

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный аграрный университет  
имени императора Петра I»

*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

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, доцент  
Козлов В.Г.

Воронеж – 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....   | 4  |
| 1. СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ<br>ПОСЕВА СЕМЯН ЛУКА РЕПЧАТОГО .....  | 12 |
| 1.1. Значение культуры лука-репки и влияние качества посева на<br>урожайность.....  | 12 |
| 1.2. Средства механизации для посева овощных культур .....  | 13 |
| 1.3. Классификация вакуумных высевающих аппаратов сеялок .....  | 20 |
| 1.4. Анализ семяпроводов высевающих аппаратов<br>пневматических сеялок.....   | 24 |
| 1.5. Совершенствование процесса высева семян лука<br>репчатого пневматическим высевающим аппаратом.....                             | 31 |
| 1.6. Выводы по главе .....  | 41 |
| 2. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ<br>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ВЫСЕВАЮЩЕГО<br>АППАРАТА .....                             | 43 |
| 2.1. Теоретические предпосылки моделирования движения<br>частицы по криволинейной траектории .....                                  | 43 |
| 2.2. Моделирование движения частицы по криволинейной<br>траектории семяпровода.....   | 46 |
| 2.3. Выбор кривой, по которой движение происходит<br>с постоянной скоростью .....   | 50 |
| 2.4. Выводы по главе .....  | 54 |
| 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО<br>ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ<br>ПНЕВМОВАКУУМНОГО АППАРАТА ТОЧНОГО ВЫСЕВА ..... | 56 |
| 3.1. Обоснование рациональных параметров совершенствуемого<br>высевающего аппарата: программа проведения экспериментов .....        | 56 |
| 3.2. Проведение поисковых опытов .....  | 57 |
| 3.3. Методика и результаты исследований основных  |    |

|   |            |
|---|------------|
| физико-механических свойств семян.....  | 57         |
| 3.4. Исследования подающих устройств семян (семяпроводов)<br>сеялок точного высева.....   | 63         |
| 3.5. Оценка показателей качества выполнения технологического<br>процесса пневматических высевающих аппаратов сеялок.....  | 69         |
| 3.6. Методика планирования многофакторного эксперимента.....  | 72         |
| 3.7. Выводы по главе .....  | 80         |
| <b>4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....</b>   | <b>81</b>  |
| 4.1. Результаты исследований основных физико-механических<br>свойств семян .....  | 81         |
| 4.2. Оценка показателей качества выполнения технологического<br>процесса работы модернизированного высевающего аппарата .....                                       | 87         |
| 4.3. Полевые исследования модернизированного высевающего<br>аппарата.....   | 90         |
| 4.4. Результаты многофакторного эксперимента влияния качества<br>посева семян лука разработанного высевающего аппарата<br>пневматической сеялки точного высева..... | 94         |
| 4.5. Выводы по главе .....  | 101        |
| <b>5. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ<br/>ВНЕДРЕНИЯ РАЗРАБОТКИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ<br/>ПРОИЗВОДСТВО .....</b>   | <b>103</b> |
| Выводы по главе.....  | 108        |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>   | <b>109</b> |
| <b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>   | <b>111</b> |
| Приложение А .....  | 133        |
| Приложение Б.....   | 151        |
| Приложение В.....   | 158        |
| Приложение Г .....  | 159        |
| Приложение Д.....   | 164        |
| Приложение Е.....   | 166        |

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** По различным данным в настоящее время в Российской Федерации насчитывается около 40 видов выращиваемых овощных культур, из которых 23 вида имеют массовое распространение. К ним относятся: арбуз, баклажан, брюква, дыня, кабачок, капуста (белокочанная, пекинская, цветная), лук репчатый, морковь, огурец, перец, петрушка, помидор, редис, редька, репа, салат, свекла, сельдерей, тыква, укроп, чеснок. Что касается других видов овощей, то в сельскохозяйственном производстве они не получили широкого распространения [24, 132, 137, 145].

Имея свои индивидуальные биологические особенности, каждая овощная культура также требует особых условий, способов выращивания и окружающей среды. В то же время для овощных растений характерны общие признаки, позволяющие их объединять в отдельные группы [88].

Специфика технологии возделывания, является одним из определяющих признаков для систематизации и специфической группировки овощных культур. Среди основных факторов, положительно влияющих на эффективность возделывания овощных культур, в вегетационный период особое место отводится подкормке минеральными удобрениями, регулярной обработке почвы для борьбы с сорняками, а также орошению в целях нормализации водного режима и биологической активности почвы [45–47].

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 рядка в соответствии с агротехническими требованиями» [71, 116].

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 рядка в соответствии с агротехническими требованиями активно занимаются коллективы машиностроительных фирм: Sfoggia (Италия), Mashio Gaspardo (Италия), Franz Kleine (Германия), Amazone (Германия), Kuhn (Франция) [45-47] и др. Весомый вклад в разработку данного направления внесли выдающиеся российские ученые: Абезин В.Г. [1, 22, 23, 136], Аксенов А.Г. [4, 5], Балашов А.В. [6, 51], Белодедов В.А. [7], Бузенков Г.М. [15, 16], Вальянов Д.Г. [19], Валуев В.Н. [20], Василенко В.В. [21], Гусев В.М. [41, 42], Дубина К.П. [45-47], Журавлев Б.И. [50, 52], Завражнов А.И. [6, 51, 108], Загудаев С.Д. [116], Зубрилина Е.М. [52, 105], Иванов В.П. [54, 55], Киреев И.М. [63, 64], Коваль З.М. [63, 64], Крючин Н.П. [69], Ларюшин Н.П. [72], Лобачевский П.Я. [74-84], Несмиян А.Ю. [11, 13, 43, 46, 47, 79, 80, 82-84, 99-104, 107, 139, 148, 151], Полторынкин С.С. [121], Попов А.Е. [118-120, 134, 146], Сахнов А.В. [126], Труфляк Е.В. [137], Хижняк В.И. [13, 79, 80, 82, 83, 107, 139, 140],

Цепляев А.Н. [141], Чичкин В.П. [145] и др.; ведущие научные коллективы ФГБОУ ВО Российской Федерации: Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, Ставропольский государственный аграрный университет, Российский государственный аграрный университет им. 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), 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 высева 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 высевающих 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 высевающего аппарата.

**Практическая значимость** может быть сформулирована следующим образом: усовершенствованный пневматический высевающий аппарат повышает качество высева семян лука репчатого; экспериментально установленные закономерности рабочего процесса усовершенствованного пневматического высевающего аппарата позволяют обосновать режимы работы посевного агрегата при высева семян лука репчатого; испытательный стенд для исследования пневматических высевающих 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 высевающих устройств семян лука;
- аналитическая зависимость, описывающая траекторию скатывания семян лука репчатого с постоянной скоростью, позволяющая обосновать параметры криволинейного участка семяпровода;



- пневматический высевной аппарат, в нижней части корпуса которого установлен семяпровод, обеспечивающий постоянную скорость скатывания семян и повышающий качество посева;

- закономерности рабочего процесса усовершенствованного пневматического высевного аппарата, позволяющие обосновать режимы работы посевного агрегата при посеве 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.). Опытной-производственной проверкой модернизированного пневматического высевного аппарата для сеялки точного посева марки Sfoggia Calibra (при посеве лука сорта «Боско») подтверждено, что внедрение новой конструкции пневматического высевного аппарата сеялки Sfoggia повышает качество заделки семян в борозду, тем самым увеличивая производительность и 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 методика испытаний высевального аппарата овощной сеялки точного посева марки Sfoglia 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.

**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.

**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.

## **1. СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОСЕВА СЕМЯН ЛУКА РЕПЧАТОГО**

### **1.1. Значение культуры лука-репки и влияние качества посева на урожайность**

Обладая индивидуальными биологическими особенностями, каждая овощная культура требует соблюдения специфических требований к условиям окружающей среды, способам выращивания, а также отличия и в способах употребления ее в пищу. В то же время для овощных растений характерны общие признаки, позволяющие их систематизировать и группировать [88, 89].

В широком ассортименте овощей, их сортов и видов, культивируемых в Российской Федерации, одну из лидирующих позиций занимает лук, который содержит большое количество эфирных масел и почти 30 видов минеральных веществ, а также обладает высокими лечебными качествами и особыми питательными свойствами [116].

На современном этапе возделывания лука репчатого для нечерноземной зоны и средней полосы России, а также северной части европейских стран в большей степени характерен способ выращивания из семян, где доля такого возделывания может составлять до 80% всего урожая [71, 116]. Однако существенной проблемой является сложность точного и равномерного распределения семян вдоль рядка в соответствии с агротехническими требованиями за счет несовершенства конструкций высевальных аппаратов.

В связи с этим не теряет своей актуальности вопросы разработки и внедрения такого высевального аппарата, который бы учитывал все достоинства созданных к настоящему времени аналогов, а также в полной мере обеспечивал необходимую точность и равномерность распределения

семян в рядке в соответствии с агротехническими требованиями [1, 70, 136, 151].

Лук репчатый Боско F1 – сорт лука Венгерского типа разработан корпорацией Syngenta, мировым лидером в области селекции, включенный в российский Госреестр в 2009 году. Среднеспелый гибрид для выращивания на репку в однолетней культуре из семян. Отличается крупным размером и высоким качеством луковиц пригодных для хранения в течение 8 месяцев в зимний период. Растение интенсивно формирует мощный листовой аппарат. Луковицы двух-зачатковые, широкояйцевидные, очень крупные, средней массой 90-110 г, некоторые до 150г. Прочные кроющие чешуи ярко-коричневого цвета с бронзовым блеском. Сочные – белые, пикантного вкуса без лишней горечи.

Химический состав луковицы: содержание сухого вещества 8,6 – 10,4, сахара 5,8 – 6,6 %, витамина С-5,0 %. Вызреваемость во время уборки 95 %, после дозаривания 97,5 %. Транспортабельность отличная. Товарность 90,2 - 98 %. Предназначен для свежего потребления и длительного хранения (до 6-7 месяцев). При орошении урожайность репчатого лука «Боско» может достигать 455 ц/га. Районирован в России, на Украине и в Молдове.

Поверхность угловатая, трехгранная, оболочка немного сморщенная, черного цвета [116].

## **1.2. Средства механизации для посева овощных культур**

Посев овощных культур осуществляется сеялками различных конструкций, с их оснащением как пневматическими, так и механическими дозирующими системами (высевающими аппаратами) [18, 45-48, 122].

Для посева овощных культур используются разнообразные конструкции сеялок, которые могут оснащаться как пневматическими, так и механическими дозирующими системами [45-48].

Универсальные овощные пневматические сеялки точного высева импортного производства серии MSO (рис. 1.1) предназначены для посева всех видов овощных культур (лук, морковь, редис, редька, салат, петрушка, укроп, кинза/кориандр, перец, помидоры, огурцы, кабачки, свекла, арбуз, дыня, тыква и др.) в 1, 2 или 3 строчки и являются результатом многолетнего опыта компании MaterMass в производстве овощных сеялок [116].



Рисунок 1.1 – Сеялка фирмы MSO [106]

Модельный ряд овощных сеялок фирмы MSO представлен следующими моделями: MSO F1 – овощная пневматическая сеялка точного высева применяется для посева в 1 строчку с минимальным расстоянием между рядами 22,5 см; MSO F2 – пневматическая сеялка точного высева используется для посева овощей в 2 строчки с фиксированным расстоянием между строчками 5, 7,5 или 10 см (в зависимости от вида сошника); MSO F3 – овощная сеялка точного высева с пневматическим приводом применяется для посева овощей в 3 строчки с фиксированным расстоянием между строчками 3,75 или 5 см (в зависимости от вида сошника); MSO DUO – пневматическая сеялка точного высева предназначена для посева овощей в 1 или 2 строчки. Особенность данной модели – каждая секция включает два высевающих аппарата, расположенных со смещением относительно друг

друга. Это позволяет регулировать расстояние между строчками от 4 до 10 см и снижает вероятность забивания сошников на влажной почве [18].

Сеялки тракторные овощные мелкосемянные торговой марки «СТАВМАШ» (рис. 1.2) предназначены для посева всех видов овощных и мелкосемянных культур таких как: лук, редис, морковь, салат, капуста, репа, горчица, анис, руккола, базилик, укроп, кинза, петрушка, помидор, огурец, цветная капуста, пекинская капуста, арбуз, цинния, шпинат, горох, мангольд, свекла, свекла листовая, окра, эдамамэ, кукуруза и других культур схожих по размеру семян. Сеялки просты в обслуживании и эксплуатации, все детали выполнены из качественных материалов, можно агрегатировать с любым тяговым классом тракторов [70].



Рисунок 1.2 – Сеялка фирмы «СТАВМАШ» [70]

Сеялка овощная «Клен» (рис. 1.3) является универсальным высевальным агрегатом, которая позволяет производить точный высеv практически любых культур от мелкосемянных (амарант, люцерна) до зернобобовых (соя, горох). В том числе предназначена для посева семян лука, моркови, редиса, капусты, свеклы, чеснока, а также лекарственных культур, цветов и многих других с гарантированным диапазоном норм высевa от 100 грамм до 150 кг на гектар [128].



Рисунок 1.3 – Сеялка фирмы «Клен» [128]

За счет использования уникального высевающего аппарата при переходе от высева мелких семян на более крупные не требуется вносить изменения в конструкцию сеялки. Эта особенность освобождает фермера приобретать дополнительные сменные диски для высева различных культур.

Отсутствие в конструкции быстроизнашиваемых узлов (цепи, вариаторы, валы и т. д.) повышает надежность сеялки и снижает затраты на обслуживание [106].

Сеялка овощная мелкосемянная СOT-4/2 (PT2) предназначена для пунктирного посева мелкосемянных овощных культур, таких как свекла, лук и морковь [116]. Агрегатируется с тракторами класса 0,7 и 1,4 кН. Привод высевающих аппаратов сеялки осуществляется от опорно-приводных колес секций по один с заднего колеса, один - с переднего. Существует возможность изменения частоты вращения высевающего аппарата сеялки перестановкой сменных звездочек. В стандартной комплектации сеялка поставляется со щеточным высевающим аппаратом. В данном высевающем аппарате вращающаяся щетка активирует слой семян в бункере и побуждает их высыпаться в отверстие в задней стенке бункера, которое перекрывается поворотным диском с отверстиями сменного сечения. Изменяя проходное сечение отверстий поворотом диска и изменяя частоту вращения щетки, можно добиться необходимой нормы высева семян [1, 6, 16, 136, 138].



Для разработки и серийного производства современных пневматических овощных сеялок компания SFOGGIA (Италия) объединила передовые технологии и научные знания в области проектирования посевной техники. В результате кропотливой работы ученых и практиков создан большой типоразмерный ряд посевных машин нового поколения для сева разнообразных овощных культур, которые легко и удобно вписываются в новейшие интенсивные технологии производства овощей [106, 122].

Сеялка SFOGGIA Calibra Evo (рис. 1.4) это пневматическая сеялка точного высева, идеально подходящая для посева мелких семян овощей, оголенных (без оболочки) или же структурированных (в оболочке) для однострочного, двустрочного или трехстрочного высева [122].



Рисунок 1.4 – Сеялка пневматическая точного высева для овощей SFOGGIA Calibra Evo [122]

Калибра Evo выпускается в моделях: однострочного высева (Fila Singola), Слим, Твин, Трис и Тандем (рис. 1.5) [122].

Сеялки выпускаются в разной комплектации с жесткой или сложной рамой для однострочного, двухстрочного и трехстрочного посева овощных культур с возможностью внесения гранулированных минеральных удобрений. Сеялки, имеющие не более четырех высевных секций, оборудованы одной турбиной. На сеялках, где количество высевных секций составляет от 5 до 18, установлены две турбины. Прикатывающие передние и

задние катки диаметром 250 и 100 мм соответственно, по заказу потребителей, могут быть изготовлены из нержавеющей стали, с резиновым ободом Farmflex, или с решетчатой металлической поверхностью. Привод высевного аппарата имеет цепную передачу [128].

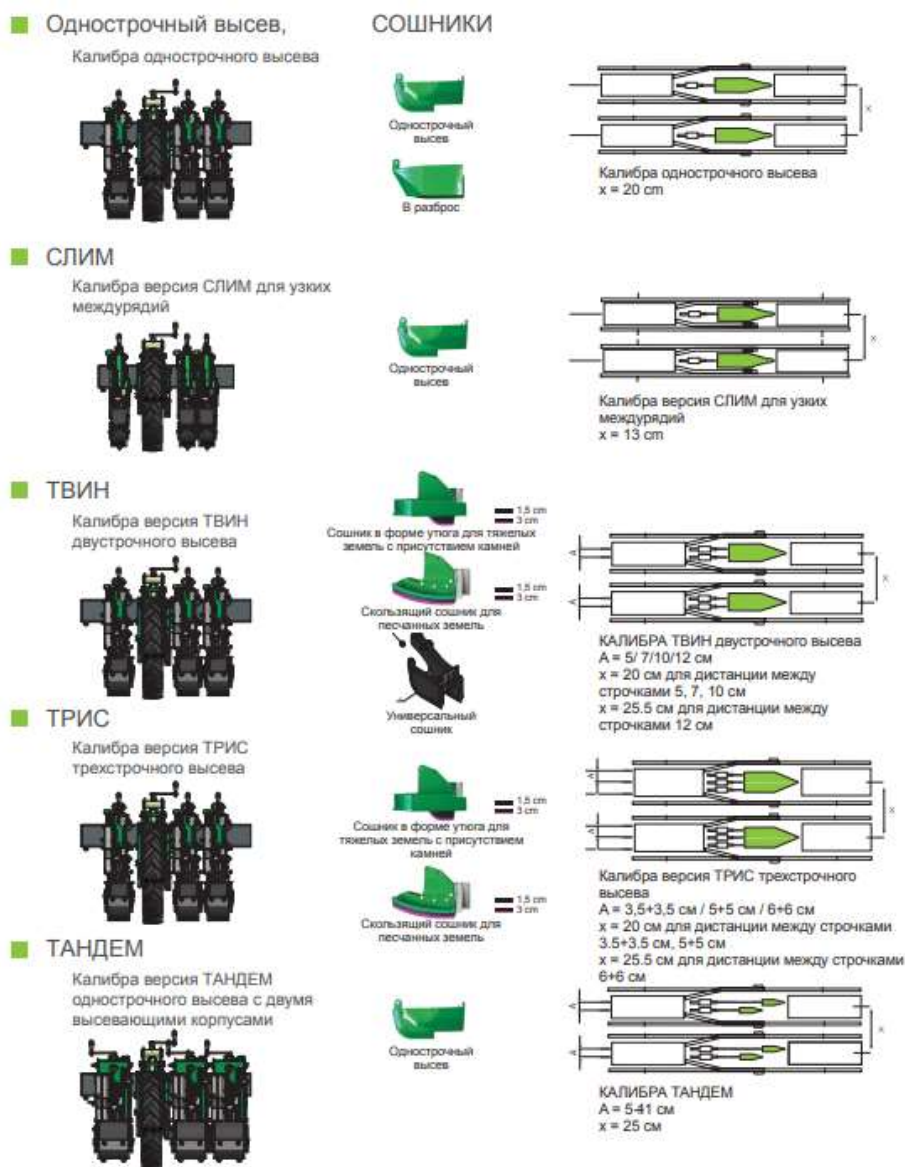


Рисунок 1.5 – Сеялка пневматическая точного высева SFOGGIA Calibra Evo в моделях: однострочного высева (Fila Singola) [122]

Овощная сеялка СО-4.2 (рис. 1.6) производства (ООО «Червона зирка», г. Кировоград) предназначена для рядкового посева на ровной грядковой и гребневой поверхностях мелких и крупных семян овощных культур и культур, семена которых близки к указанным по своим физико-технологическим свойствам и агротехнике сева [128].



Рисунок 1.6 – Сеялка овощная СО-4.2 [128]

Сеялка СО-4,2 обеспечивает: широкий диапазон норм высева; разнообразие схем посева, что достигается перестановкой сошников; повышенную равномерность распределения семян в рядке; отдельное от семян внесение минеральных удобрений; высокую маневренность, простоту, удобство и надежность в эксплуатации.

Сеялка комплектуется одноленточными и двухленточными сошниками, используемыми для высева разнообразных овощных культур во всех климатических зонах. По отдельным заказам сеялка может быть оборудована приспособлением для высева мелких семян лекарственных культур. Сеялки СО-4,2 имеют ширину захвата 3,6–4,2 м. Норма высева семян составляет 0,3–110 кг/га, а гранулированных минеральных удобрений – 50–110 кг/га. Глубина заделки семян – 20–50 мм, рабочая скорость при севе – до 7 км/ч. [128]

Огромное количество зарубежных разработок гидравлических сеялок не были внедрены в производство из-за несовершенства их конструкций, за исключением сеялки Fluid Dulling Ltd (Великобритания). Впрочем, и эта сеялка имеет ограниченное применение, поскольку способна обеспечить только гнездовой высеv. Применение в сеялке дорогого посевного геля, как носителя семян связано с эффектом торможения прорастания последних.

Глубокий анализ сеялок как отечественного, так и зарубежного производства позволил выявить прямую зависимость увеличения посевных площадей овощных культур и спроса на пневматические (высев

осуществляется с помощью эжектора либо эксгаустера) и механические (система высева работает от приводного колеса) виды сеялок точного высева.

Основными производителями сеялок являются страны Северной Америки, Германия, Франция, что помимо проблем, связанных с географической удаленностью поставки запчастей, в нынешних условиях санкций делает практически невозможным их качественное обслуживание. Также к недостаткам таких сеялок следует отнести высокие требования к семенному материалу, ограниченные возможности использования в связи с отсутствием сервисного обслуживания. Отметим, что на отечественном рынке сельскохозяйственных машин для посева овощных культур в основном (около 70 %) используются пневматические сеялки [87, 100, 156]. При этом актуальной проблемой производства сеялок точного посева остается увеличение их точности и производительности [45-47, 128].

На решение этих и других вопросов повышения эффективности посевных агрегатов влияют три основных фактора: качество работы сошниковых групп сеялок на относительно высоких скоростях, надежность фиксации семян в борозде, а также устойчивая дискретная подача высевающим аппаратом семян в борозду.

