования; акты использования результатов диссертационной работы; авторские свидетельства на изобретение и полезные модели, программы ЭВМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Размеры семян лука репчатого сорта «Боско» находятся в пределах: длина 2,98...3,06 мм, ширина 2,20...2,31 мм; толщина 1,98... 2,08 мм. В отдельных случаях были получены максимальные значения: длина – 3,31 мм; ширина – 2,56 мм; толщина – 2,29 мм, что позволило их отнести к средней группе крупности, при их среднем эквивалентном размере в 2,41 мм. Абсолютная масса семян лука сорта «Боско» равна 3,883 г при коэффициенте вариации $v = 5,4 \%$, а объемная масса семян – 514,7 г/л. Данные семена относятся к виду сыпучих.

Отмечено, что найденный статический коэффициент трения семян лука репчатого сорта «Боско» на фрикционных поверхностях показал: сталь окрашенная 0,45...0,49; сталь не окрашенная 0,54...0,56; резина 0,61...0,63; полимер 0,35...0,38.

Обработка вариационных рядов по скорости витания протравленных семян лука сорта «Боско» показала, что полученное из наблюдений эмпирическое распределение скорости витания подчиняется закону нормального распределения. Среднее значение скорости, среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации составили соответственно: 4,5 м/с, 0,45 м/с и 10,0 %.

2. Анализируя силы, действующие на семена лука при прохождении рабочей поверхности криволинейных направляющих подающих устройств в сошниковую зону сеялки, показал, что при высеве семян лука предпочтительными являются кривые, по которым семена движутся с постоянной скоростью, что исключает завалы и способствует более рациональным режимам работы высевальных аппаратов. Выполненные теоретические исследования скатывания семян лука по криволинейным поверхностям показали, что постоянную скорость скатывания семян обеспечивает функция, выражаемая формулой (2.20).

3. Предложен пневматический высевальный аппарат (патент №548), состоящий из корпуса с двумя камерами на горизонтальном валу (семенная и разрежения), которые разделены вертикальным высевальным диском с присасывающими отверстиями, а также семяпровод в виде трубки круглого сечения обеспечивает постоянную скорость скатывания семян.

4. Анализ рабочего процесса пневматического высевального аппарата показал, что качество единичной подачи семян составила 94,0...95,5%. Рабочая скорость была обеспечена в пределах 1,5...1,7 м/с, согласно требованиям технологической операции и соответствует параметрам коэффициента вариации 0,49...0,51, при этом равномерность распределения семян лука в рядке составит 92 %. При значениях скорости менее 1,5 м/с отмечается загущение периферии ленты как результат малого значения подачи семян высевальным аппаратом в секунду. При скорости выше 1,7 м/с слишком активное движение почвенных частиц за сошником приводит смещению семян к центру ленты (строчки) и соответственно уменьшению ширины ленты. Также необходимо отметить, что при еще большем увеличении скорости (свыше 2,2 м/с) вследствие возникновения вертикальных вибраций посевной машины в значительной степени увеличивается разброс глубины заделки семян.

5. Экономическая эффективность применения усовершенствованного высевального аппарата с криволинейными направляющими в сошниковую зону составит 277427,2 руб., срок окупаемости – 0,041 года.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Моделирование движения семян по криволинейной траектории с постоянной скоростью в высевальном аппарате / **В. С. Михайлов**, В. Г. Козлов, Н. М. Дерканосова [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 16, № 2(77). – С. 106-115. – DOI 10.53914/issn2071-2243_2023_2_106.

2. **Михайлов, В. С.** О движении частиц по криволинейным поверхностям / **В. С. Михайлов**, В. П. Шацкий, В. Г. Козлов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 181. – С. 105-115. – DOI 10.21515/1990-4665-181-011.

3. Математическое обоснование движения семенного слоя внутри цилиндрической поверхности / Е. В. Козлова, В. Г. Козлов, В. А. Гулевский, **В. С. Михайлов** // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 173. – С. 228-248. – DOI 10.21515/1990-4665-173-017.

4. **Михайлов, В. С.** Пути совершенствования посева овощных культур / **В. С. Михайлов**, В. Г. Козлов, Е. В. Козлова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 174. – С. 172-180. – DOI 10.21515/1990-4665-174-017.

Патенты на изобретение и полезные модели РФ

5. Патент на полезную модель № 216090 U1 Российская Федерация, МПК А01С 7/00. Стенд для испытания сеялок точного высева: № 2022123558: заявл. 02.09.2022 : опубл. 16.01.2023 / **В. С. Михайлов**, В. Г. Козлов, А. В. Лощенко; заявитель ФГБОУ ВО "Воронежский ГАУ".

6. Патент на полезную модель № 212333 U1 Российская Федерация, МПК А01С 7/04. Высевающий аппарат для семян овощных культур и ориентированного внесения гранулированного удобрения : № 2021117661 : заявл. 16.06.2021: опубл. 18.07.2022 / А. М. Гиевский, **В. С. Михайлов**, В. Г. Козлов, В. А. Гулевский ; заявитель ФГБОУ ВО "Воронежский ГАУ".