К наиболее важным рабочим органам сеялки относится высевающий аппарат, функциональное предназначение которого заключается в отборе определенного количества семян из общей массы семенного материала и формировании исходного потока семян с определенными заданными параметрами. Именно эти параметры в наибольшей степени гарантируют качество распределения семян в рядке и в целом на засеянном поле [8, 41, 42, 44, 91, 102, 104].

### **1.3. Классификация вакуумных высевающих аппаратов сеялок**

Одним из наиболее важных рабочих органов сеялки является высевающий аппарат. Он необходим для отбора из общей массы семенного

материала определенного количества семян и формирования исходного потока с определенными заданными параметрами. Поэтому достоинства и недостатки сеялок относительно качества распределения семян в рядке и в целом на засеянном поле, главным образом, определяются работой высевающих аппаратов [8, 41, 42, 44, 91, 102, 104].

Современные исследователи в настоящее время используют несколько описаний классификаций высевающих аппаратов сеялок. Согласно классификации высевающих аппаратов В.П. Чичкина [145], они подразделяются на четыре основные типа: механические, гидравлические, пневматические и пневмомеханические.

Механические аппараты можно разделить на катушечные, чашечные, шнековые, вибрационные, фрикционные, кассетные, мотыльковые, канавочные, центробежные, ложечные, ячеистые и аппараты для укладки семенной влагорастворимой ленты.

Фрикционные высевающие аппараты установлены на сеялках ССФК-7М, ССФК-6, ССФК-7 и других. Кассетные высевающие аппараты нашли применение на таких сеялках как СКС-6А, ССК-1, СКС-6-10, НЕГЕ-80 и другие.

Пневматические высевающие аппараты, в свою очередь, делятся на дисковые, барабанные, ленточные и аппараты без подвижных частей [5, 71, 79, 80, 82, 117].

Дисковые высевающие аппараты установлены на сеялках таких фирм как Nodet, Ebra, Ribolea, Riviere-Casalis (Франция); сеялки СПЧ-6 (Румыния); Gaspardo (Италия); СУПН-8, СУПН-6 (Украина); СПБ-8К, СПБ-12К, СТВ-107, СПКА-8 (Россия); фирм Becker, Nassia (Германия), Fahse, International Harvester, Allis-Chalmers (США). Дисковые аппараты по принципу действия можно разделить на аппараты, работающие при помощи избыточного давления, и на аппараты, принцип работы которых основан на использовании вакуума [123-126, 129].

Аппараты вакуумного типа (пневмовакуумные) используются на сеялках СУПН-8, СПЧ-6, СТВ-107, СПБ-8К, С ПК-12 К, сеялках фирм Nodet-Gougis, Ribouleau, Benac (Франция) и другие. Аппараты, работающие на принципе нагнетания воздуха в семенную камеру (пневмонагнетательные), используют на своих сеялках такие фирмы, как Karl Becker; International Harvester, Cyclo, Allis-Chalmers (США), Riviere- Casalis (Франция) и другие. [139, 149, 163]

Пневмомеханические и гидравлические высевальные аппараты, имеющие свое место в вышеуказанной классификации, в силу ряда причин не получили должного распространения. Это произошло, в частности, из-за сложности их устройства и зачастую не очень надежной работы.

Пневматические высевальные аппараты сеялок отличаются широким разнообразием конструкций. [50, 148]

Современные исследователи в настоящее время используют несколько описаний классификаций высевальных аппаратов сеялок. В.П. Чичкин [145] классифицирует высевальные аппараты на четыре основные типа.

Механические аппараты включают вибрационные, канавочные, кассетные, катушечные, ложечные, мотыльковые, фрикционные, центробежные, чашечные, шнековые, ячеистые, а также аппараты для укладки семенной влагорастворимой ленты. К примеру, фрикционные высевальные аппараты используются на таких сеялках, как ССФК-7М, ССФК-6, ССФК-7 и др. Что касается кассетных высевальных аппаратов, то они применяются на таких сеялках, как СКС-6А, ССК-1, СКС-6-10, НЕГЕ-80 и др.

Пневматические аппараты отличаются широким разнообразием конструкций, включают барабанные, дисковые, ленточные, а также аппараты без подвижных частей [5, 50, 71, 79, 80, 82, 117, 148]. В свою очередь дисковые аппараты подразделяются по принципу действия: при помощи избыточного давления (пневмонагнетательные) или вакуума (пневмовакуумные) [40, 123-126, 129]. Первые нагнетают воздух в семенную

камеру, такой подход реализован на сеялках таких фирм, как Karl Becker (Германия), International Harvester, Cyclo, Allis-Chalmers (США), Riviere-Casalis (Франция) и др. [62, 139, 149, 163]. К аппаратам вакуумного типа можно отнести сеялки СУПН-8 (Украина), СПЧ-6, СТВ-107, СПБ-8К, СПК-12К (Россия), сеялки таких фирм, как Nodet-Gougis, Ribouleau, Venac (Франция) и др.;

Пневмомеханические и гидравлические высевальные аппараты не получили должного распространения в силу таких причин, как сложность их устройства и довольно низкая надежность работы.

В таблице Б.1 (приложение Б) и на рисунке 1.7 приведено процентное соотношение типов высевальных аппаратов, которые наиболее широко представлены на рынке сельскохозяйственной техники в европейской части России [107].

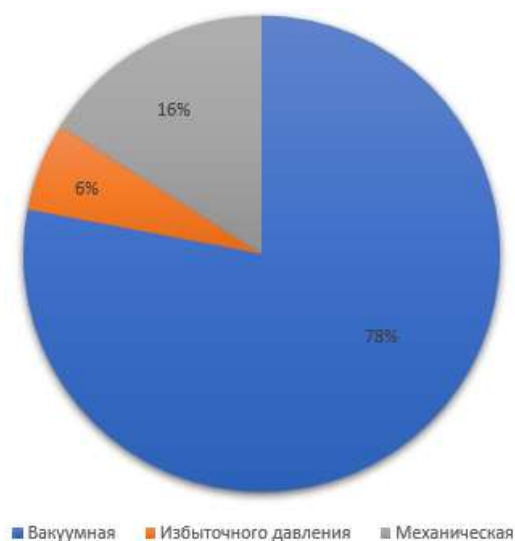


Рисунок 1.7 – Типы дозирующих систем высевальных аппаратов

Анализ данных таблицы Б.1 [107] и рисунка 1.7 дает возможность оценить соотношение различных типов высевальных аппаратов, выпускаемых в мире. Из рассмотренных 78 марок сеялок точного посева огромную долю (порядка 78%) занимают системы на основе вакуумного дозирования семян, механической – 16%, а системой избыточного давления – 6%. Следовательно производители сеялок, отдают предпочтение вакуумным

высевающим аппаратам, которые показали наилучшие результаты своей работы.

Необходимо понимать, что интенсивные исследования в области разработки и совершенствования конструкций высевных аппаратов постоянно ведутся отечественными и зарубежными производителями. К наиболее актуальным направлениям этих исследований можно отнести [107]:

- повышение производительности;
- универсализация;
- соблюдение экологических требований по защите почв;
- сокращение затрат труда;
- снижение материалоемкости;
- повышение качества посева.

Однако повышение качества распределения семян в рядке во многом зависит от конструкции и режима работы высевающего аппарата [112].

#### **1.4. Анализ семяпроводов высевающих аппаратов пневматических сеялок**

При всем многообразии конструкций высевающих аппаратов пневматических сеялок все они имеют единый механизм работы, а именно он обеспечивает отбор и дозирование семян из бункера-накопителя, а также распределение их по семяпроводам (семянаправителям). В дальнейшем семяпроводы транспортируют соответствующие порции семян к рабочим органам для их внутripочвенного распределения (сошникам). При этом важную роль играет конструкция семяпровода, который с помощью сил гравитации или дополнительным воздушным потоком доставляет посевной материал от высевающего аппарата до распределительного рабочего органа.

Нами был проведен анализ известных конструкций семяпроводов (семянаправителей) по базе Федерального института промышленной собственности.



Так, например, на рисунке 1.8 представлен общий вид семяпровода (АС СССР №1026684), пневматической сеялки, работающий следующим образом. Через патрубок 4 в трубопровод 1 подается сжатый воздух. Шайбы 5 и 6 предотвращают немедленное истечение сжатого воздуха из трубопровода 1 и способствует созданию равномерного давления воздуха по всей его длине в зоне охватывающей диффузоры 2. Под действием давления воздух проникает через кольцевые щели, образованные между смежными диффузорами 2, в центральную полость семяпровода пневматической сеялки. При этом центральная полость семяпровода ограничивается высокоскоростными струями воздуха, которые по направленности приближаются к оси семяпровода и проходят на одинаковом расстоянии от оси по всей длине семяпровода. Диффузоры 2 выполнены одинаковыми по размерам и имеют вогнутую криволинейную поверхность, т. е. семена в процессе движения перемещаются по синусоиде, имеющей постоянную амплитуду, которая незначительно превышает наибольший размер семени. После выхода из трубопровода 1 семена попадают на дно борозды и заделываются почвой.

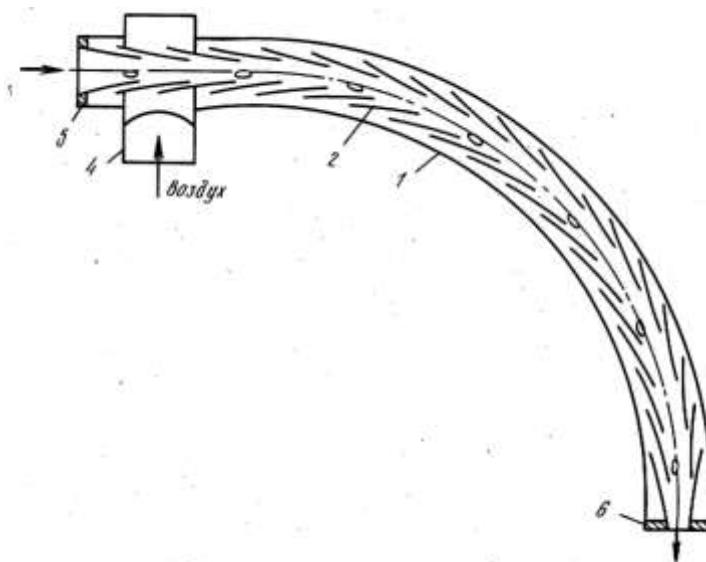


Рисунок 1.8 - Общий вид семяпровода, пневматической сеялки АС СССР №1026684

Все это способствует повышению равномерности подачи семян от высевающего аппарата точного высева в борозду.

Представляет также интерес семяпровод пневматической сеялки (рис. 1.9) (Патент РФ № 2357394) работающий следующим образом. Семена из дозирующего устройства пневматической сеялки поштучно, с потоком воздуха подаются в трубопровод 1. Воздух при выходе через продольную щель 2 трубопровода 1 прижимает семена к ней. Пружинный шнек 3, размещенный внутри трубопровода 1, приводится во вращение от опорно-приводных колес пневматической сеялки через механизм передач (не показаны), и витками с постоянной скоростью перемещает семя вдоль щели 2 по трубопроводу 1 к сбросному отверстию. Причем низкие фрикционные свойства трубопровода 1 и витков шнека 3 уменьшают вероятность повреждения семян и способствуют свободному скольжению семени вдоль сквозной щели 2 чем обеспечивается равномерное движение семян в семяпроводе.

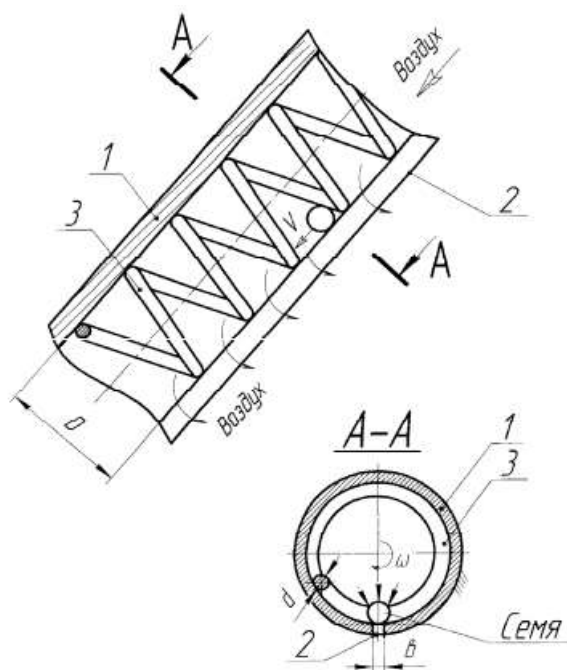


Рисунок 1.9 - Семяпровод пневматической сеялки (Патент РФ № 2357394)

Оригинальное техническое решение семяпровода, который приводится во вращение от опорно-приводных колес через механизм передач представлено на рисунке 1.10 (Патент РФ № 2370014).

В трубе параллельно ее оси выполнена сквозная щель 4, ширина которой меньше толщины высеваемых семян  $b$ , причем внутренняя вставка 2,

представляющая собой трубу, изготовлена из материала с низким коэффициентом трения и неподвижна, а наружная приводится во вращение от опорно-приводных колес через механизм передач (на рисунке не показаны), при этом нижний торец внутренней трубы закрыт, а в нижней части вставки и трубопровода на завершении соответственно продольной и спиральной щелей имеются отверстия 5 и 6, диаметр которых больше максимального размера высеваемых семян, а центры расположены в одной плоскости, перпендикулярной оси семяпровода.

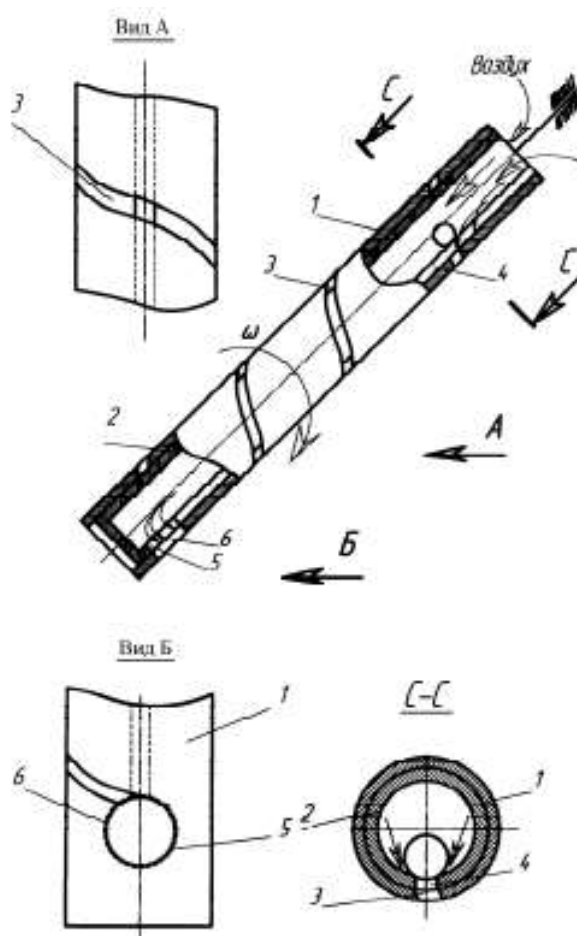


Рисунок 1.10 – Семяпровод (Патент РФ № 2370014)

Семяпровод пневматической сеялки работает следующим образом.

Семена из дозирующего устройства пневматической сеялки поштучно с потоком воздуха подаются в трубопровод 1. Воздух при выходе через щели, образованные совпадением продольной 4 и спиральной щелей 3, прижимает семена к продольной щели 4. Наружный трубопровод 1, приводимый во

вращение от опорно-приводных колес через механизм передач, перемещает с постоянной скоростью места совпадения продольной 4 и спиральной 3 щелей к выходному концу пневмосемяпровода, тем самым обеспечивая транспортирование семян от высевающего аппарата к отверстиям 5 и 6, наружного трубопровода и внутренней вставки соответственно. К моменту достижения семенами выходного конца пневмосемяпровода центры отверстий 5 и 6 совпадают и семена потоком воздуха выбрасываются в борозду.

Такое техническое решение позволяет повысить равномерность подачи семян от высевающего аппарата в борозду.

Известен сошник пневматической сеялки, содержащий конический раструб, имеющий цилиндрический участок с криволинейным сетчатым желобком и расположенную под ним воздухоотводящую пластину (SU 1743419).

Недостатком данного устройства является сложность конструкции и близость расположения к почве, что уменьшает эффективность отвода воздуха.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению техническим решением является семянаправитель пневматической сеялки, содержащий трубопровод, сообщенный с источником сжатого воздуха, и гаситель воздушного потока в виде эластичной конусной гофры со сквозными наклонными каналами (SU 1630642).

Недостатками данного семянаправителя пневматической сеялки является то, что он не обеспечивает необходимого снижения давления воздушного потока и расположен близко к почве.

Задачей предлагаемого изобретения является повышение равномерности распределения семян вдоль ряда в открытой борозде путем устранения воздействия воздушной струи в зоне их высева.

Поставленная задача достигается тем, что в семяпроводе пневматической сеялки, содержащем трубопровод, сообщенный с

источником сжатого воздуха, и гаситель воздушного потока, гаситель воздушного потока выполнен в виде сквозных прорезей, изготовленных во внешних стенках криволинейных участков трубопровода, причем ширина каждой прорези меньше половины минимальной толщины высеваемых семян, а длина равна длине соответствующего криволинейного участка (рис. 1.11) (Патент RU 2485751).

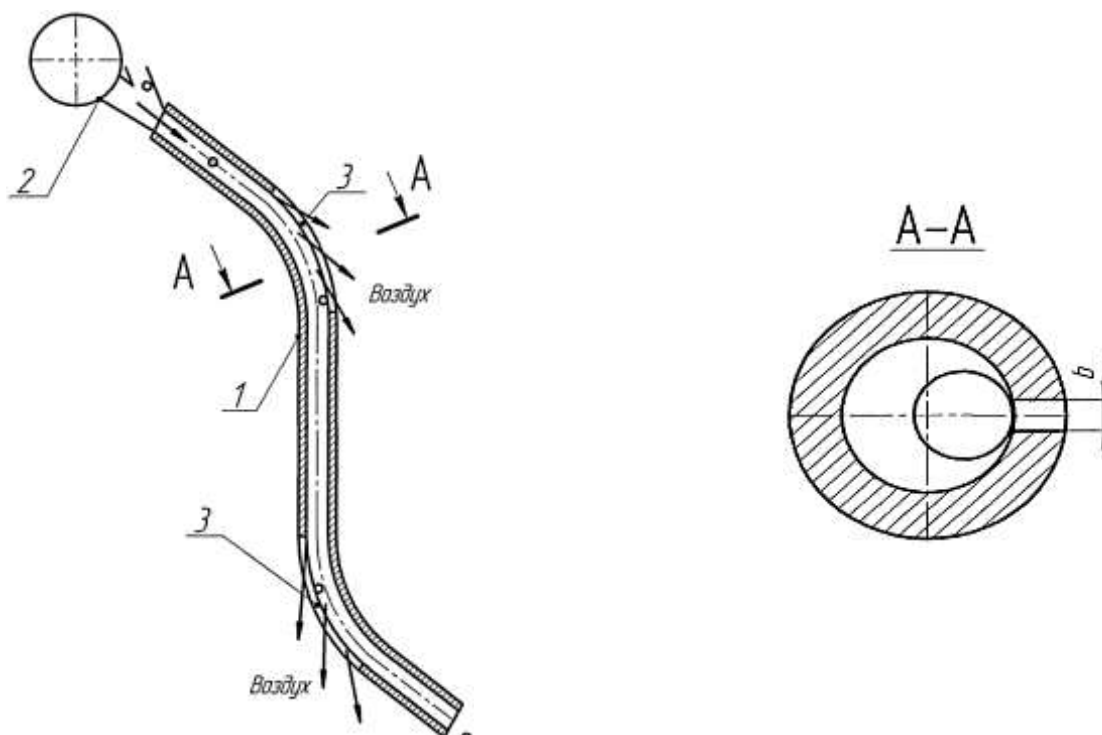


Рисунок 1.11 - Семяпровод пневматической сеялки (Патент RU 2485751)

Семяпровод пневматической сеялки работает следующим образом.

Семена транспортируются в трубопроводе 1 воздушным потоком, подаваемым от источника сжатого воздуха 2. При достижении криволинейного участка большая часть воздушного потока, обладающего определенной инерцией, выбрасывается через прорезь 3 в атмосферу, а семена, отразившись от стенок прорези 3, под воздействием остаточного воздушного потока продолжают движение в трубопроводе 1. Расположение прорезей 3 вне пространства сошника позволяет избежать возможного воздействия воздушного потока на почву и семена. При этом заданная ширина  $b$  прорезей 3 гарантированно предотвращает заклинивание в них семян, а длина - максимально эффективно использовать инерцию воздуха для

его выведения в атмосферу.

Использование подобного гасителя воздушного потока позволяет снизить скорость воздуха в два-три раза, в сравнении с семяпроводом пневматической сеялки без гасителя. Аналогичные прорези, но выполненные на прямолинейных участках трубопровода, снижают скорость воздуха лишь на 10-20%.

Анализ конструкций семяпроводов пневматических сеялок показывает, что все они направлены на повышение равномерности высева семян.

На рисунке 1.12 представлен пневматический высевающий аппарат сеялки точного высева SFOGGIA Calibra (Италия) для дальнейшего исследования.

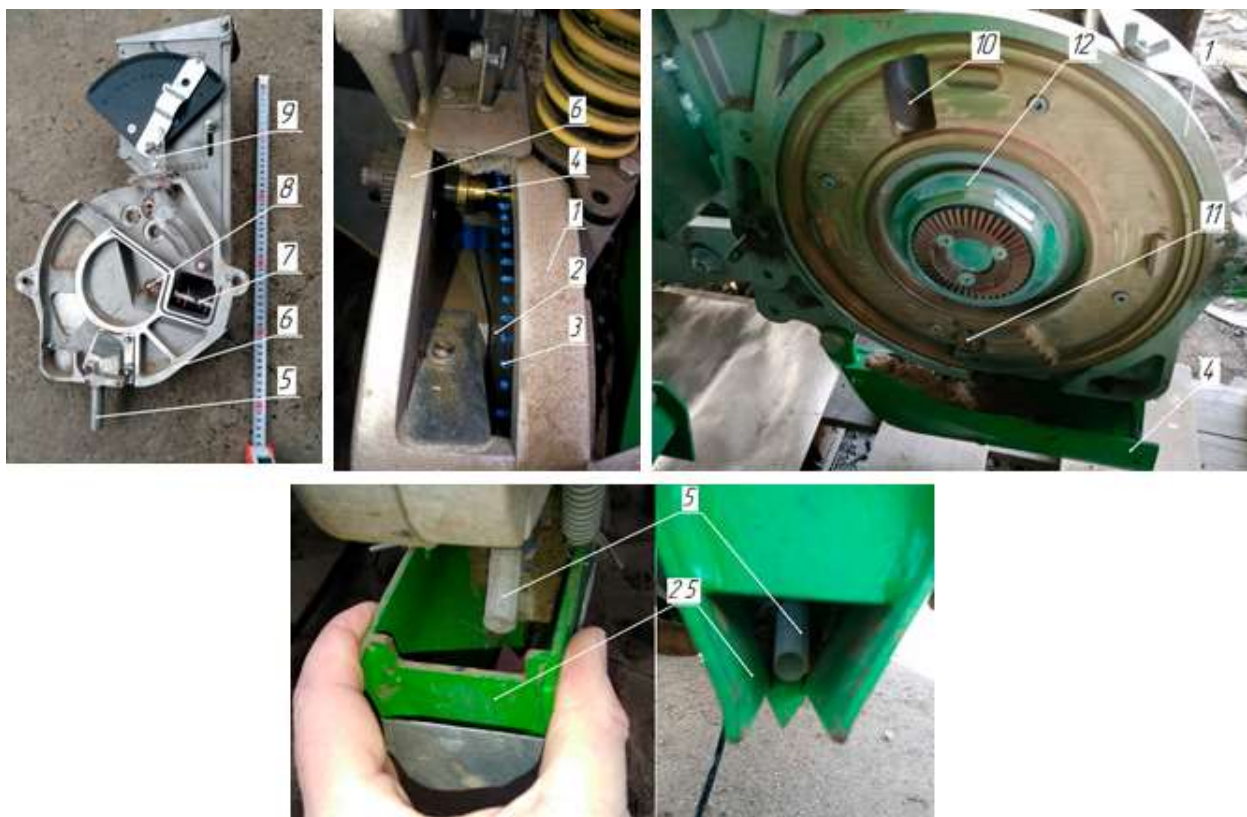


Рисунок 1.12 – Пневматический высевающий аппарат сеялки точного высева SFOGGIA Calibra (Италия): 1 – корпус высевающего аппарата; 2 – высевающий диск; 3 – отверстие высевающего диска; 4 – эксцентрик; 5 – семяпровод; 6 – крышка высевающего аппарата; 7 – заборная камера; 8 – привод ворошилки семян; 9 – отсекальщик двойников; 10 – зона разряжения; 11 – зона избыточного давления; 12 – посадочное место высевающего диска

Анализ работы высевающего аппарата (рис. 1.12), позволяет сделать вывод, что изменение скорости качения семян в семяпроводе не обеспечивает «плавный» переход с прямолинейного участка на дугу окружности криволинейного участка и затем на прямолинейный ускорительный участок, что вносит изменение в характер движения семени по всему семяпроводу. Также при движении семян и их переходе с прямолинейного участка на криволинейный возникает повышенная сила трения за счет возникновения центробежной силы, прижимающей семена к семяпроводу, что снижает их скорость перемещения и провоцируя возможные заторы.

### **1.5. Совершенствование процесса высева семян лука репчатого пневматическим высевающим аппаратом**

Для совершенствования пневматических высевающих аппаратов сеялок точного высева нами были запатентованы уникальные конструкции.

Полезная модель на пневматическую сеялку для посева семян овощных культур RU №213797 А01С 5/08 (рис. 1.13) [113, 138, 143, 147].

Базовые посевные секции 3 (рис. 1.13а) установлены на раме 1 попарно, в паре секция 3а и секция 3б. Между секциями 3а и 3б по центру ряда смонтирован дополнительный сошник 10, включающий ножевидный анкерной бороздообразователь 11 с разведенными в сторону боковинами 12, приемник-распределитель 13 микрогранул и загортач 14.

Высевающие аппараты 4а и 4б (рис. 1.13б) размещены оппозитно (повернуты относительно друг друга на 180°). Туковyseвающие секции высевающего аппарат 4а на секции 3а и 4б на секции 3б соответственно установлены ближе к центру ленты [7, 20, 21, 67, 83, 103, 108].

Высевающие аппараты 4а, 4б сообщаются с базовыми секциями 3а, 3б посредством семяпроводов 15, а приемником-распределителем 13 сошника 10 посредством тукопроводов 16.

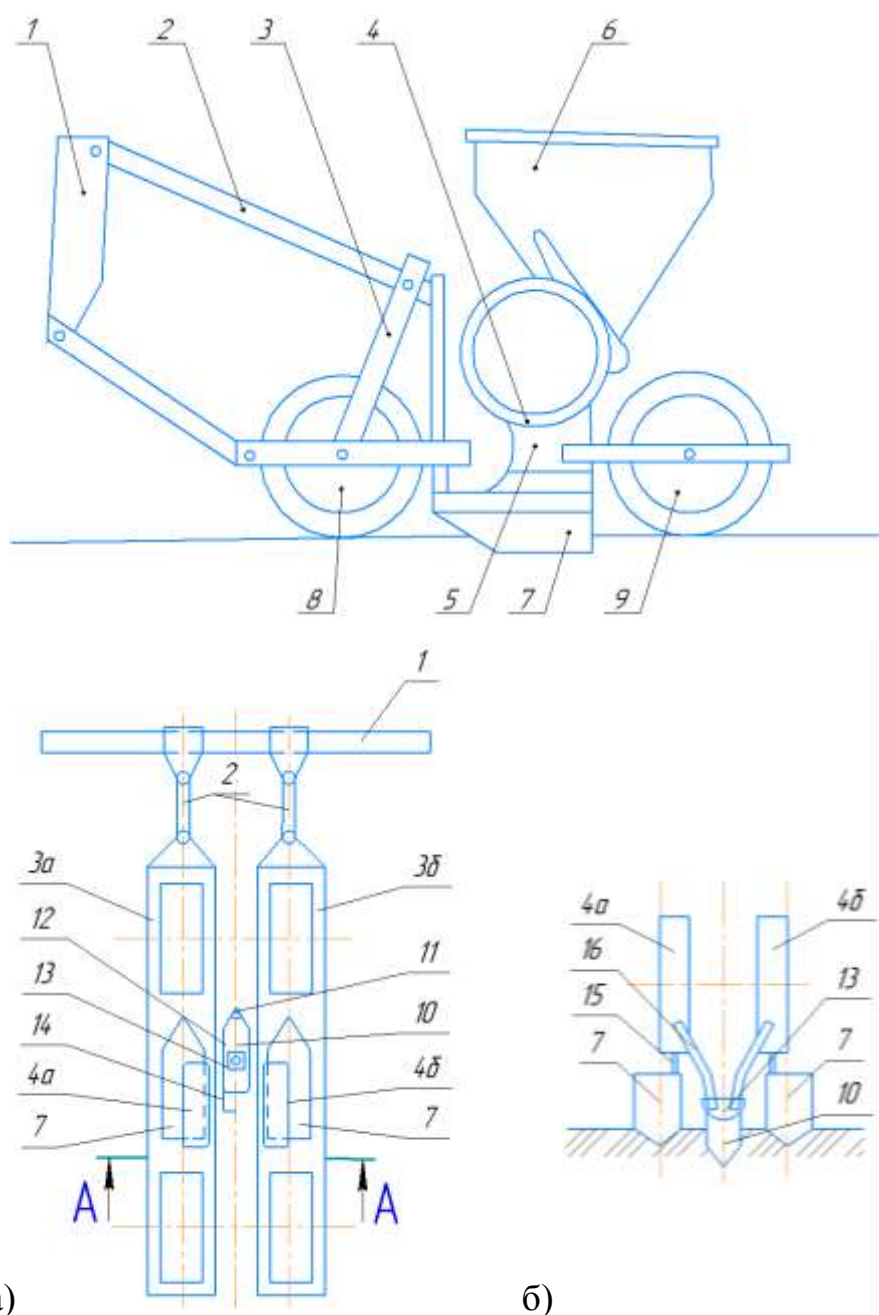


Рисунок 1.13 – Схема пневматической сеялки для посева семян овощных культур [106]: а) – вид в плане; б) – вид по сечению А-А: 1 – прицепная рама; 2 – шарнирная подпружиненная подвеска; 3 – корпус базовой посевной секции; 4 – пневматический высеивающий аппарат; 5 – диски двойного высева; 6 – бункер; 7 – полозовидный сошник; 8 – опорно-приводное колесо; 9 – прикатывающее колесо; 10 – сошник; 11 – бороздообразователь; 12 – боковина; 13 – приемник-распределитель микрогранул; 14 – загортач; 15 – семяпровод; 16 – тукопровод

Принцип работы сеялки следующий. При движении посевного агрегата по полю с рабочей скоростью  $V_0$  от опорных колес 8 вращение передается на



высевающие аппараты 4 обеих секций, при этом семена и микрогранулы удобрений/стимуляторов подаются из своих отделов бункера 6 через семяпроводы 15 и тукопроводы 16 соответственно в базовые секции 3а, 3б и приемник-распределитель 13 сошника 10 [12, 13, 22, 93, 142].

При установившемся движении сеялки сошники 7 и 10 перемещаются по направлению посевного агрегата и копируют рельеф поля, а ножевидный анкерный бороздообразователь 11 с разведенными боковинами 12 при этом погружается в разрезаемую почву. Вспомогательный сошник 10, обеспечивая измельчение почвы и формируя борозду по центру ленты на глубину заделки микроудобрений, также контактирует с почвой боковыми поверхностями 12 и выполняет роль режущего инструмента [130-132].

Через приемник-распределитель 13 поступают микрогранулы, которые укладываются на дно сформированной борозды, при этом измельченная почва осыпается при сходе с боковин 12, засыпая тем самым микрогранулы. Затем загортач 14 заделывает почву по ходу движения посевного агрегата.

Параллельно, по аналогии с микрогранулами, сошниками 7 высеваются и заделываются семена овощной культуры. Лента высеянного материала формируется из семян в две строчки, между которыми ниже уровня высеянных семян на заданную глубину и заделывается еще одна строчка с микроудобрениями [93, 113].

Пневматические высевающие аппараты обеспечивают точность позиционирования семян и гранул в соответствующей борозде. В качестве такого аппарата, в частности, может использоваться разработанный и запатентованный высевающий аппарат для посадки семян овощных культур с одновременным ориентированным внесением гранулированного удобрения, известный из описания к патенту RU №212333 А01С 7/04 (рис. 1.14) [112].

Клинообразный рыхлитель-направитель удобрений, которым оснащен аппарат, установлен ниже его плоскости скольжения по дну формируемой сошником борозды на расстояние, которое превышает глубину заделки

семян, и выполнено в форме изогнутой в нижней части трубки с косым срезом выходного отверстия. Это позволяет не только сформировать уплотненное ложе, но и направить на него поток удобрений и/или стимуляторов роста. Вертикальное перемещение рыхлителя-направителя позволяет варьировать глубину заделки удобрений относительно заделки овощных семян, тем самым обеспечивая разноуровневый посев и создавая впоследствии оптимальную площадь питания растениям [24, 92].

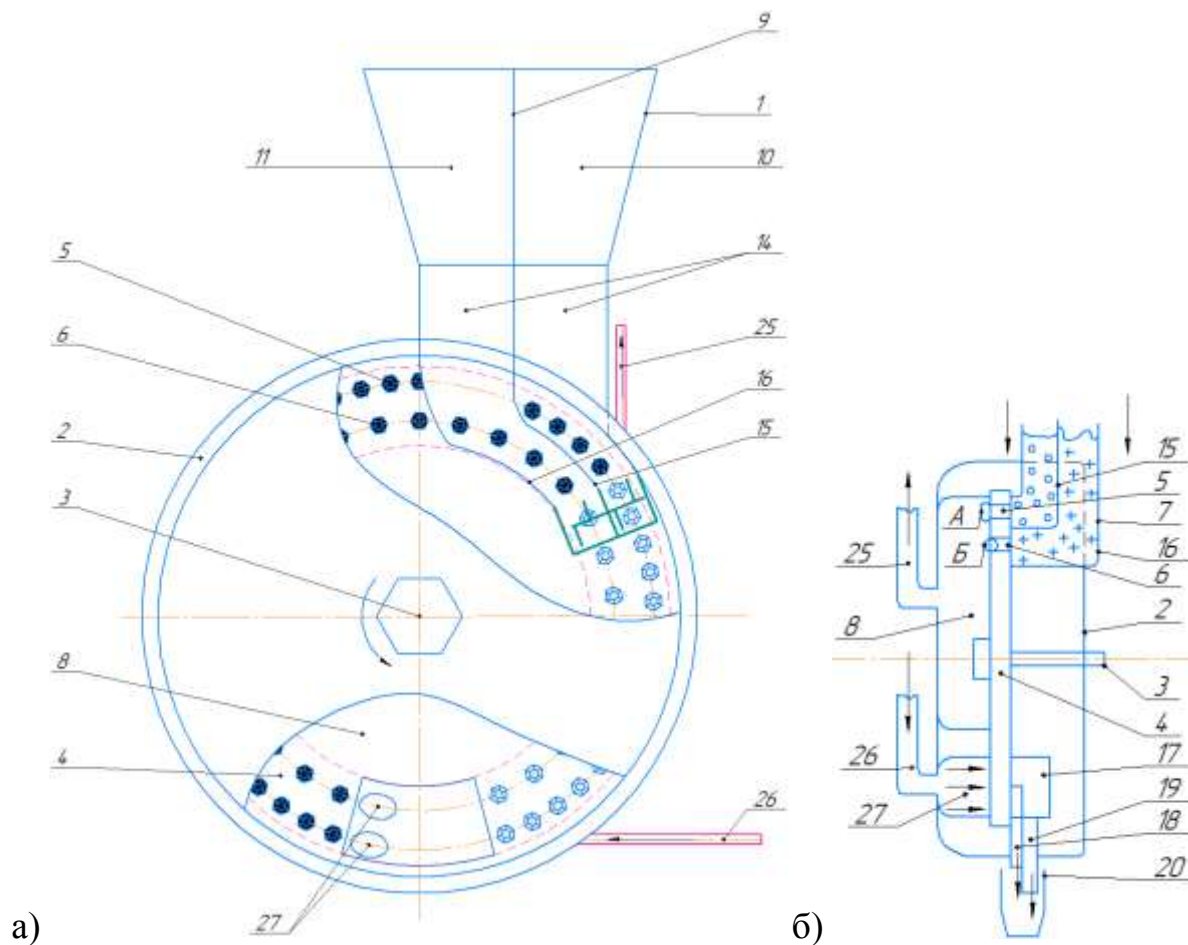


Рисунок 1.14 – Принципиальная схема высевяющего аппарата [104]:

- а – фронтальный вид; б – поперечный разрез: 1 – бункер для высевяемого материала; 2 – корпус; 3 – вал; 4 – высевяющий диск; 5 – отверстия для семян; 6 – отверстия для гранул удобрений; 7 – семенная камера; 8 – вакуумная камера; 9 – перегородка; 10 – отсек для семян; 11 – отсек для удобрений; 12, 13 – выпускные отверстия; 14 – материалопровод; 15, 16 – дугообразная перегородка; 17 – разделитель высевяемого материала; 18, 19 – семяпроводы; 20 – направляющий элемент; 21, 22 – направляющий элемент семян и гранул удобрений (семяпровод); 23 – клинообразный рыхлитель; 24 – материалопровод; 25 – материалопровод; 26 – нагнетательная магистраль; 27 – материалопровод; 28 – ножевидный наральник

Пневматическая система высевального аппарата включает турбовентилятор 24, сообщающийся всасывающими воздуховодами 25 с вакуумной камерой 8, а его нагнетательной магистралью 26 – с камерой высокого давления 27, которая соосно расположена с разделителем высевального материала 17 с обеих сторон высевального диска 4, образуя в совокупности зону разгрузки семенного материала.

Высевальный диск 4 (рис. 1.15) имеет два ряда отверстий для семян 5 и гранул удобрений/стимуляторов роста 6, расположенных на concentрических окружностях.

При этом отверстия 5 для семян А имеют форму усеченной шестигранной пирамиды, основание которой находится со стороны семенной камеры 7 и равно  $0,7 \div 0,9$  усредненной величины поперечного сечения высеваемых семян, а отверстия 6 для удобрений/стимуляторов роста Б с размером  $0,6-0,8$  усредненной величины поперечных сечений высеваемых гранул.

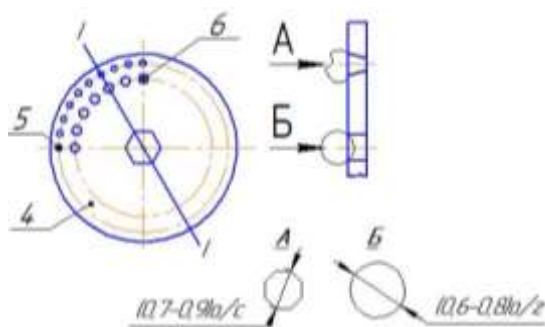


Рисунок 1.15 – Высевальный диск: 4 – высевальный диск; 5 – отверстия для семян; 6 – отверстия для гранул удобрений;

Отверстия высевального диска для каждого вида высеваемого материала различны: для семян лука имеют форму усеченной шестигранной пирамиды с диагональю в основании, равной  $0,7 \div 0,9$  величины поперечного сечения высеваемых семян; для удобрений или стимуляторов роста –  $0,6 \div 0,8$  величины поперечного сечения высеваемых гранул, что обеспечивает надежный захват материала присасывающимися отверстиями и создает необходимый коэффициент трения пары «семена-высевальный диск»,

требуемый для выноса семян из семенной камеры, за счет увеличения силы присасывания материала к отверстиям, зависящей от плотности прилегания семян к диску, а также снижения присасывания воздуха. Надежный захват семян и гранул удобрений обеспечивает гарантированное их внесение в строке [24, 112].

Алгоритм работы пневматического высевающего аппарата следующий. Высеваемые материалы двух видов – семян овощных культур и гранул удобрений из двух отсеков 10 и 11 семенного бункера 1, разделенного перегородкой 9, самотеком по материалопроводам 14 попадают соответственно в сектора 15 и 16 семенной камеры 7. В процессе вращения диска 4 его отверстия 5 и 6 попеременно попадают в зону разряжения вакуумной камеры 8, при этом овощные семена А, поступающие из сектора 15 и гранулы удобрений Б из сектора 16 семенной камеры 7, под действием вакуума присасываются соответственно к отверстиям 5 и 6 высевающего диска 4.

Затем семена А и гранулы Б, прижатые вакуумом к диску 4, перемещаются им же в зону разгрузки семенного материала, расположенную в нижней части аппарата к разделителю высеваемого материала 17, где отсутствует разряжение. Здесь высеваемый материал под действием повышенного атмосферного давления в камере 27 отделяется от отверстий 5 и 6 и самотеком, следуя гравитации, при помощи разделителя высеваемого материала 17 попадает через систему семяпроводов для семян 18 и для удобрений 19, которые сообщаются трубчатыми направителем 21 заделки в верхний уровень почвы семян и трубчатым направителем 22 для удобрений.

Направленное и равномерное внесение удобрений ниже глубины заделки семян стало возможным благодаря конструкции представленного пневматического высевающего аппарата. Необходимо отметить, что контакт посевного материала и микроудобрений полностью исключается, а в вегетационный период благодаря ориентированному размещению удобрений

относительно высеянных семян активно развивается их корневая система, обеспечивается дружность всходов и повышается урожайность.

Заявленное техническое решение для посева семян лука с внесением в почву удобрений гарантирует не только качественный посев семян, но и одновременную равномерную заделку удобрений на заданную глубину с учетом агротехнических требований к возделыванию мелкосеменных культур [23, 24, 58].

Анализируя вышесказанное можно сделать следующее заключение. Эффективность применения удобрений может быть увеличена только за счет регулирования объема вносимого удобрения. Дополнительно отметим, что при посеве обеспечивается смещение только в почвенном горизонте (т. е. на одинаковой глубине заделки) семян и удобрения относительно друг друга, что не может гарантировать оптимальную схему внесения удобрений [115]. Однако, основной задачей диссертационной работы является повышение точности и равномерности посева семян лука, путем совершенствования конструктивно-технологической схемы работы высевающего аппарата.

Нами предложен уникальный пневматический высевающий аппарат [115] (рис. 1.16-1.17), который состоит из корпуса 1 с семенной камерой 2 и камерой разрежения. Между камерами на горизонтальном валу *B* расположены высевающий диск 3 (с присасывающими отверстиями 4) и пластинчатый отражатель 5 (для удаления «лишних» семян), который примыкает к торцевой плоскости высевающего диска [105].

Семяпровод – составная трубка круглого сечения, имеющая два участка: прямолинейный 6 и криволинейный 7 – крепится на кронштейне в нижней части корпуса 1 высевающего аппарата [52, 110]. При этом выходная часть 8 прямолинейного участка семяпровода, и входная часть 9 криволинейного участка расположены соосно и размещены в аэрокамере 10, сообщающейся с затворной камерой 11. Аэрокамера 10 имеет коническую форму где в области его усеченной вершины размещена зона сопряжения

прямолинейного и криволинейного участков, что образует сужающее эжектирующее кольцевое сопло 12.