Монографии

7. Совершенствование посевной секции сеялки с дисковыми сошниками / В. Г. Козлов, А. Л. Жилияков, **В. С. Михайлов** [и др.]. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2023. – 115 с. – ISBN 978-5-7267-1309-0.

Статьи в материалах конференций, сборниках научных статей и научных журналах

8. **Михайлов, В. С.** Исследование физико-механических свойств семян лука сорта «Боско» / **В. С. Михайлов**, В. В. Власов, Д. И. Голуб // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе: Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 23 мая 2023 года. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2023. – С. 160-165.

9. Высевающий аппарат для семян овощных культур и ориентированного внесения гранулированного удобрения / **В. С. Михайлов**, В. Г. Козлов, Е. В. Козлова,

А. С. Куликов // Актуальные направления научных исследований для эффективного развития АПК: Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 17 марта 2023 года. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2023. – С. 37-46.

10. Исследование качественных показателей пневматического высевающего аппарата овощной сеялки / **В. С. Михайлов**, В. Г. Козлов, Е. В. Козлова, А. С. Куликов // Актуальные направления научных исследований для эффективного развития АПК: Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 17 марта 2023 года. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2023. – С. 46-55.

11. **Михайлов, В. С.** Процесс высева семян технических культур пневмовакuumным высевающим аппаратом / **В. С. Михайлов**, Д. В. Лозинский, В. Г. Козлов // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе: Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 23 мая 2023 года. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2023. – С. 48-54.

12. Инновационные инженерные решения в исследовании параметров высевающих аппаратов пневматических сеялок точного высева / Ф. Ю. Бурменко, В. Г. Звонкий, **В. С. Михайлов**, А. В. Димогло // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2022. – № 3(72). – С. 101-108.

13. Повышение качества посева семян лука / **В. С. Михайлов**, Е. В. Козлова, А. А. Заболотная, Е. А. Кондобарова // Проблемы ресурсобеспеченности и перспективы развития агропромышленного комплекса: Материалы национальной научно-практической конференции, Воронеж, 01 октября 2021 года. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2021. – С. 214-216.

14. Совершенствование способа возделывания овощных культур / **В. С. Михайлов**, Е. В. Козлова, А. А. Заболотная, Е. А. Кондобарова // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 25 ноября 2021 года. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2021. – С. 231-238.

15. **Михайлов, В. С.** К выбору оптимального способа и схемы посева семян лука в условиях Приднестровья / **В. С. Михайлов**, А. М. Гиевский // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 25 февраля 2021 года. Том Часть I. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2021. – С. 65-71.

16. Гиевский, А. М. Математическая модель по определению равномерности распределения семян лука в рядке / А. М. Гиевский, **В. С. Михайлов**, А. С. Ставинский // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 25 февраля 2021 года. Том Часть II. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2021. – С. 245-250.

17. Модернизация установки исследования работы высевающих аппаратов / **В. С. Михайлов**, А. В. Димогло, Ф. Ю. Бурменко [и др.] // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2021. – № 3(69). – С. 133-139.

18. Чернобрисов, С. Ф. Анализ конструкций высевающего аппарата сеялки, влияющих на качество посева семян лука / С. Ф. Чернобрисов, А. В. Димогло, **В. С. Михайлов** // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-

математические и технические науки. Экономика и управление. – 2019. – № 3(63). – С. 172-174.

19. Михайлов, В. С. Механизированные технологии производства лука репки в агрофирмах Молдавии / **В. С. Михайлов**, А. М. Гиевский // Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения, Майский, 19 ноября 2018 года. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2018. – С. 32-36.

Прочие издания

20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 362. Программный комплекс для исследования работы пневматического высевающего аппарата сеялки точного высева: № 22300394: заявл. 22.06.2023 / **В. С. Михайлов**, А. В. Димогло, В. Г. Козлов [и др.] ; заявитель ГОУ «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко», ФГБОУ ВО "Воронежский ГАУ".

21. Патент № 538. Лабораторная установка для исследования работы пневматических высевающих аппаратов: № 21100590: заявл. 26.04.2021 / Ф. Ю. Бурменко, В. Г. Звонкий, **В. С. Михайлов** [и др.]; заявитель ГОУ «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко».

22. Патент № 548. Высевающий аппарат пневматической сеялки: № 23100603: заявл. 10.04.2023 / Ф. Ю. Бурменко, А. В. Димогло, **В. С. Михайлов** [и др.]; заявитель ГОУ «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко», ФГБОУ ВО "Воронежский ГАУ".

23. Патент № 555. Стенд для исследования пневматических высевающих аппаратов сеялок точного высева: № 20100609: заявл. 15.05.2023 / Ф. Ю. Бурменко, А. В. Димогло, **В. С. Михайлов** [и др.] ; заявитель ГОУ «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко», ФГБОУ ВО "Воронежский ГАУ".

Подписано в печать 22.04.2024 г. Формат 60x84^{1/16}. Бумага кн.-журн.

П.л. 1,0. Гарнитура Таймс. Тираж 100 экз. Заказ №25723.

Типография ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1.