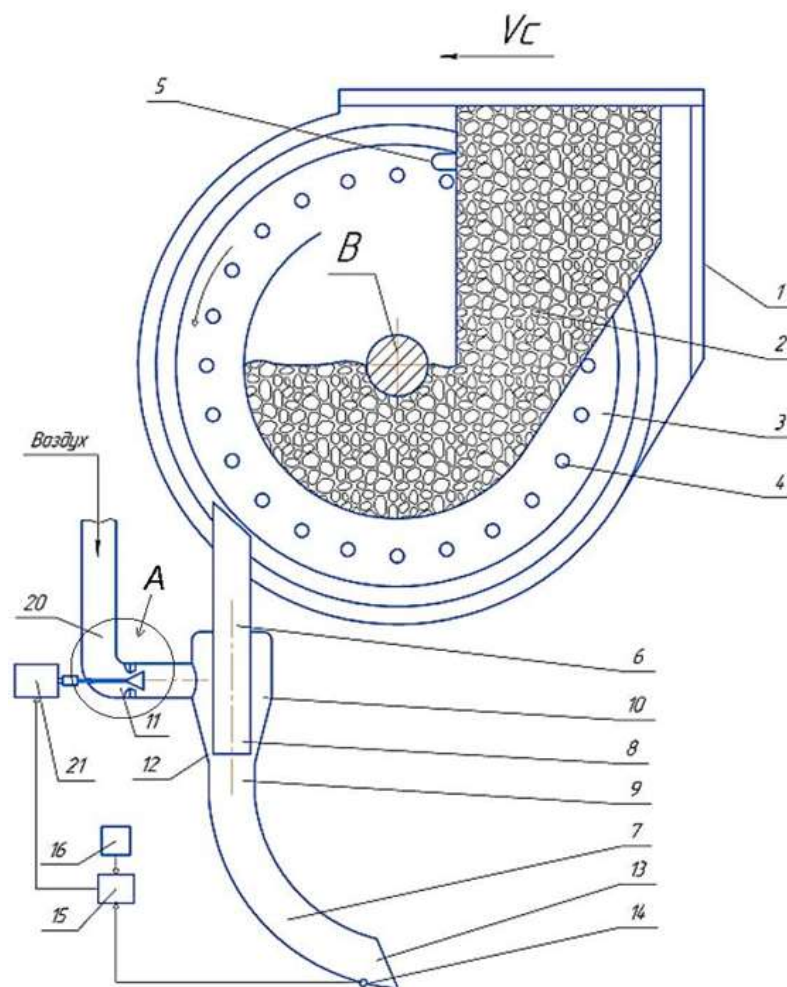


Рисунок 1.16 – Схема пневматического высевающего аппарата

(Патент №548) [110]:

- 1 – корпус; 2 – семенная камера; 3 – высевающий диск; 4 – присасывающие отверстия;  
 5 – отражатель; 6-9 – составная трубка; 10 – аэрокамера; 11 – затворная камера;  
 12 – сопло; 14, 16 – датчик скорости; 15 – блок мониторинга и контроля; 17 – затворная  
 камера; 18 – седло; 19 – клапан; 20 – воздуховод; 21 – шаговый двигатель

На выходной части 13 криволинейного участка 7 расположен датчик скорости воздушного потока 14, выход которого соединен с соответствующим входом блока мониторинга и контроля 15, на который поступает сигнал с датчика скорости 16 посевного агрегата.

Блок управления воздушным потоком А (рис. 1.17) и 6 расположен в зоне сочленения прямолинейного и криволинейного участков семяпровода и

имеет затворную камеру 17 с регулятором изменения величины воздушного потока включающего седло в виде конусного кольца 18 внутри которого расположен конусный клапан 19 имеющий возможность перекрывать поперечное проходное сечение подающего воздуховода 20 посредством привода выполненного в виде шагового двигателя 21, вал которого соединен со штоком 22 посредством винтового механизма 23.

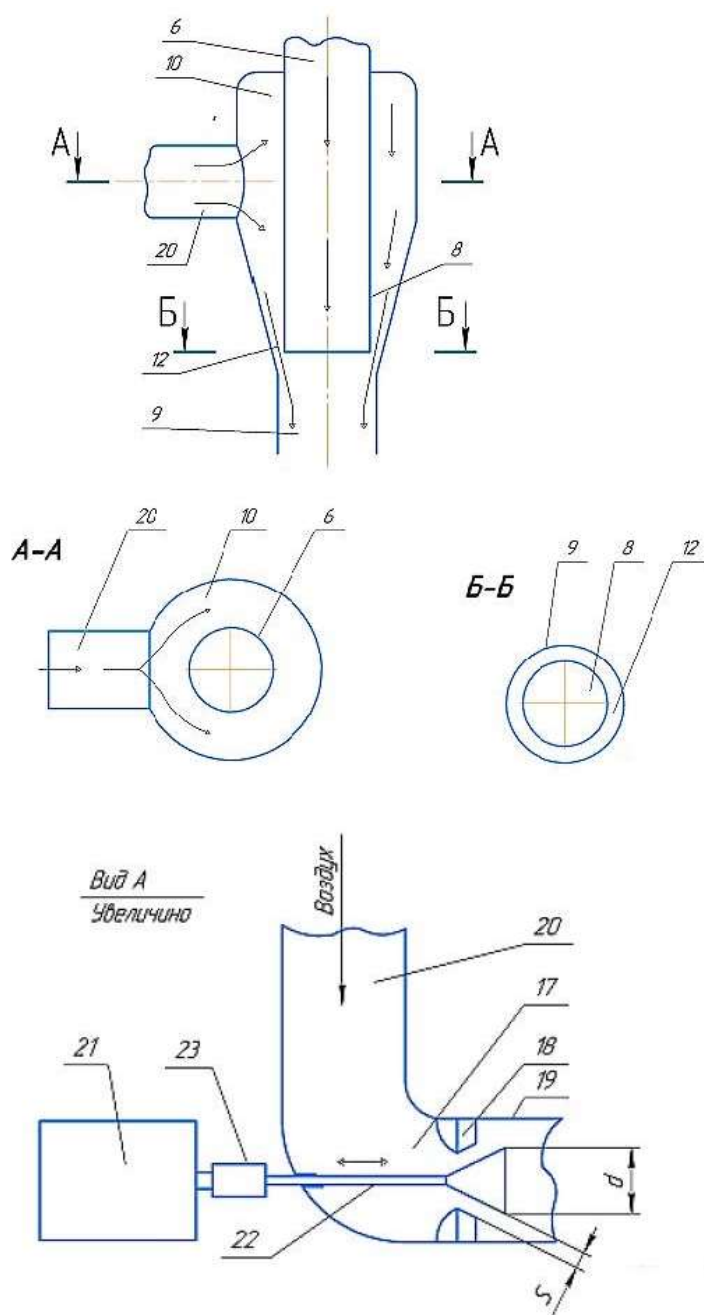


Рисунок 1.17 – Пневматический высевающий аппарат №548 [110]:

6-9 – составная трубка; 10 – аэрокамера; 11 – затворная камера; 12 – сопло; 14, 16 – датчик скорости; 15 – блок мониторинга и контроля; 17 – затворная камера; 18 – седло; 19 – клапан; 20 – воздуховод; 21 – шаговый двигатель; 22 – шток; 23 – винтовой механизм

Принцип работы пневматического высевающего аппарата следующий.

Семена поступают в семенную камеру 2 корпуса 1 высевающего аппарата из бункера (на рисунке не показан). Оттуда, вращаясь вместе с высевающим диском 3 под действием создаваемого в вакуумной камере (на рисунке не показана) разрежения они присасываются присасывающими отверстиями 4 и переносятся к пластинчатому отражателю 5, который «лишние» присосавшиеся семена возвращает обратно в семенную камеру 2. Высевающий диск 3 переносит оставшиеся семена в зону сбрасывания [52, 105], откуда они поступают в прямолинейный участок 6 семяпровода и через выходную часть 8 прямолинейного участка попадают в конусную часть аэрокамеры 10 в зону сужающегося эжектирующего кольцевого сопла 12.

Поступающий по воздуховоду 20 воздушный поток проходя затворную камеру 11 и регулятор изменения величины воздушного потока через конусное кольцо 18 и конусный клапан 19 приобретает вид дисковой струи которая попадая в аэрокамеру 10 в зону сопряжения прямолинейного и криволинейного участков – сужающее эжектирующее кольцевое сопло 12 за счет возникающей зоны низкого давления способствует воздушному потоку, проходящему через него захватывать поступающие из прямолинейного участка семена и направлять их в криволинейный участок 7 и далее непосредственно в сошник сеялки. Так как криволинейный участок 7 семяпровода выполнен в форме клотоиды, радиус кривизны которой изменяется линейно в зависимости от пройденного пути, то движение семян по данному участку происходит с постоянной скоростью, равной скорости движения воздушного потока.

Изменение скорости воздушного потока осуществляется за счет продольного перемещения конусного клапана 19 имеющего возможность изменять поперечное проходное сечение подающего воздуховода за счет кольцевой щели  $S$  посредством шагового двигателя 21 с винтовым механизмом 23.



Значение скорости семян при выходе из криволинейного участка определяется датчиком 14, скорость посевного агрегата – датчиком 16. Данные значения поступают в блок мониторинга и контроля 15, в котором осуществляется сравнение скоростей и выработка управляющего воздействия для шагового двигателя 21 блока управления воздушным потоком.

Равенство скоростей выходящих из семяпровода семян и посевного агрегата обнуляет скорость семян относительно почвы, повышая тем самым равномерность распределения семян различных овощных культур по длине и ширине рядка [52, 105].

Таким образом, предложенный пневматический высеваящий аппарат, состоящий из корпуса с двумя камерами (семенная и разрежения), которые разделены вертикальным высеваящим диском с присасывающими отверстиями, а также семяпровода в виде трубки круглого сечения, оптимально обеспечивает постоянную скорость скатывания семян, равную скорости движения посевного агрегата.

### **1.6. Выводы по главе**

При разработке и производстве высеваящих аппаратов необходимо учитывать следующие параметры:

1. Качество работы самих высеваящих аппаратов.
2. Надежную фиксацию семян в борозде. Важно, чтобы семена не вываливались или перемещались после подачи в почву (на семенное ложе). Это может быть обеспечено за счет использования семяпроводов, обеспечивающих постоянную скорость скатывания семян, равную скорости движения посевного агрегата.
3. Стабильно дискретную подачу семян в борозду. Очень важно поддерживать постоянную скорость подачи семян в борозду на участке после отрыва от высеваящего диска до семенного ложе, чтобы обеспечить равномерный высев по всей площади.

Запатентованный нами пневматический высевной аппарат (Патент №548), позволяет достичь следующего результата – обеспечить постоянную скорость скатывания семян, что в свою очередь повысит качество посева семян лука.

Равенство скоростей выходящих из семяпровода семян и посевного агрегата обнуляет скорость семян относительно почвы, повышая тем самым равномерность распределения семян (густоту стояния) различных овощных культур по длине и ширине рядка.

В дальнейшем необходимо экспериментально доказать работоспособность заявленного технического решения.

## **2. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА**

### **2.1. Теоретические предпосылки моделирования движения частицы по криволинейной траектории**

Исследование различных вопросов агроинженерии свидетельствует о достаточно частом использовании методов математического моделирования движения частиц по криволинейной поверхности [14, 19, 90, 118-120, 134, 146]. Такие проблемы, как правило, характерны для аппаратов сеялок точного высева [10, 11, 14, 94, 157], вероятны при выборе параметров и режимом работы центробежных разбрасывателей, при движении зернового потока по сепарационным решетам [2, 3, 49, 59, 73, 153-155, 159, 161, 164-166], могут возникнуть с применением криволинейных скатных поверхностей в ходе погрузочно-разгрузочных работ и т. д. Все это актуализирует необходимость моделирования процесса движения по различным траекториям.

В процессе реализации этой модели мы выявили значительную динамику и вариативность скорости движения частиц по различным известным поверхностям, образующимися окружностями, параболами, гиперболоми и т. д. Выявленные изменения скорости чреваты неблагоприятными последствиями при движении зернового потока по сепарирующим поверхностям, в общем, и при движении семян в аппаратах сеялок точного высева, в частности [85, 90]. Уменьшение скорости движения частиц может привести к образованию заторов, а увеличение – к проблемам с точностью высева в высевающих аппаратах. Данные эффекты могут стать серьезной проблемой в части соответствия агротехнологическим требованиям, предъявляемым к сеялкам точного высева.

В этой связи, в качестве наиболее рациональной поверхности необходимо выбрать ту, по которой частица или элемент массы будут двигаться с постоянной скоростью.

Рассмотрим несвободное движение частицы по некоторой кривой вида  $y=f(x)$ .

С учетом силы трения  $F_{тр}$ , в проекциях на оси координат  $(x, y)$  уравнения движения частицы имеют вид:

$$m\ddot{x} = F_x + N(t) \cos(N, x) - F_{тр, x}, \quad m\ddot{y} = F_y + N(t) \cos(N, y) - F_{тр, y}, \quad (2.1)$$

где точки вверху переменных обозначают соответствующие производные по времени.

Здесь  $\cos(N, x) = \frac{-y'_x}{\sqrt{y'^2_x + 1}}$ ,  $\cos(N, y) = \frac{1}{\sqrt{y'^2_x + 1}}$  направляющие косинусы

вектора нормали  $N(t)$  к поверхности,  $m$ —масса частицы, кг. Через  $F_x$ ,  $F_y$  обозначены проекции на оси координат внешних сил, действующих на частицу, «штрих» у функции  $y$  означает производную по переменной  $x$ .

Так как сила трения направлена противоположно скорости движения частицы, то  $F_{тр, x} = kN(t) \frac{\dot{x}}{v}$ , где  $\dot{x}$ — проекция скорости на ось  $x$ ,  $v = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}$ —скорость частицы,  $k$ — коэффициент трения.

$$\text{Тогда } F_{тр, x} = kN(t) \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}. \text{ Аналогично } F_{тр, y} = kN(t) \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}.$$

Вводя понятие неопределенного множителя Лагранжа

$$\lambda(t) = \frac{N(t)}{m\sqrt{y'^2_x + 1}}, \quad (2.2)$$

получаем уравнения движения вместе с третьим, замыкающим систему уравнением поверхности:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= F_x - \lambda(t)y'_x - k\lambda(t)\sqrt{y'^2_x + 1} \cdot \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} \\ \ddot{y} &= F_y + \lambda(t) - k\lambda(t)\sqrt{y'^2_x + 1} \cdot \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} \\ y &= f(x). \end{aligned} \quad (2.3)$$

Вместе с начальными условиями:

$$x|_{t=0} = x_0, y|_{t=0} = y_0, \dot{x}|_{t=0} = v_{x0}, \dot{y}|_{t=0} = v_{y0}, \quad (2.4)$$

получаем задачу Коши для системы двух квазилинейных дифференциальных уравнений и одного алгебраического уравнения (2.3).

*Математическое обоснование кривой, по которой движение семян происходит с постоянной скоростью*

Зададим на плоскости две произвольные точки кривой: начальную с координатами  $(x_0; y_0)$  и конечную с координатами  $(x_k; y_k)$ . Некоторая частица при перемещении по криволинейной траектории из начальной в конечную точку должна поддерживать постоянную скорость  $v$ , равную начальной скорости попадания частицы на кривую.

В работе одного из авторов [90] было предложено уравнение такой кривой:

$$y'' = -\frac{g}{v^2} \left(1 + \frac{y'}{k}\right) (1 + y'^2). \quad (2.5)$$

Граничные условия:

$$y(x_0) = y_0, y(x_k) = y_k, \quad (2.6)$$

замыкают полученную задачу.

Следует отметить, что искомая функция не всегда может быть определена. Ее существование зависит, как минимум от двух факторов: во-первых, положения начальной и конечной точек траектории, и во-вторых, начальной скорости движения частицы.

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 (2.5), (2.6) дает численную функцию, аналитическая аппроксимация которой имеет вид:

$$\begin{aligned} y(x) = & 5,11 \cdot 10^{15} x^{12} - 2,49 \cdot 10^{15} x^{11} + 543699659527251 x^{10} \\ & - 69944955280263 x^9 + \\ & + 5901615613678 x^8 - 343309466830 x^7 + 1409066293 x^6 \\ & - 410510114,6 x^5 + \end{aligned}$$

$$+8428145x^4 - 119768x^3 + 1160x^2 - 9x + 0,107. \quad (2.7)$$

Получение аппроксимирующей функции необходимо в том числе и для анализа адекватности полученной траектории в системе уравнений (2.5), который возможен при использовании функции аналитического вида  $y(x)$ .

Проверку эффективности выбранной траектории движения проводится путем подстановки функции (2.7) в систему уравнений (2.5). Начальными условиями являются:

$$\begin{aligned} x|_{t=0} = 0, \quad y|_{t=0} = 0,107, \quad \dot{x}|_{t=0} = v/\sqrt{1 + y'(0)^2} = 0,1878, \quad \dot{y}|_{t=0} \\ = -1,689 \end{aligned}$$

Анализируя сказанное можно сделать вывод о том, что с использованием метода уравнений Лагранжа первого рода выведены уравнения движения частиц по поверхности с криволинейной направляющей. В случае применения криволинейных направляющих в качестве подающих устройств в сошниковую зону сеялки, более предпочтительными являются кривые, по которым частицы движутся с постоянной скоростью, что исключает завалы и способствует более рациональным режимам работы установок. Указанные криволинейные поверхности могут быть использованы при конструировании высевающих аппаратов сеялок точного высева.

## 2.2. Моделирование движения частицы по криволинейной траектории семяпровода

Пусть частица массой  $m$ , кг (рис. 2.1) движется по кривой:  $y = f(x)$  [114]. На нее при движении действуют три активные силы: сила тяжести  $mg$ , нормальная реакция  $\bar{N}$ , Н и сила трения  $\bar{F}_{\text{тр}} = k\bar{N} + kF_B$ , где  $k$  – коэффициент трения,  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

$$F_B = m \cdot v_B^2.$$

где  $v_B$  – скорость воздушного потока, м/с.

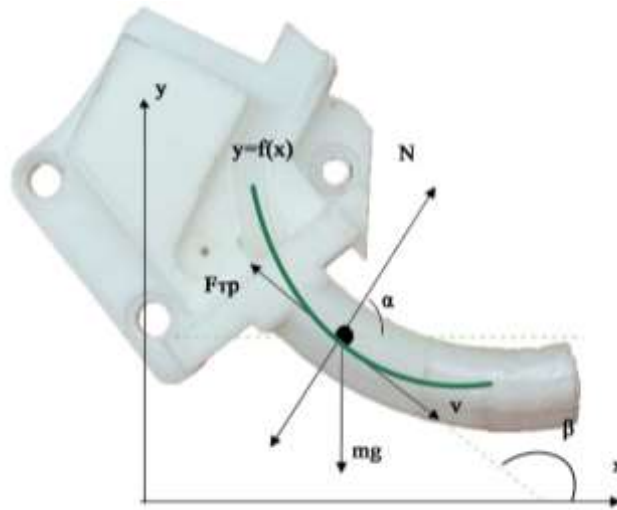


Рисунок 2.1 – Схема сил, действующих на частицу в семяпроводе

Уравнение движения частицы в проекции на ось  $x$  примет вид:

$$m\ddot{x} = N \cos \alpha - F_{\text{тр}} \sin \alpha, \quad (2.8)$$

или

$$m\ddot{x} = N(\cos \alpha - k \sin \alpha). \quad (2.9)$$

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  $\rho$  – радиус кривизны в данной точке, м; а  $\frac{mv^2}{\rho}$  – центробежная сила инерции;  $v$  – скорость частицы, м/с.

Радиус кривизны траектории можно рассчитать по формуле:

$$\rho = \frac{[1+(y'_x)^2]^{\frac{3}{2}}}{y''_x}. \quad (2.10)$$

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:

$$\cos \alpha = \frac{-y'_x}{\sqrt{1+(y'_x)^2}}, \sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{1+(y'_x)^2}}. \quad (2.11)$$

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 (2.9) 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:

$$\ddot{x} = -\frac{(g + \dot{x}^2 y''_x)(k + y'_x)}{1 + (y'_x)^2}. \quad (2.12)$$

Вместе с начальными условиями:

$$x|_{t=0} = x_0, \dot{x}|_{t=0} = v_{x0}, \quad (2.13)$$

получаем задачу Коши для квазилинейного дифференциального уравнения (2.12) относительно функции  $x(t)$ .

Отметим, что в случае движения частицы по прямолинейной наклонной плоскости  $y = ax + b$ ,  $y'_x = a = \operatorname{tg} \beta$ , а  $y''_x = 0$ . Тогда уравнение (2.12) принимает вид:

$$\ddot{x} = -\frac{g(k + \operatorname{tg} \beta)}{1 + (\operatorname{tg} \beta)^2} = -g(k \cos \beta + \sin \beta) \cos \beta. \quad (2.14)$$

Если через  $\gamma$  обозначить острый угол наклона плоскости к оси  $x$ , то  $\beta = \pi - \gamma$ . Тогда  $\sin \beta = \sin \gamma$ , а  $\cos \beta = -\cos \gamma$ , и уравнение (2.14) примет вид:  $\ddot{x} = g(\sin \gamma - k \cos \gamma) \cos \gamma$ , что соответствует уравнению движения по наклонной плоскости в проекции на ось  $x$ .

Рассмотрим следующий пример.

Пусть  $y(x) = 0,6(x - 1,3)^2$ ,  $k = 0,3$ ,  $x_0 = 0$ ,  $v_{x0} = 0,2$  м/с.

Тогда уравнение (2.12) примет вид:



$$\ddot{x} = - \frac{(9,81 + 1,2\dot{x}^2)(1,2\dot{x} - 1,26)}{1 + (1,2\dot{x} - 1,56)^2}.$$

На рисунке 2.2 отражено численное решение полученной задачи.

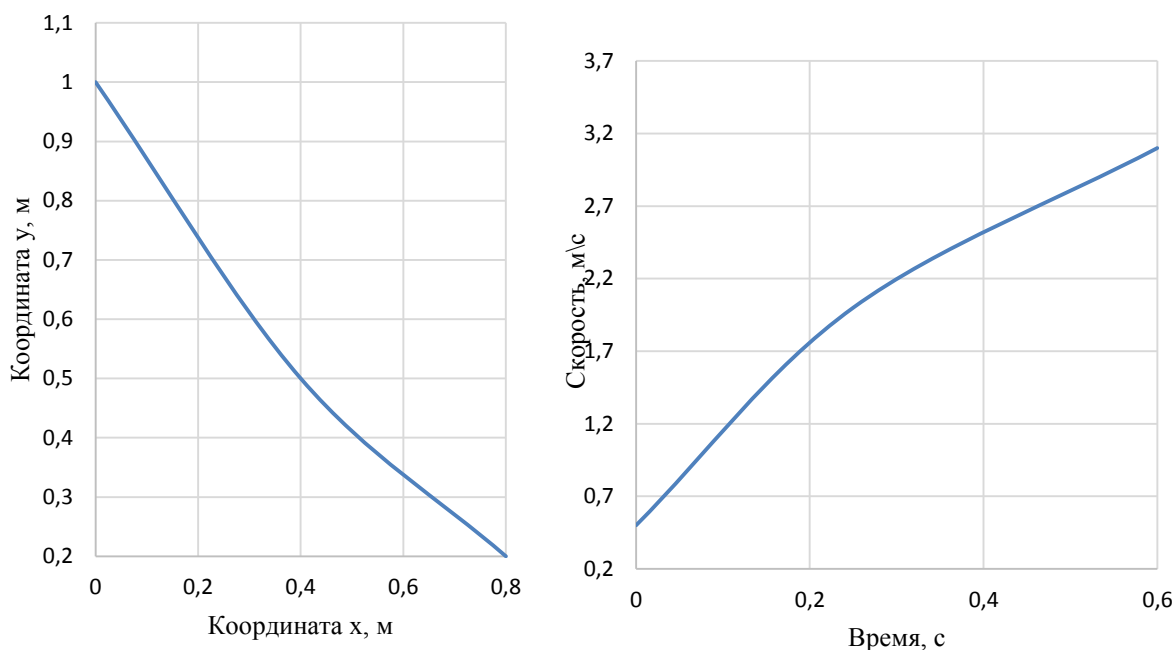


Рисунок 2.2 – Траектория движения и скорость частицы

Анализ рисунка 2.2 позволяет сделать вывод, что траектория движения частицы совпадает с заданной, время движения по кривой составит 0,567 с, а скорость возрастает до 3,2 м/с.

Результаты нашего исследования подтвердили мысль о том, что существует значительная динамика и вариативность скорости движения частиц по различным известным поверхностям, образованных от окружностей, парабол, гипербол и т. д. Как показывает опыт изменение скорости чревато неблагоприятными последствиями при движении зернового потока по сепарирующим поверхностям, в общем, и при движении семян в аппаратах сеялок точного высева, в частности. Отметим, что уменьшение скорости движения частиц может привести к образованию заторов, а увеличение – к проблемам с точностью высева в высевающих аппаратах. Данные эффекты могут стать серьезной проблемой в части соответствия агротехнологическим требованиям, предъявляемым к сеялкам точного высева. Таким образом, в качестве наиболее рациональной поверхности

необходимо выбрать ту, по которой частица или элемент массы будут двигаться с постоянной скоростью [53, 55, 90].

### 2.3. 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:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \sin \alpha - F_{\text{тр}}. \quad (2.15)$$

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

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

Уравнение (2.15) принимает вид:

$$\frac{dv}{dt} = g \sin \alpha - \frac{kv^2}{\rho} - k \cdot g \cos \alpha, \quad (2.16)$$

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 (2.16) к виду:

$$g \sin \alpha - \frac{kv^2}{\rho} - k \cdot g \cos \alpha = 0. \quad (2.17)$$

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

$$y'' = -\frac{g}{v^2} \left(1 + \frac{y'}{k}\right) (1 + y'^2). \quad (2.18)$$

Граничные условия:

$$y(x_0) = y_0, y(x_k) = y_k, \quad (2.19)$$

замыкают полученную задачу.

В силу квазилинейности уравнения (2.18), 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 [65].

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 2.3 и 2.4 представлены траектории кривых, определенных по формуле (2.18) 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 [54, 94].

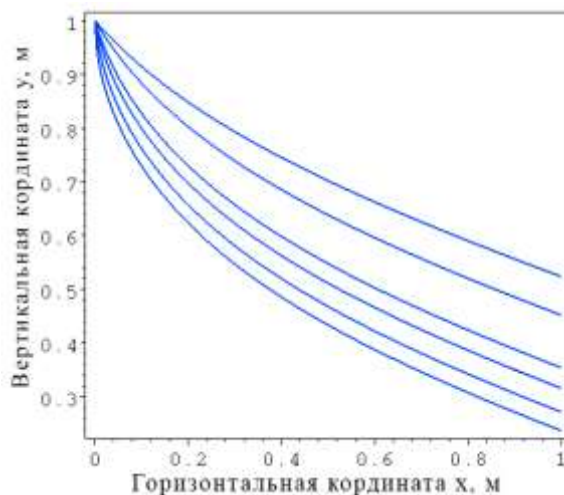


Рисунок 2.3 – Возможные траектории движения при  $v = 3,5$  м/с при различных  $a$

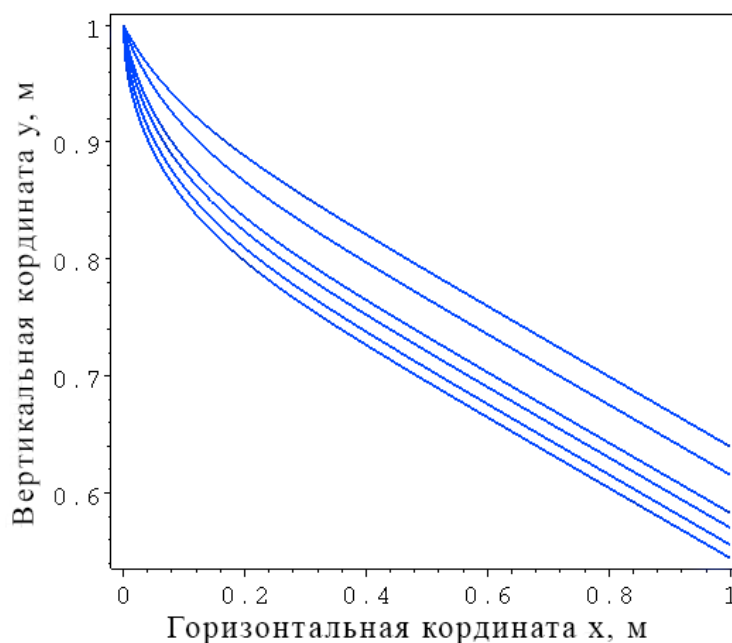


Рисунок 2.4 – Возможные траектории движения при  $v = 2$  м/с при различных  $a$

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 (2.18), (2.19) с помощью указанного выше алгоритма дает численную функцию, аналитическая аппроксимация которой имеет вид:

$$y(x) = \frac{0,00081}{x+0,0125} - 0,643x + 0,0379. \quad (2.20)$$

Выбор аппроксимирующей функции обусловлен сложностью вида численного решения и позволяет получить достаточную точность приближения, относительная погрешности которого не превышает 2%. На рисунке 2.5 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) должен быть использован аналитический вид функции  $y(x)$ .

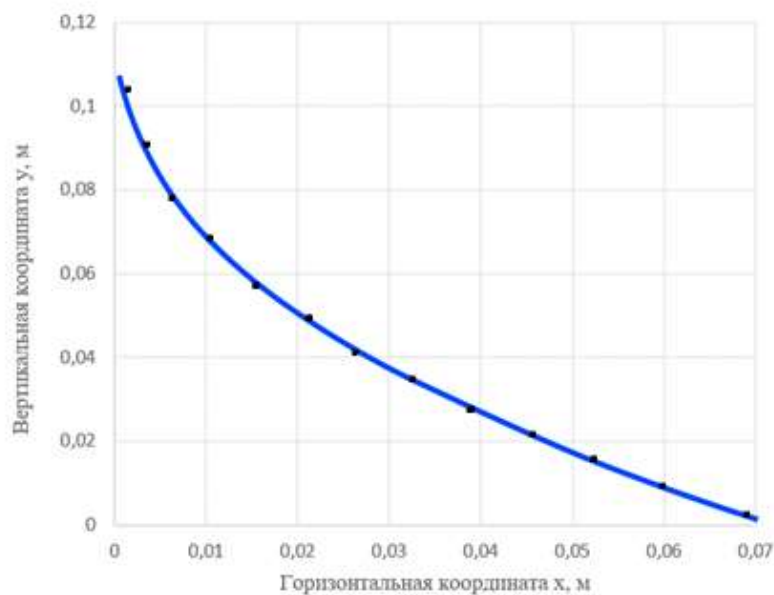


Рисунок 2.5 – Траектория движения (численная и аппроксимированная)

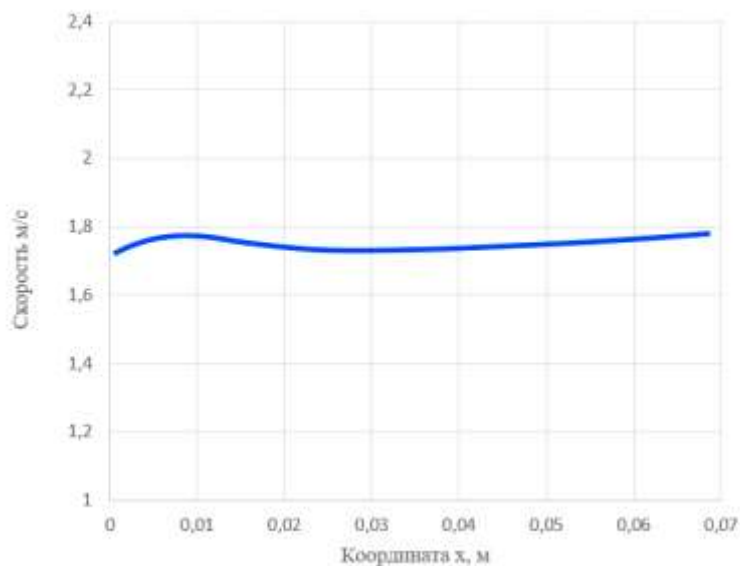


Рисунок 2.6 – Скорость частицы при движении по кривой

С целью проверки эффективности выбранной траектории движения, подставим функцию (2.20) в уравнение (2.12) с соответствующими начальными условиями. Получаем уравнение:

$$\ddot{x} = \frac{\left(g + \frac{0,00162\dot{x}^2}{(0,0125+x)^3}\right)\left(0,343 + \frac{0,000812}{(0,0125+x)^2}\right)}{1 + \left(\frac{0,000812}{(0,0125+x)^2} + 0,643\right)^2}. \quad (2.21)$$

Анализ рисунка 2.6 позволяет представить закон изменения скорости движения частицы по этой траектории в зависимости от времени движения до конечной точки поверхности. Как видно, скорость движения частицы практически не меняется, подтверждая верность полученной траектории движения. Некоторые незначительные колебания скорости вызваны аппроксимирующим приближением численно полученной реальной траектории [90].

#### **2.4. Выводы по главе**

В разделе 2.3 нами было обосновано применение 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 дальнейшем необходимо экспериментально подтвердить форму направляющих элементов высевающих аппаратов для проверки правильности и сходимости результатов.

Использование метода уравнений Лагранжа первого рода позволило нам вывести уравнения движения частиц по шероховатой поверхности с криволинейной направляющей. Численное решение полученных уравнений с соответствующими начальными условиями позволило сделать вывод о значительных изменениях скорости движения частиц. В случае применения криволинейных направляющих в качестве подающих устройств в сошниковую зону сеялки, более предпочтительными являются кривые, по которым частицы движутся с постоянной скоростью, что исключает завалы и способствует более рациональным режимам работы установок. Приведено уравнение таких кривых, и представлена проверка постоянства скорости движения по ним. Указанные криволинейные поверхности могут быть использованы при конструировании высевающих аппаратов сеялок точного высева.

Как показывают расчеты, скорость движения значительно отличается в зависимости от типа поверхностей, которые образованы окружностями, параболой, гиперболами и т. д. При движении семени по таким поверхностям эти изменения скорости имеют неблагоприятные последствия. С одной стороны, уменьшение скорости вызывает заторы при движении семенного потока, что приводит к невозможности работы. С другой, – увеличение скорости движения ведет к уменьшению эффективности сева, что также снижает работоспособность. В связи с этим, наиболее рациональной поверхностью является та, по которой частица или элемент массы будут двигаться с постоянной скоростью.

Анализ закона изменения скорости движения частицы (2.20) по криволинейной траектории позволяет сделать вывод о том, что эффективность выбранной траектории движения частицы совпадает с заданной с точностью 98%, время движения по кривой составит 0,567 с, а скорость возрастает до 2,0 м/с и остается практически неизменной, что и доказывает верность полученной траектории движения. Некоторые незначительные колебания скорости вызваны аппроксимирующим приближением численно полученной реальной траектории, дающей возможность дальнейшего обоснования формы направляющих элементов высевающих аппаратов сеялок точного высева овощных культур.

### **3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОВАКУУМНОГО АППАРАТА ТОЧНОГО ВЫСЕВА**

#### **3.1. Обоснование рациональных параметров совершенствуемого высевающего аппарата: программа проведения экспериментов**

Ведущие отечественные ученые Летошнев М.Н., Чичкин В.П. [145], Горячкин В.П. и другие в качестве основных критериев и условий эффективного функционирования высевающих аппаратов овощных сеялок выделяют научное обоснование технологических схем [116], разработку рабочих элементов и оценку качества работы агрегатов, углубленное изучение рабочей среды, а также свойств растений и материалов, которые участвуют в технологическом процессе [56, 74-78, 87, 97, 100, 140]. Обобщая указанные проблемные моменты, сгруппируем их в основные направления исследований:

- 1) поисковые опыты;
- 2) технологические свойства используемого посевного материала;
- 3) рациональные параметры криволинейных направителей семян высевающего аппарата;
- 4) зависимость криволинейных направителей семян высевающего аппарата от показателей качества работы секции сеялки;
- 5) сравнение показателей работы предложенного криволинейного направителя семян (семяпровода) и серийного направителя семян высевающего аппарата секции сеялки;
- 6) корреляция теоретических рассуждений с экспериментальной частью исследования;
- 7) эффективность усовершенствованной конструкции высевающего аппарата в производственных условиях.



Разработка высевяющего аппарата овощной сеялки для семян лука, образующих связанные группы, лабораторные опыты проводились на кафедре эксплуатации и ремонта машинотракторного парка аграрно-технологического факультета ГОУ «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко».

Хронологические рамки исследований на полях ООО «Агропарк» (Приднестровская Молдавская Республика, 2023 г.) включают 2020-2023 гг.

### **3.2. Проведение поисковых опытов**

Основной целью патентного исследования, проведенного автором, было изыскание аналогов или прототипов высевяющего аппарата для семян овощных культур.

Целью поисковых опытов было выявление качественных показателей работы высевяющего аппарата сеялки точного высева для семян лука. В качестве основных критериев оценки в этом отношении выделили конструкцию направителя семян (семяпровода), форму образующей кривой, распределение семенного материала в семяпроводе [24].

### **3.3. Методика и результаты исследований основных физико-механических свойств семян**

К значимым физико-механическим свойствам семян для проектирования и расчета рабочих органов высевяющих аппаратов овощных сеялок точного высева были отнесены [67-69, 156]:

1. Линейные размеры, мм
2. Абсолютный вес –  $P_{аб}$ , г  
Объемный вес –  $V$ , м<sup>3</sup>/кг
3. Фрикционные свойства семян.
4. Аэродинамические свойства.
5. Упругость семян.

### 3.3.1. Линейные размеры

Длину, ширину и толщину семян определяли при помощи микроскопа МПБ-2 (рис. 3.1, Приложение Б, табл. Б.2).

Принцип измерений. На измерительном столе микроскопа устанавливали единичные образцы семян. Наблюдая в окуляр и вращая окулярное кольцо, устанавливали резкость изображения шкалы сетки в поле зрения окуляра. Результаты экспериментов записывали в таблицы. Согласно научной методике исследования физико-механических свойств семян [116], количество проводимых замеров должно быть равным 100, при трехкратном повторении проводимого опыта.



Рисунок 3.1 – Микроскоп МПБ-2

Выбор семян при проведении исследований проводился на основании ГОСТ 12036-85 [28]. Исследование семян проводилось на основании ГОСТ Р 50779.10-2000 и ГОСТ Р 50779.11-2000 [29, 30].

Проведение исследований предполагало использование общеизвестных статистических выражений и понятий, позволяющих математически охарактеризовать вариационный ряд. К числу таких понятий в первую очередь отнесем коэффициент вариации  $V$ , среднеквадратическое отклонение  $\sigma$ , среднюю ошибку  $S$ , среднюю арифметическую  $X$ , и относительную ошибку выборочной средней  $Sx\%$ . Все указанные элементы

определялись в соответствии с общепринятыми формулами [87, 152], что позволило установить коридор, внутри которого они демонстрируют достаточную надежность и уточняют результаты экспериментальных данных.

**Форма и поверхность семян.** Семена мелкосеменных овощных культур в зависимости от формы подразделяются на четыре группы: шаровидные, пирамидальные (трех- и четырехгранные), плосковыпуклые и плоские. Поверхность семян лука исследуемого сорта «Боско» (рис. 3.2) вдавленная, (пирамидальная) трехгранная, угловатая. Оболочка сморщенная, черного цвета.



Рисунок 3.2 – Семя лука исследуемого сорта «Боско»

Согласно классификации профессора В.П. Чичкина [145] семена лука сорта «Боско» могут быть отнесены к средней группе крупности, при этом их средний эквивалентный размер  $l_s$  равен 2,41 мм.

### *3.3.2. Абсолютный, объемный или натурный вес семян*

Условия выращивания лука и особенности его сорта в значительной степени влияют на показатель абсолютной массы семян [87], которую определяют согласно требованиям ГОСТ Р 54783-2011 [38]. Чистые семена равномерно распределяются на плоской поверхности в форме квадрата, который делят на четыре треугольника по диагонали. В противоположных треугольниках подряд без промежутков и пропусков отсчитывают пробы по 1000 семян. Далее выбранные пробы семян взвешиваются на технических

лабораторных весах ВЛТЭ-210П-В (рис. 3.3, Приложение Б, табл. Б.3) с точностью 0,005 г. Опыт необходимо повторить пять раз, а расхождение между навесками не должно превышать 10 % [116].



Рисунок 3.3 – Весы технические лабораторные ВЛТЭ-210П-В

Поскольку абсолютный вес варьируется в зависимости от влажности семян, возможен перерасчет абсолютного веса на сухое вещество [67].

Под объемной массой семян, или натурой понимается масса одного литра семян, выраженная в граммах. Объемная масса семян является индивидуальной величиной, которая зависит не только от почвенно-климатических различий и агротехники возделывания, но и от особенностей сорта. В отечественной литературе [67] отмечается, что объемный вес семенного материала используется в торговых целях и не имеет значения как признак различия при сортировании или очистке.

### 3.3.3. Фрикционные свойства семян лука сорта «Боско»

Коэффициент трения используется в качестве характеристики фрикционных свойств поверхности семян, возникающих в процессе механического воздействия при посеве и изменяющихся со временем, а также в зависимости от состояния поверхностей, давления, времени контакта, влажности и скорости относительного перемещения.

К основным показателям трения, оценивающим фрикционные свойства поверхности семян различных культур и их частей, относят: коэффициенты трения покоя  $f_n$  и движения  $f_d$ . Оба показателя получают делением силы трения  $T$  на нормальное давление  $N$ , т. е.

$$f = \frac{T}{N} \quad (3.1)$$

В случае покоя учитывают силу трения  $T_1$ , которая возникает в момент сдвига (строгания) образца относительно поверхности трения, в случае движения высчитывают силу трения  $T_2$ , которая установилась в процессе движения образца по поверхности трения. Коэффициент трения  $f$  не является постоянной величиной и зависит от таких параметров, как: влажность материала, чистота, температура окружающей среды, а также влажность воздуха. Именно поэтому исследования необходимо проводить в одинаковых условиях для всех исследуемых семян.

В качестве опытных фрикционных поверхностей нами были выбраны полимерная поверхность, стальная поверхность, листовая резина (рис. 3.4).

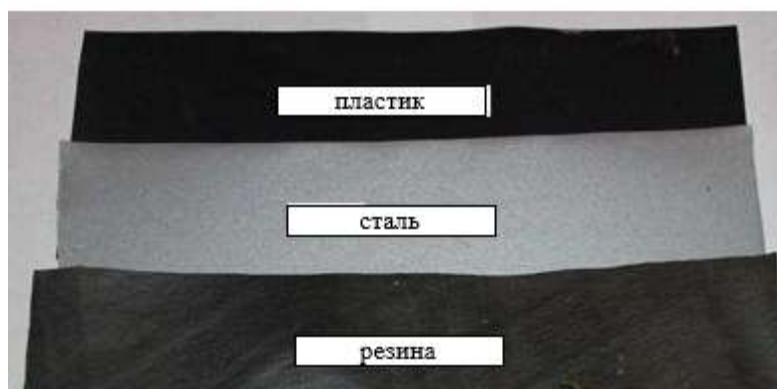


Рисунок 3.4 – Фрикционные поверхности

Опыты по определению коэффициента трения повторяли пять раз по тридцать измерений для каждой поверхности. Полученные результаты позволили вычислить средние значения, среднеквадратическое отклонение, а также интервал варьирования коэффициента трения покоя  $f_{п}$ .

#### 3.3.4. Аэродинамические свойства

Поскольку аэродинамические свойства семян предполагают учет всех существенных факторов, а также их взаимосвязь (скорость, плотность и динамические сопротивления воздуха, форму семян и их столкновения), опыты по изучению этих свойств проводились на порционно-парусном классификаторе Воронежского ГАУ и повторялись трижды (рис. 3.5).

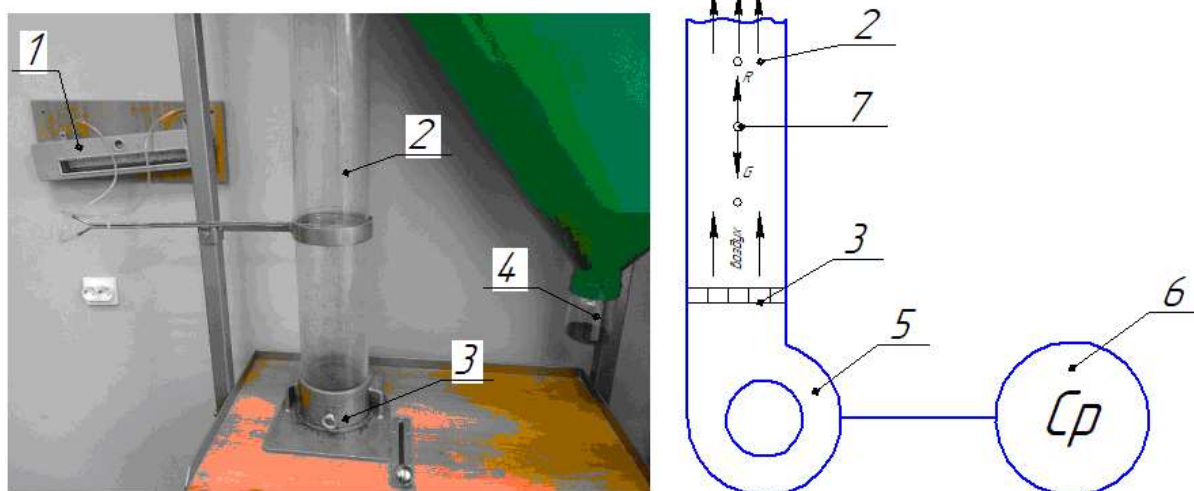


Рисунок 3.5 – Общее устройство порционно-парусного классификатора:

- 1 – спиртовой манометр; 2 – воздушный канал цилиндрического сечения;  
 3 – сетчатая перегородка; 4 – кювет; 5 – вентилятор; 6 – частотный преобразователь;  
 7 – семена (исследуемый материал)

### 3.3.5. Упругость семян

Под упругостью понимается свойство семян восстанавливать после деформации свою первоначальную форму, причем это свойство характеризуется коэффициентом восстановления семени, рассчитываемым соотношением:

$$\varepsilon = \frac{U}{V} \quad (3.2)$$

где  $V$  – скорость движения семени до удара, м/с;  $U$  – скорость движения семени после удара, м/с.

Поскольку семена получают удары о поверхности сошников, семяпроводов и о саму борозду еще до достижения ее дна, при разработке, проектировании и расчете семяраспределительных и семяпроводящих элементов сельскохозяйственных агрегатов и сеялок, а также семяпроводов необходимо особое значение уделять упругости семян. Определяя коэффициент восстановления, мы учитывали взаимодействие семени со специальной отражательной пластиной, – методика, разработанная ВИМом [87].

### 3.4. Исследования подающих устройств семян (семяпроводах) сеялок точного высева

Цель исследований заключалась в сравнении показателей качества работы подающих устройств (семяпроводов) пневматических высевающих аппаратов сеялки точного высева для ленточного посева лука-репки с кривизной поверхности изотонного и вертикального типа [4, 6, 95].

Сравнительные исследования с применением высевающего аппарата проводились на испытательном стенде (рис. 3.6).

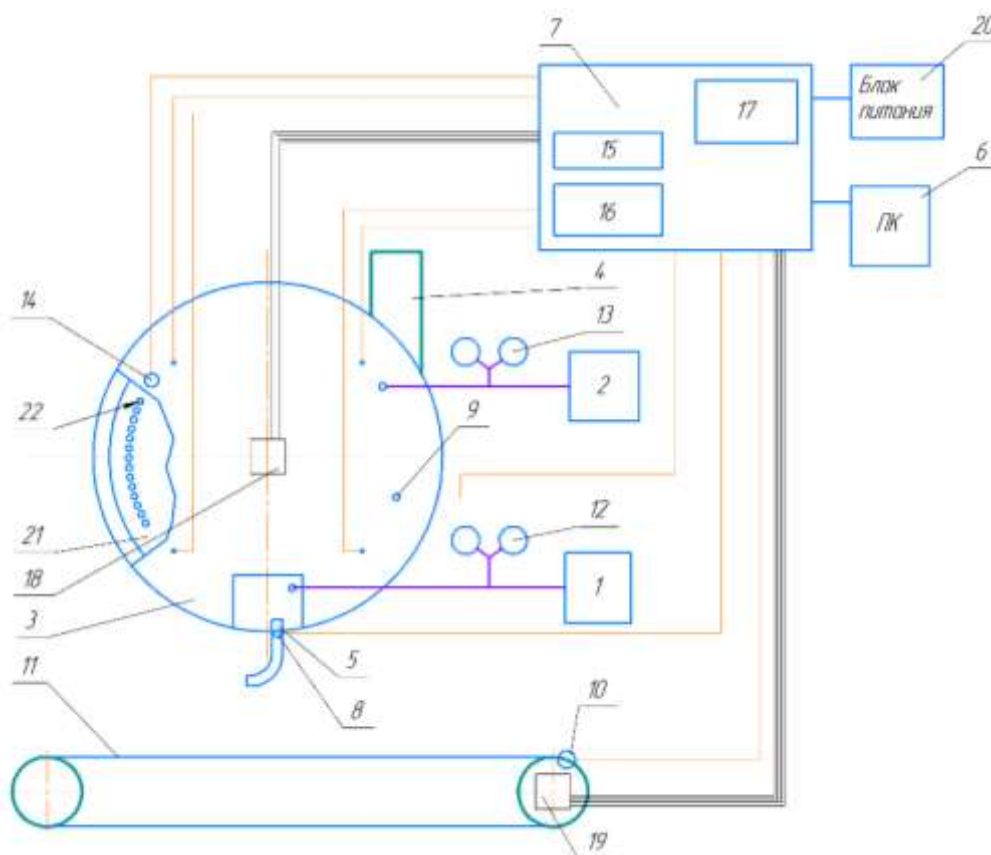


Рисунок 3.6 – Принципиальная схема пневматического высевающего аппарата со сменными семяпроводами: 1 – компрессор; 2 – вакуумный насос; 3 – высевающий аппарат; 4 – семенной бак; 5 – сменный семяпровод; 6 – компьютер; 7 – блок управления; 8 – датчик высева семян (хронограф); 9 – датчик оборотов высевающего 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 – высевающий диск; 22 – отверстие высевающего диска

Принцип работы установки для испытания высевающего аппарата со сменными семяпроводами, основан на свойствах работы пневматических высевающих аппаратов сеялок точного высева [9, 95, 98, 141].

Программное обеспечение установки для испытания высевающего аппарата со сменными семяпроводами создано на языке программирования «C++» (Приложение Г), при разработке использовалась среда «Arduino UNO», это дало возможность корректировать и отлаживать программный код через USB порт ПК, что в значительной степени ускорило процесс создания конечного программного продукта [127].

Электросхема подключалась к универсальному блоку питания JET-A (DC 12-24В) через предохранитель и переключатель режима работы двигателя [73, 98, 141, 144]. Напряжение – 24 В.

Принцип работы установки для испытания высевающего аппарата со сменными семяпроводами следующий. Установка запускается подачей питания на блок управления 7, далее через шаговые двигатели 18 и 19 приводятся во вращение высевающий диск 21 и ленточный транспортер 11 соответственно [114, 127].

Разряжение в высевающем аппарате 3 создается вакуумным насосом 2. Семена, присасываясь в зоне разряжения к отверстиям 22 вращающегося высевающего диска 21, переносятся в зону атмосферного (избыточного) давления, где сбрасываются в сменный семяпровод 5. Удаление «лишних» семян, присосавшихся к отверстиям, производится эксцентриком в заборной камере. Семена укладываются на ленточный транспортер 11 с липкой лентой. Высевающий аппарат 3 оснащен датчиками контроля высева семян 8, 9, 10 и 14. Как только испытуемый высевающий аппарат 3 запустится все измеряемые технические параметры передаются на программируемую плату «Arduino UNO» 16 с интервалом в четыре секунды. Обработанные программируемой платой «Arduino UNO» 16 данные интерпретируются в графическом или в другом удобном виде на персональном компьютере 6.



Норма высева семян регулируется путем изменения скорости вращения высевающего диска 21 за счет шагового двигателя 18.

Одной из особенностей работы шагового двигателя является возможность точной настройки угла поворота ротора, который определяется числом шагов, выполняемых за один оборот. Это позволяет регулировать скорость вращения высевающего диска 21, что в свою очередь позволяет контролировать норму высева семян.

При этом технические параметры процесса высева постоянно передаются на программируемую плату «Arduino UNO» 16. Все полученные технические параметры записываются на диске персонального компьютера 6, формируя банк данных, к которому можно в любое время обратиться для проверки результатов испытаний конкретного сменного семяпровода. Новые элементы замеров, контроля и передачи данных: датчики, микропроцессорный контролер, ПК позволяют в значительной степени снизить погрешность испытаний. Таким образом, благодаря предлагаемой установке проведение лабораторных исследований пневматического высевающего аппарата со сменными семяпроводами можно значительно сократить расходы и время, а также сформировать архив данных с полной и исчерпывающей информацией о состоянии и динамике испытуемого высевающего аппарата [73, 127].

В целом, установка для испытания высевающего аппарата со сменными семянаправителями представляет собой комплексное техническое решение, которое позволяет осуществлять контроль и регулирование процесса высева семян на полях с высокой точностью и эффективностью.

Использование в предлагаемой установке новых элементов-датчиков, микропроцессорного контролера и персонального компьютера, минимизирует существующие недостатки классических методов лабораторных испытаний пневматических высевающих аппаратов, которые как правило связаны с высокой погрешностью и фрагментарностью информации о процессе высева.

Кроме того, использование программного обеспечения и современной электроники позволяет существенно ускорить процесс обработки данных и снизить трудозатраты на проведение испытаний, что является важным фактором в условиях современного сельского хозяйства.

Лабораторные исследования проводились в соответствии с требованиями ГОСТ «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные и посадочные. Показатели назначения и надежности. Общие требования», а также согласно методике проведения сравнительных исследований [9, 29-31, 36].

Исследования проводились на разработанной экспериментальной установке (рис. 3.7, Приложение Е) [111].

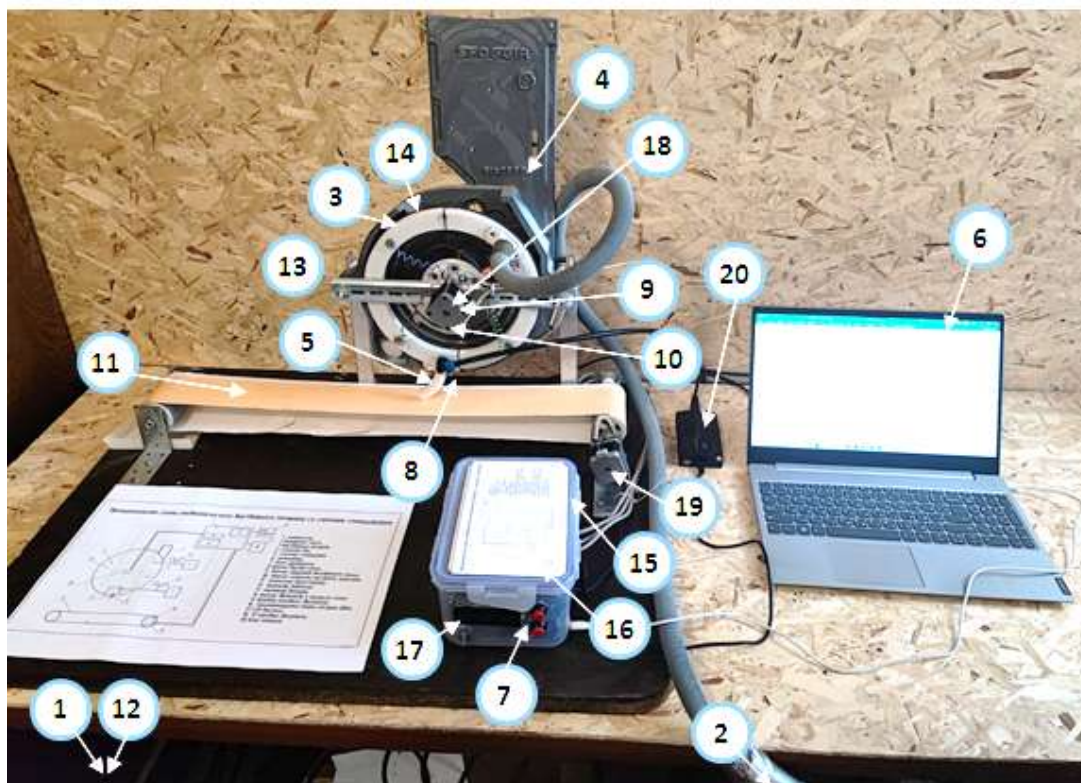


Рисунок 3.7 – Испытательный стенд для проведения исследований пневматического высевающего аппарата: 1 – компрессор; 2 – вакуумный насос; 3 – высевающий аппарат; 4 – семенной бак; 5 – сменный семяпровод; 6 – компьютер; 7 – блок управления; 8 – датчик высева семян (хронограф); 9 – датчик оборотов высевающего 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

Установка пневматического высевающего аппарата 3 для ленточного посева семян лука предполагает возвышение на 1–2 см уровня нижней кромки его семяпровода по отношению к ленточному транспортеру 11, на котором уложена липкая лента с учетными квадратными ячейками размером 2х2 см. Ленточный транспортер 11 приводится в движение электроприводом 19. Для вращения высевающего 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 разряжения и избыточного давления использовались компрессор 1 и вакуумный насос 2 соответственно. Общее управление установкой осуществляется с центрального пульта 7.

Опыт проводился в следующей последовательности: на высевающем аппарате устанавливался один из исследуемых подающих устройств семян лука, затем семена засыпают в семенной бункер 4 и приводят в движение высевающий диск. Семена из семенной камеры присасываются к диску и перемещаются в зону сброса (атмосферного, избыточного давления), откуда подаются в семяпровод, и далее на контрольную поверхность, размеченную квадратными ячейками размером 2х2 см [4, 111].

Для определения скорости перемещения семени по семяпроводу использовался хронограф (рис. 3.8). 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.

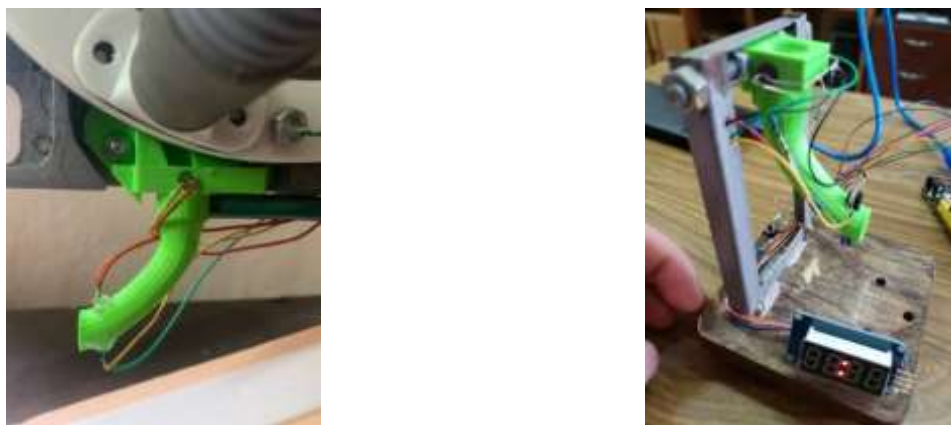


Рисунок 3.8 - Датчик высева семян (хронограф)

Сравниваемые подающие устройства семян криволинейного и вертикального типа представлены на рисунке 3.9.

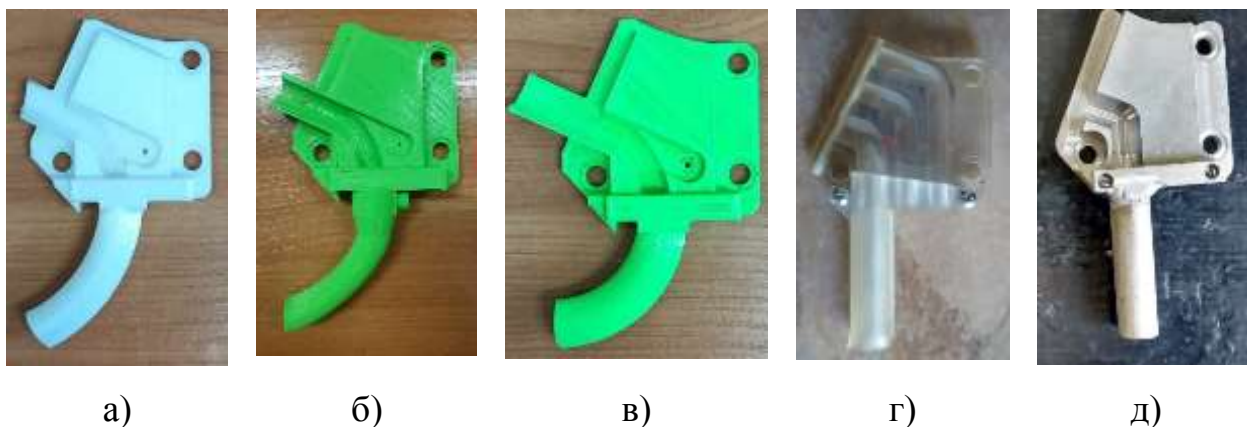


Рисунок 3.9 – Виды семяпроводов: а) с криволинейной направляющей в виде клотоиды; б) с криволинейной направляющей; в) с криволинейной направляющей в виде гиперболы; г) с вертикальной направляющей из пластика; д) с вертикальной направляющей из металла

В качестве критерия качества посева в соответствии с СТО АИСТ 5.6-2018 [135] и методикой Н.И. Любушко приняты равномерность распределения семян и процент квадратных ячеек с числом семян, равным 1 и 2 [25, 34, 39, 162].

Чтобы оценить посредством коэффициента вариации равномерность распределения семян по площади посева необходимо выбрать квадратные ячейки с равным числом семян в количестве  $n_{кв}$  [63, 150].

Частоту появления ячеек  $P_1$ ; определяют по выражению [4]:

$$P_i = \frac{n_i}{N_{\text{кв}}}, \quad (3.3)$$

где  $N_{\text{кв}}$  – число учетных ячеек (300 штук).

Среднее число семян в квадратных ячейках можно найти по формуле [24]:

$$m_{\text{ср}}^c = \frac{n_{\text{кв}}}{N}, \quad (3.4)$$

Опыт проводили троекратно для каждого типа распределителя. Количество учетных квадратных ячеек в каждом повторении составляло 100. Опыты проводились исходя из нормы высева 0,8–1,0 млн шт./га, скорости движения сеялки в пределах 0,83–2,78 м/с.

### **3.5. Оценка показателей качества выполнения технологического процесса пневматических высевающих аппаратов сеялок**

Для исследований процесса высева семян в стационарных (стендовых) условиях нами была предложена и зарегистрирована (патент № 538, Приложение Е) [109] универсальная лабораторная установка (рис. 3.10) дающая возможность получить достоверные показатели работы высевающих аппаратов различного типа при имитации реальных условий работы в поле, которая позволяет повысить производительность процесса исследований, а также упростить ее конструкцию и снизить габариты и материалоемкость.

Работа установки осуществляется следующим образом. Перед началом испытаний подготавливают лабораторную установку, а именно: выравнивают почвенную поверхность 17 в желобе 16, перемещением по салазкам 20 устанавливают посевную секцию 8 в крайнее положение относительно продольной панели 2, заполняют бункер 12 посевной секции 8 высеваемым материалом. Запускают электропривод гидронасоса 22 который создает в подающей масляной магистрали рабочее давление, блоком управления 7, дросселем 30 и синхронизатором 31 настраивают ходовой привод 6 на требуемые обороты вращения.

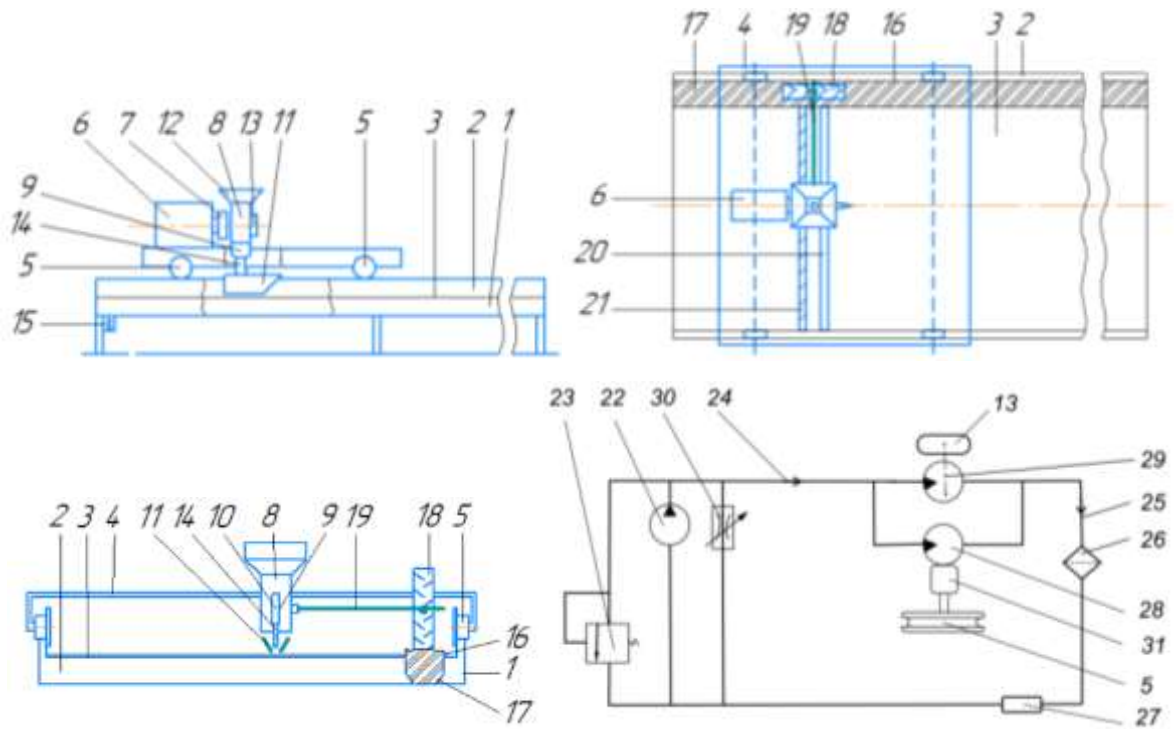


Рисунок 3.10 – Схема установки для исследования работы пневматических высевающих аппаратов: 1 – платформа; 2 – продольная панель; 3 – липкая лента, имитирующей поверхность поля; 4 – тележка; 5 – опорные колеса; 6 – ходовой привод; 7 – управляющий блок; 8 – посевная секция; 9 – высевающий аппарат; 10 – высевающий диск; 11 – сошник; 12 – бункер семян; 13 – турбовентилятор; 14 – семяпровод; 15 – пульт управления; 16 – желоб; 17 – слой почвы; 18 – ведомое колесо; 19 – телескопический гибкий приводной вал; 20 – направляющие салазки; 21 – винтовой механизм; 22 – гидронасос с электроприводом; 23 – управляющий клапан, 24, 25 – масляные магистрали; 26 – фильтр; 27 – расширительный бачок; 28, 29 – гидромоторы; 30 – дроссель; 31 – синхронизатор

Управляющим клапаном 23 запускают гидропривод, при этом опорные колеса 5 перемещают несущую тележку 4 по платформе 1 вдоль липкой ленты 3, при этом ведомое колесо 18 опираясь на почвенный слой 17 размещенный в желобе 16 перекачивается по ней и посредством гибкого приводного вала 19 приводит во вращение высевающий диск 10, что позволяет синхронизировать скорость его вращения со скоростью поступательного движения посевной секции относительно липкой ленты, имитируя тем самым работу высевающего аппарата в условиях максимально приближенных к полевым [109].

В тоже время, параллельно с высевом семян, комплектом регистрирующей аппаратуры фиксируют и осуществляют съем технологических показателей качества выполняемого процесса, информация о котором передается в компьютер для обработки по специальной программе и распечатки полученных результатов (на рис. не показано).

По достижению тележкой 4 с посевной секцией 8 конца панели 2 (липкой ленты 3) гидромотор 28 синхронизатором 31 реверсируется и приводит колеса 5 на обратное вращение возвращая несущую тележку 4 в исходное положение, при этом благодаря обгонной муфте обратного хода ведомое колесо 18 не препятствует этому перемещению. В исходном положении винтовым механизмом 21 посевную секцию 8 сдвигают по салазкам на величину, равную междурядью при ленточном посеве (например, на 15 см) и проводят следующий испытательный прогон параллельно предыдущему, тем самым моделируют ленточный посев с шагом "А", равным ширине ленты посева. По окончании второго прогона несущая тележка 4 также возвращается в исходное положение. Цикл испытательных прогонов повторяется до заполнения высеянным материалом всей ширины посевной ленты.

Количество прогонов при испытании высевающего аппарата выполняют в зависимости от ширины липкой ленты и величины междурядья посева. Так, например, при ширине платформы 1 м, установленной ширины междурядья 15 см и длины липкой ленты 5 м, проводят 6 испытательных прогонов, что составляет до 30 метров и практически также в шесть раз увеличивает суммарную длину гона и продолжительность фиксации показателей технологического процесса, что также в шестеро уменьшает количество повторности проведения опыта.

Использование испытательной установки позволяет получить показатели качества работы высевающего аппарата пневматической сеялки при имитации реальных условий, возникающих при работе в поле, подготовленном под посев. Проведенные на данном стенде

экспериментальные исследования подтвердили рациональную конструкцию заявленного технического решения и показали его работоспособность и высокую имитационную способность приближая экспериментальные исследования к действительным полевым условиям [51, 109].

### **3.6. Методика планирования многофакторного эксперимента**

Эффективное планирование эксперимента невозможно без адекватного выбора числа и условий проведения опытов (физических или расчетных), которые будут удовлетворять критериям необходимости и достаточности для решения поставленных задач с заданной точностью [52].

В рамках написания диссертационной работы, методом планирования многофакторного эксперимента осуществляли исследование разработанного высевающего аппарата пневматической сеялки точного высева, снабженного устройством подачи семян с криволинейными направляющими, образующих связанные группы. Многофакторный эксперимент позволяет определить оптимальные значения параметров, влияющих на процесс высева аппаратом.

Исследования проводились согласно ГОСТ Р 50779.21-2004 и ГОСТ 34100.3.2-2017 [34] при рассмотрении взаимосвязей, исследуемую величину выделяли как независимую, а другие как зависимые.

Корреляционный анализ является важным инструментом в научных исследованиях, особенно при изучении воздействия различных факторов на равномерность высева семян. Равномерность высева семян играет ключевую роль в сельском хозяйстве и представляет собой меру однородности распределения семян на посевных площадях. Для проведения корреляционного анализа влияния факторов на равномерность высева семян было использовано множество данных, полученных из опытного поля. В качестве факторов, в соответствии с рекомендациями [26-28, 34] были рассмотрены параметры, представленные в таблице 3.1.



Таблица 3.1 – Значения параметров для корреляционного анализа

| Факторы  | Уровни фактора |       |      | Интервал варьирования, ε |
|--|----------------|-------|------|--------------------------|
|  | 0              | -1    | +1   |                          |
| <i>X1</i> – высота падения семян, мм                             | 100            | 50    | 150  | 50                       |
| <i>X2</i> – скорость воздушного потока в канале семяпровода, м/с | 1,9            | 1,6   | 2,2  | 0,3                      |
| <i>X3</i> – скорость движения высевашающего аппарата, м/с        | 1,67           | 1,11  | 2,22 | 0,56                     |
| <i>X4</i> – скорость витания протравленных семян, м/с            | 5,0            | 4,5   | 5,5  | 0,5                      |
| <i>X5</i> – коэффициента трения по полимерной поверхности        | 0,365          | 0,35  | 0,38 | 0,015                    |
| <i>X6</i> – влажность почвы, %                                   | 15,25          | 14,8  | 15,7 | 0,45                     |
| <i>X7</i> – влажность семян, %                                   | 10,4           | 10    | 10,8 | 0,4                      |
| <i>X8</i> – абсолютная масса семян, г                            | 3,883          | 3,686 | 4,08 | 0,197                    |

Таблица 3.2 – Опытные данные влияния исследуемых факторов на равномерность посева семян

| Относит<br>равномерн | <i>X1</i> | <i>X2</i> | <i>X3</i> | <i>X4</i> | <i>X5</i> | <i>X6</i> | <i>X7</i> | <i>X8</i> |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0,120414             | 60        | 1,7       | 2,2       | 4,8       | 0,35      | 15        | 10,2      | 3,8       |
| -0,02482             | 54        | 1,6       | 2,05      | 4,6       | 0,36      | 14,8      | 10,5      | 3,68      |
| 0,14636              | 62        | 1,8       | 2,21      | 4,9       | 0,38      | 14,9      | 10,4      | 3,74      |
| 0,222668             | 69        | 2         | 2,22      | 5         | 0,36      | 15,2      | 10,8      | 3,91      |
| 0,275658             | 84        | 2,2       | 2,05      | 5,3       | 0,36      | 15,6      | 10,6      | 3,83      |
| 0,34962              | 92        | 2,1       | 2,04      | 4,6       | 0,35      | 15,6      | 10,4      | 3,79      |
| -0,0554              | 96        | 1,7       | 1,26      | 4,8       | 0,37      | 15,4      | 10,1      | 4         |
| 0,542098             | 101       | 1,9       | 2,22      | 5,2       | 0,36      | 15,3      | 10,3      | 3,98      |
| 0,746794             | 122       | 1,8       | 2,21      | 4,9       | 0,38      | 15,1      | 10,7      | 3,98      |
| 0,996214             | 147       | 2         | 2,21      | 5,4       | 0,35      | 14,9      | 10,2      | 3,79      |
| 0,434019             | 97        | 2,2       | 2,1       | 4,8       | 0,38      | 15,1      | 10,6      | 3,82      |
| -0,19634             | 83        | 2,1       | 1,24      | 4,9       | 0,36      | 15,6      | 10,4      | 3,86      |
| 0,002018             | 76        | 2         | 1,71      | 5,5       | 0,36      | 15,2      | 10,8      | 3,91      |
| 0,219481             | 91        | 1,6       | 1,83      | 4,7       | 0,37      | 14,8      | 10,2      | 3,99      |

Предварительные эксперименты по выявлению степени влияния факторов на равномерность высева семян завершились следующими результатами (таблица 3.2.).

Предварительный эксперимент и последующий корреляционный анализ, результаты которого представлены на рисунке 3.11, выявили необходимость включения в модель влияния технологических параметров [61] на равномерность высева семян таких параметров высева, как  $X1$ ,  $X3$ .

| Корреляции (Таблица корреляц)<br>Отмеченные корреляции значимы на уровне $p < ,05000$<br>N=14 (Построчное удаление ПД) |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Переменная   | Средние | Ст.откл. | У        | X1       | X2       | X3       | X4       | X5       | X6       | X7       | X8       |
| У  | 0,2699  | 0,3265   | 1,00000  | 0,80477  | 0,20028  | 0,64478  | 0,31734  | 0,00056  | -0,21792 | -0,01365 | 0,08322  |
| X1   | 88,1428 | 25,0195  | 0,80477  | 1,00000  | 0,24367  | 0,06518  | 0,34316  | 0,02639  | 0,05050  | -0,20203 | 0,36078  |
| X2   | 1,9071  | 0,2092   | 0,20028  | 0,24367  | 1,00000  | 0,02180  | 0,42745  | -0,14805 | 0,63934  | 0,43855  | -0,12101 |
| X3   | 1,9678  | 0,3407   | 0,64478  | 0,06518  | 0,02180  | 1,00000  | 0,09087  | -0,03323 | -0,43212 | 0,23569  | -0,32490 |
| X4   | 4,9571  | 0,2874   | 0,31734  | 0,34316  | 0,42745  | 0,09087  | 1,00000  | -0,21908 | 0,13638  | 0,27293  | 0,17657  |
| X5   | 0,3635  | 0,0108   | 0,00056  | 0,02639  | -0,14805 | -0,03323 | -0,21908 | 1,00000  | -0,24453 | 0,21098  | 0,26423  |
| X6   | 15,1785 | 0,2887   | -0,21792 | 0,05050  | 0,63934  | -0,43212 | 0,13638  | -0,24453 | 1,00000  | 0,13011  | 0,21571  |
| X7   | 10,4428 | 0,2311   | -0,01365 | -0,20203 | 0,43855  | 0,23569  | 0,27293  | 0,21098  | 0,13011  | 1,00000  | -0,03856 |
| X8   | 3,8628  | 0,1011   | 0,08322  | 0,36078  | -0,12101 | -0,32490 | 0,17657  | 0,26423  | 0,21571  | -0,03856 | 1,00000  |

Рисунок 3.11 – Данные корреляционного анализа

Результаты анализа подтвердили мультиколлинеарную связь между параметрами  $X2$  и  $X6$ .

Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком представлена на рисунках 3.12-3.19.

Поскольку теория эксперимента предполагает исключение из модели менее значимого параметра [96], параметр  $X2$  необходимо исключить из модели. Также в модели можно пренебречь параметрами  $X4$ ,  $X5$ ,  $X6$ ,  $X7$ ,  $X8$  вследствие низкого коэффициента корреляции. Таким образом, установлено, что только факторы  $X1$ ,  $X3$ : высота падения семян, мм, и скорость движения высевающего аппарата, м/с соответственно важны в математической модели при исследовании равномерности высева семян.

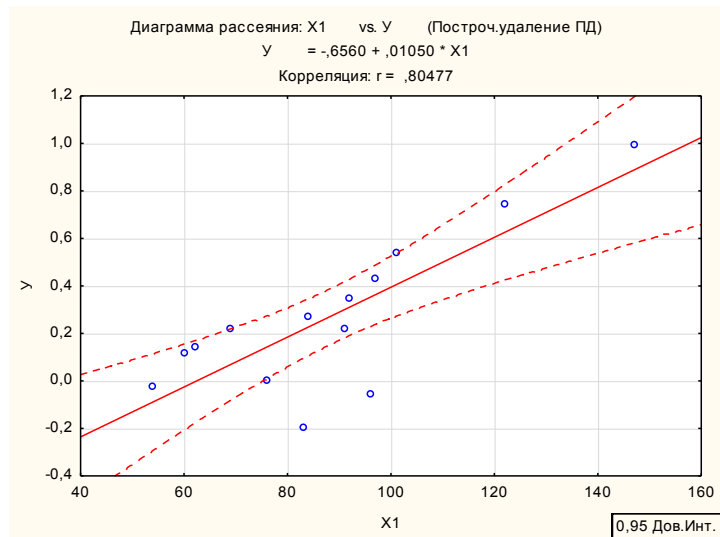


Рисунок 3.12 – Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком

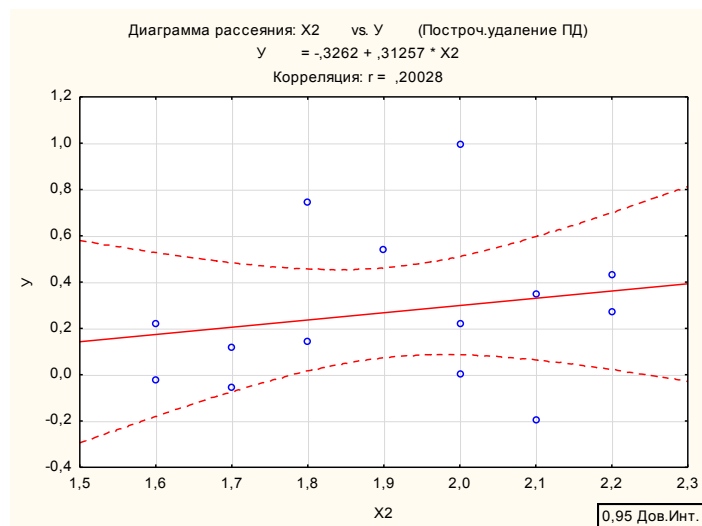


Рисунок 3.13 – Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком

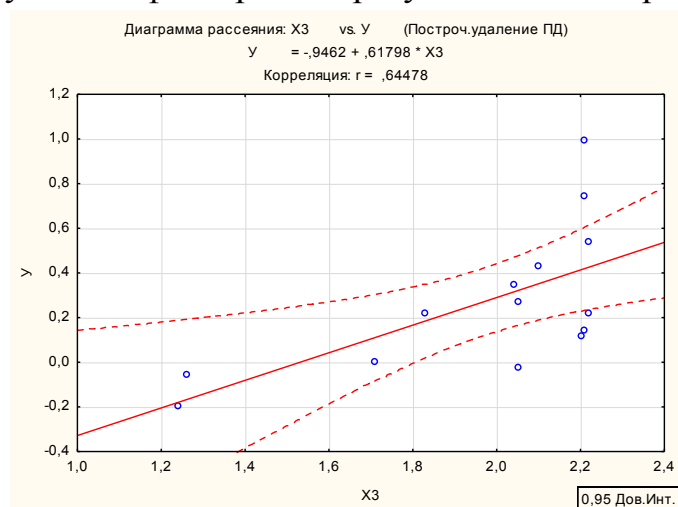


Рисунок 3.14 – Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком

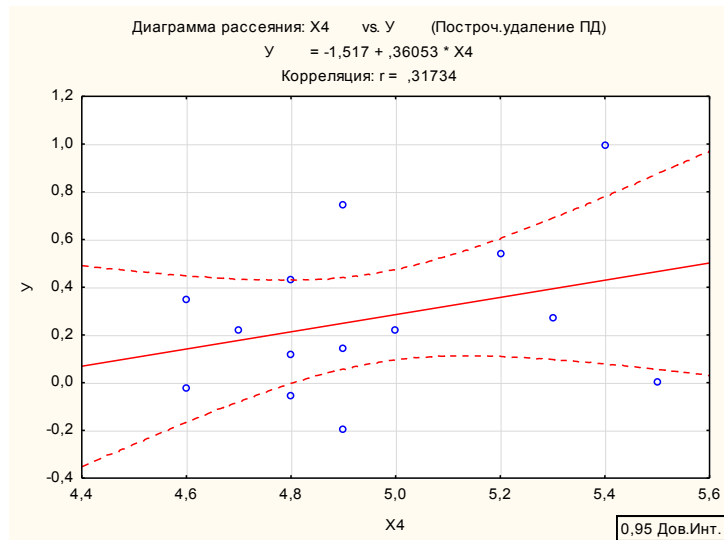


Рисунок 3.15 – Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком

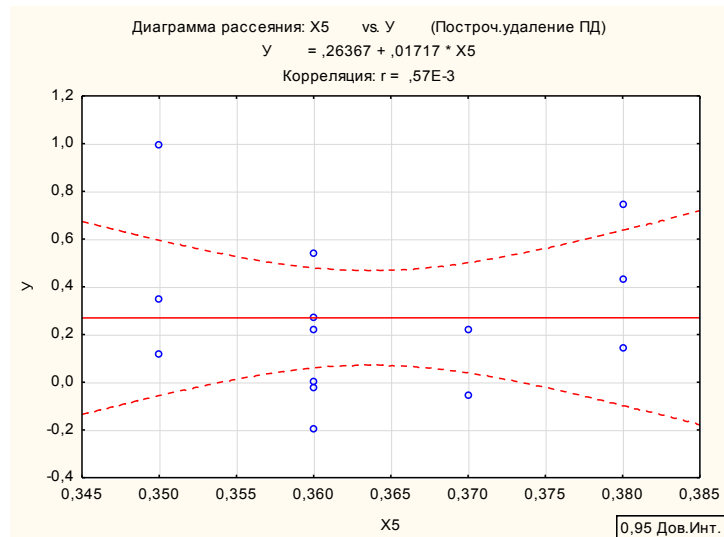


Рисунок 3.16 – Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком

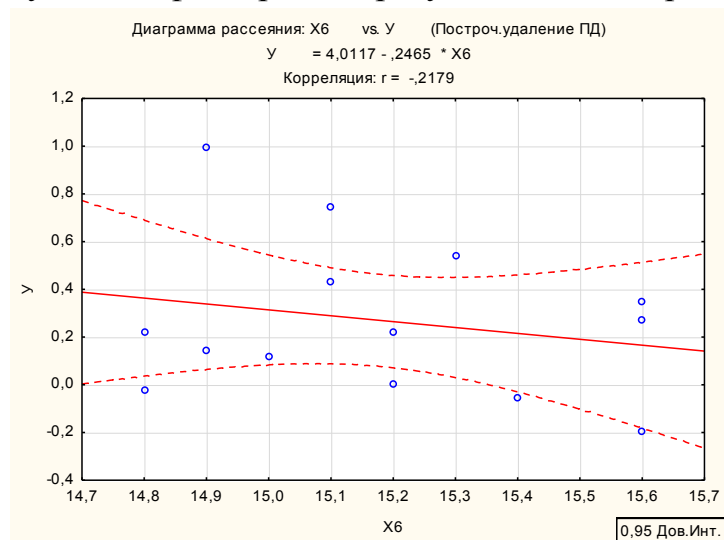


Рисунок 3.17 – Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком

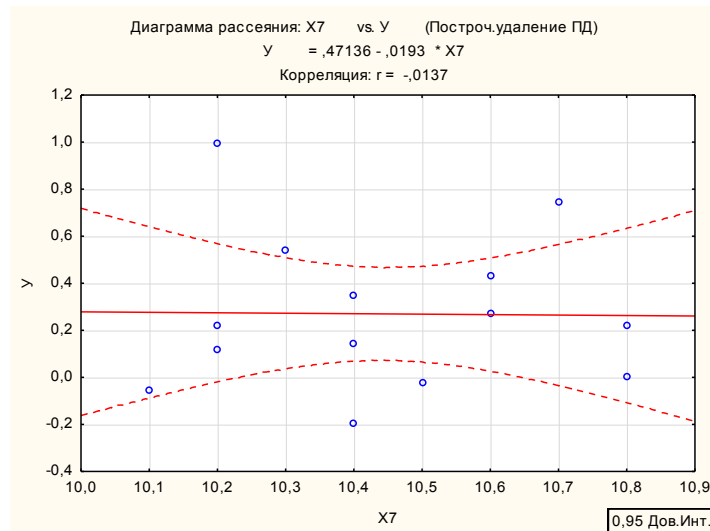


Рисунок 3.18 – Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком

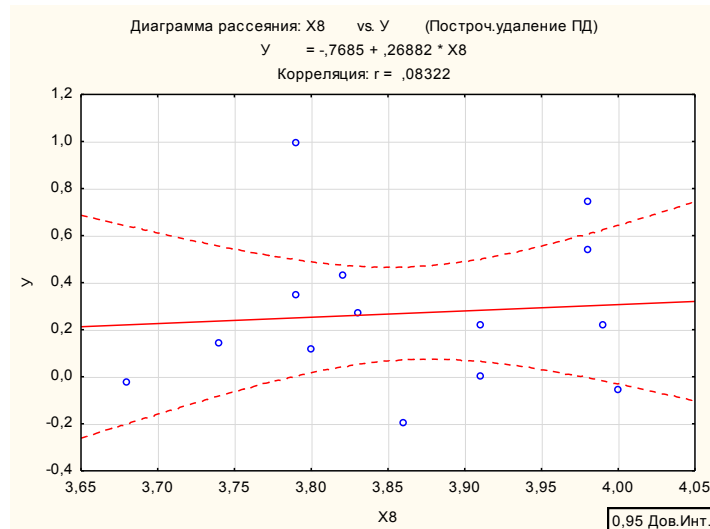


Рисунок 3.19 – Графическая интерпретация корреляции между исследуемыми факторами и результативным признаком

Согласно ГОСТ [28-30] для семян лука, равномерным считается высев семян 1026500 шт/га или расстояние между семенами на расстоянии 48,7 мм. отклонение от данной величины в большую или меньшую сторону считается неравномерным высевом.

Для оценки равномерности высева используем относительную шкалу, где максимальная равномерность высева, соответствующая 48,7 мм, будет равна 1. Отклонения от данного параметра будем фиксировать с шагом 5%. Таким образом, таблица 3.3 определяет соответствия между значениями относительной равномерности и расстоянием между семенами при высеве.

Таблица 3.3 – Соответствие между значениями относительной равномерности и расстоянием между семенами при высеве

| Значение желательности | Расстояние между семенами |                |
|------------------------|---------------------------|----------------|
|                        | Отклонение «-»            | Отклонение «+» |
| 1                      | 48,7                      | 48,7           |
| 0,95                   | 46,265                    | 51,135         |
| 0,8                    | 43,83                     | 53,57          |
| 0,75                   | 41,395                    | 56,005         |
| 0,7                    | 38,96                     | 58,44          |
| 0,65                   | 36,525                    | 60,875         |
| 0,6                    | 34,09                     | 63,31          |
| 0,55                   | 31,655                    | 65,745         |
| 0,5                    | 29,22                     | 68,18          |
| 0,45                   | 26,785                    | 70,615         |
| 0,4                    | 24,35                     | 73,05          |

Исследование влияния скорости движения высевашеющего органа и высоты падения семян на равномерность посева проводилось в рамках многофакторного эксперимента по центральному композиционному плану [60].

В качестве функции отклика приняли относительную равномерность посева семян, а основными факторами высоту падения семян  $X1$  и скорость движения высевашеющего органа  $X3$ .

В таблице 3.4 представлены план центрального композиционного плана и результаты многофакторного эксперимента.

Характеристики плана эксперимента выбирались из условия получения равномерного посева семян. В результате были выбраны следующие области варьирования независимых переменных  $X1$  и  $X3$ :

1,111 – 2,222 м/с для скорости движения высевашеющего аппарата,  $X1$ ;

50 – 150 мм для высоты падения семян,  $X3$ .

Таблица 3.4 – План центрального композиционного плана и результаты многофакторного эксперимента

| относительная<br>равномерность высева<br>семян, с | высота падения семян<br>мм, $X1$ | скорость движения<br>высевающего<br>аппарата м/с, $X3$ |
|---|----------------------------------|--|
| 0,905   | 50                               | 1,11   |
| 0,915   | 150                              | 1,11   |
| 1   | 2                                | 3  |
| 0,905   | 50                               | 2,22   |
| 0,915   | 150                              | 2,22   |
| 0,9486  | 100                              | 0,833  |
| 0,9486  | 100                              | 2,45   |
| 0,9245  | 29,50                            | 1,67   |
| 0,9345  | 170,50                           | 1,67   |
| 0,995   | 100                              | 1,67   |
| 0,995   | 100                              | 1,67   |

Таким образом анализ теоретических исследований точности высева разработанным высевающим аппаратом и результатов соответствующих экспериментальных исследований позволил выделить два основных фактора: скорость движения высевающего аппарата  $X1$ , высота падения семян  $X3$  [45].

Исследование области оптимума проводилось на основе методики насыщенного плана второго порядка (плана Рехтшафнера) для многофакторного эксперимента, параметры которого приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Факторы, их уровни и интервалы варьирования

| Факторы   | Уровни фактора |      |      | Интервал<br>варьирования, ε |
|---|----------------|------|------|-----------------------------|
|   | 0              | -1   | +1   |                             |
| $X1$ – высота падения семян, мм                       | 100            | 50   | 150  | 50                          |
| $X3$ – скорость движения высевающего<br>аппарата, м/с | 1,66           | 1,11 | 2,22 | 0,55                        |

Поскольку многофакторный план Рехтшафнера позволяет значительно сократить количество опытов, по сравнению с однофакторным экспериментом, где последовательно изучается действие каждого фактора, именно он был выбран и принят за основу в нашем исследовании. Немаловажным преимуществом плана Рехтшафнера является возможность увеличения объёма информации за счёт анализа взаимодействия и корреляции факторов между собой. Кроме того, данная методика дает возможности для обобщения материалов исследований в виде математической модели и их статистической оценки.

### **3.7. Выводы по главе**

Разработана методика сравнения показателей качества работы подающих устройств (семяпроводов) пневматических высевающих аппаратов сеялки точного высева для ленточного посева лука-репки.

Результат многофакторного эксперимента позволил выделить два основных фактора влияющих на качество распределения семян в рядке: скорость движения высевающего аппарата  $X1$ , высота падения семян  $X3$ .

Данная методика дает возможности для обобщения материалов исследований в виде математической модели и их статистической оценки.



## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4.1. Результаты исследований основных физико-механических свойств семян

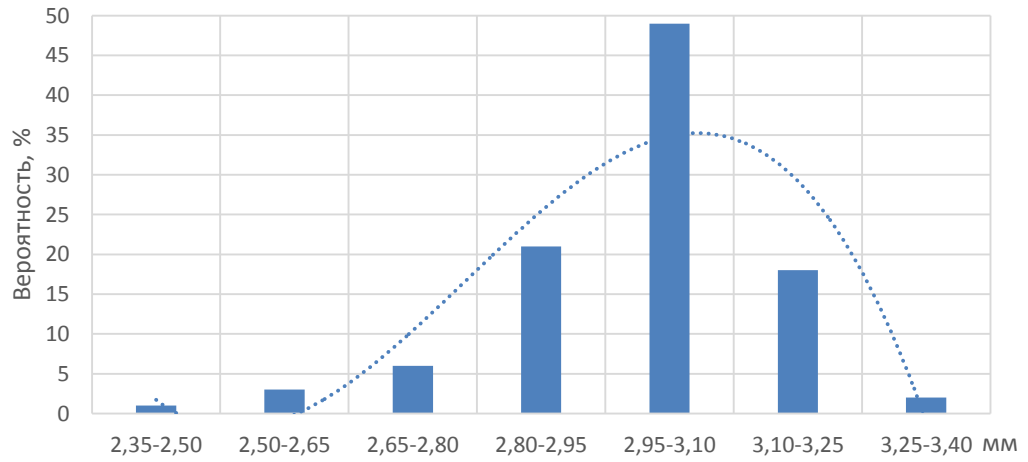
#### 4.1.1. Линейные размеры

Исследования основных физико-механических свойств семян лука сорта «Боско» проводилось согласно методике при помощи микроскопа МПБ-2. Были измерены ширина, длина и толщина семян, далее были построены вариационные кривые зависимостей указанных размеров от соотношения их частоты встречи (Приложение Б, табл. Б.4), результаты математической обработки представлены в приложении Б, таблице Б.5.

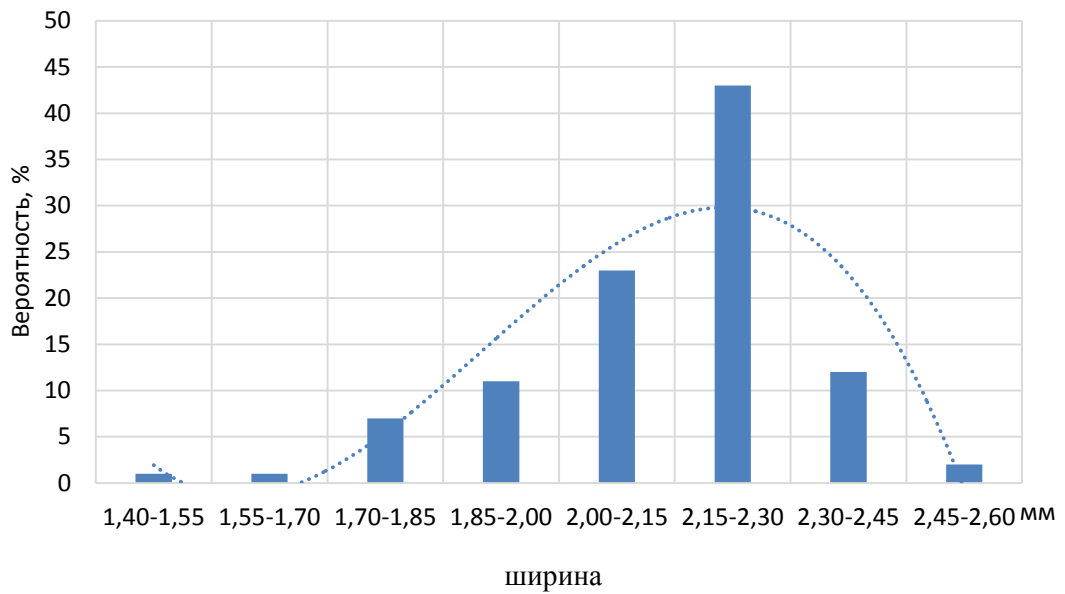
Вариационные кривые распределения 100 семян по длине, толщине и ширине, исходя из размерных характеристик, представлены на рисунке 4.1.

В ходе анализа результатов был определен средние значения размеров семян лука сорта «Боско» (при влажности близкой к кондиционной  $w=10,4\%$ ), которые варьируются в пределах: длина 2,98...3,06 мм, ширина 2,20...2,31 мм; толщина 1,98... 2,08 мм. В отдельных случаях размеры достигали максимальных значений: длина – 3,31 мм; ширина – 2,56 мм; толщина – 2,29 мм.

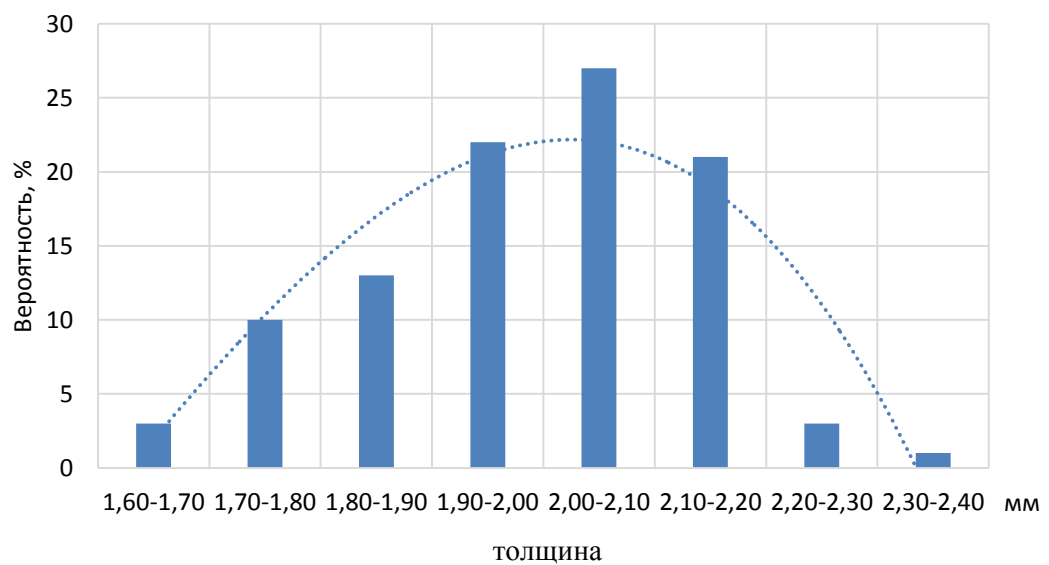
Согласно классификации В.П. Чичкина [145] семена лука сорта «Боско» могут быть отнесены к средней группе крупности, их средний эквивалентный размер  $l_s$  составляет 2,41 мм [87].



а)



б)



в)

Рисунок 4.1 – Вариационные кривые распределения семян лука сорта «Боско»: а) по длине; б) по ширине; в) по толщине

#### 4.1.2. Абсолютный, объемный или натуральный вес семян

В таблице Б.6 (приложение Б) представлены результаты исследований массовой характеристики семян лука сорта «Боско», проведенных в рамках настоящего исследования.

Вариационные кривые зависимости абсолютной и объемной массы семян лука сорта «Боско» (при влажности близкой к кондиционной  $w=10,4\%$ ) от соотношения их частоты встречи представлены на рисунках 4.2, 4.3, результаты математической обработки представлены в приложении Б, таблице Б.6.

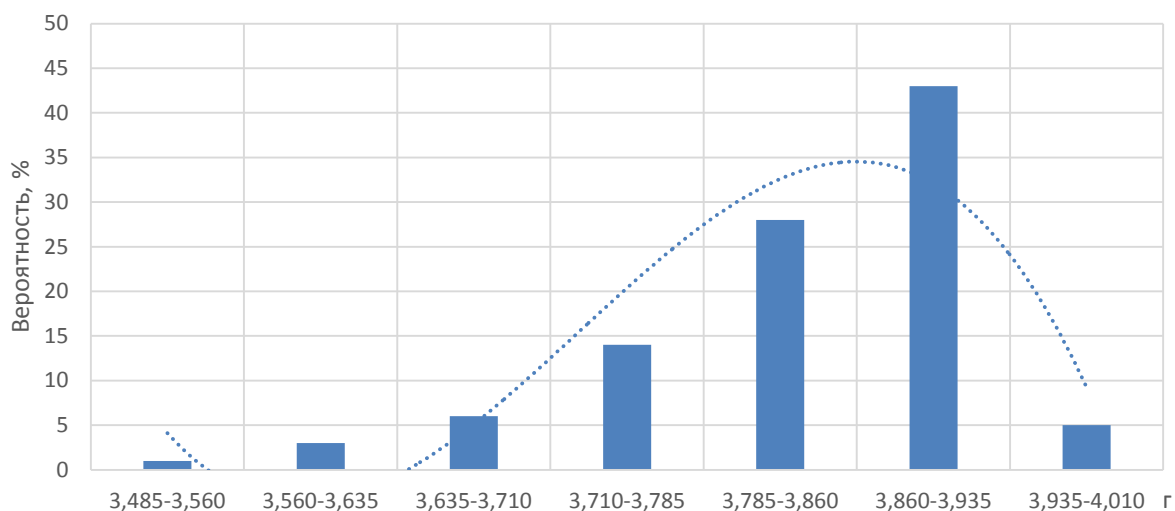


Рисунок 4.2 – Абсолютная массовая характеристика семян лука сорта «Боско»: кривая распределения

Данные исследования позволяют сделать следующие утверждения:

Абсолютная масса семян сорта «Боско» составляет 3,883 г. Это означает, что средняя масса семян составляет 3,883 г, а диапазон значений колеблется от 3,487 до 4,080 г. Разброс значений массы семян относительно среднего значения составляет 0,197 г.

Коэффициент вариации ( $v$ ) для массы семян составляет 5,4%. Это показатель разброса значений массы семян в процентном соотношении относительно среднего значения. Чем выше значение коэффициента вариации, тем больше разброс значений.

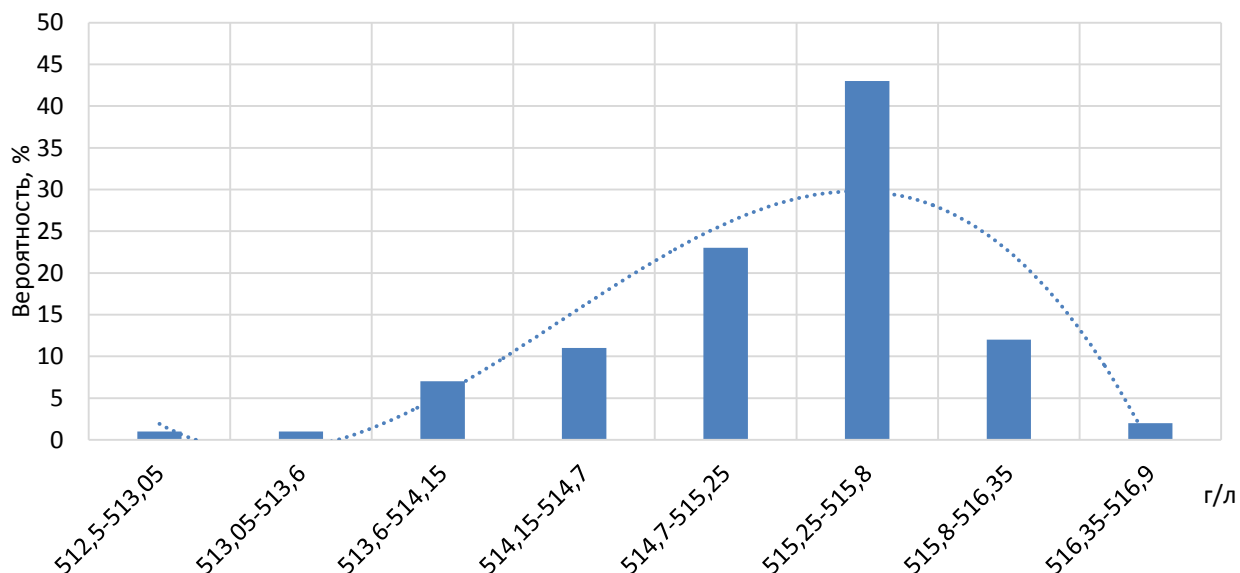


Рисунок 4.3 – Объемная массовая характеристика семян лука сорта «Боско»: кривая распределения

Объемная масса семян лука составляет 514,7 г/л. Это означает, что при заполнении единичного объема (1 л) семенами, их масса будет составлять в среднем 514,7 г, с диапазоном значений от 512,5 до 516,9 г. Разброс значений массы семян относительно среднего значения составляет 2,2 г.

Далее нами семена были классифицированы по коэффициенту внутреннего трения, который характеризует степень сцепления между частицами сыпучего вещества. Чем выше значение коэффициента, тем лучше сцепление частиц между собой. Исследуемый семенной материал нами был отнесен к виду сыпучих веществ, коэффициент внутреннего трения которых ( $K_{вн}$ ) находится в диапазоне от 0,45 до 0,70.

Таким образом, исследование позволяет достоверно охарактеризовать массу и объемную массу семян сорта лука «Боско», а также классифицировать их как сыпучие семена [60, 87].

#### 4.1.3. Фрикционные свойства семян лука репчатого сорта «Боско»

Анализ полученных данных при исследовании статического коэффициента трения семян лука сорта «Боско» на 4 видах поверхностей:

окрашенная и неокрашенная сталь; резина листовая; полимерная поверхность составил соответственно: 0,45...0,49; 0,54...0,56; 0,61...0,63; 0,35...0,38.

Таблица 4.1 – Фрикционные параметры семян лука репчатого сорта «Боско»

| Параметры  | Фрикционные поверхности |                     |             |             |
|--|-------------------------|---------------------|-------------|-------------|
|  | сталь окрашенная        | сталь не окрашенная | резина      | полимер     |
| Статический угол трения                                      |                         |                     |             |             |
| среднее значение $X_c^\circ$                                 | 27,17                   | 28,16               | 35,19       | 22,98       |
| среднеквадратическое отклонение $\sigma_c,^\circ$            | 1,36                    | 0,80                | 0,97        | 0,61        |
| коэффициент вариации $v, \%$                                 | 5,00                    | 2,84                | 2,75        | 2,65        |
| коэффициент статического трения, $K_c$                       | 0,45...0,49             | 0,54...0,56         | 0,61...0,63 | 0,35...0,38 |
| Динамический коэффициент трения:                             |                         |                     |             |             |
| среднее значение $X_{до}$                                    | 0,189                   | 0,291               | -           | -           |
| среднеквадратическое отклонение $\sigma_d \sigma_{д},^\circ$ | 0,009                   | 0,011               | -           | -           |
| коэффициент вариации $v_{д}, \%$                             | 4,76                    | 3,78                | -           | -           |
| Угол естественного откоса:                                   |                         |                     |             |             |
| среднее значение $X_{сг}^\circ$                              | 36,12                   |                     |             |             |
| среднеквадратическое отклонение $\sigma_t,^\circ$            | 0,49                    |                     |             |             |
| коэффициент вариации $v_{сг}, \%$                            | 1,35                    |                     |             |             |
| коэффициент внутреннего трения, $K_{вн}$                     | 0,61...0,65             |                     |             |             |

#### 4.1.4. Аэродинамические свойства

Вариационные кривые скорости витания семян лука сорта «Боско» представлены в приложении Б, таблице Б.7 и на рисунке 4.4.

Обработка вариационных рядов по скорости витания протравленных семян лука сорта «Боско» показала, что полученное из наблюдений эмпирическое распределение скорости витания соответствует закону нормального распределения. Среднее значение скорости,

среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации составили 4,5 м/с; 0,45 м/с и 10,0% соответственно.

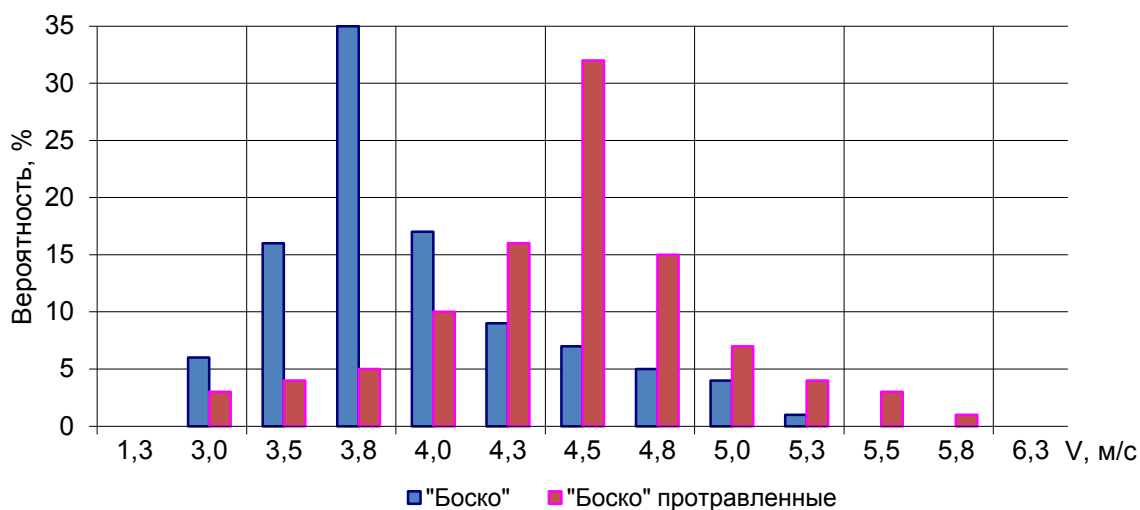


Рисунок 4.4 – Вариационные кривые скорости витания семян лука

Различие в скоростях витания протравленных и непротравленных семян объясняется разностью массовых долей, формой и поверхностью.

#### 4.1.5. Упругость семян

Таблица 4.2 – Параметры коэффициента восстановления семян лука репчатого сорта «Боско»

| Параметры   | Значение |
|---|----------|
| Среднее значение коэффициента восстановления, $\varepsilon$ | 0,465    |
| Среднеквадратическое отклонение, $\sigma$                   | 0,007    |
| Коэффициент вариации $v$ , %                                | 1,505    |
| Абсолютная ошибка выборочной средней, $s_x$                 | 0,002    |
| Относительная ошибка выборочной средней $s_x\%$ , %         | 0,670    |

Таким образом, среднее значение коэффициента восстановления семян лука сорта «Боско» равно 0,465, при этом коэффициент вариации равен 1,505%. Анализ физико-механических свойств семян позволяет сделать вывод, что качество распределения семян в рядке непосредственно зависит от их физико-механических показателей.

#### **4.2. Оценка показателей качества выполнения технологического процесса работы модернизированного высевающего аппарата**

Лабораторные исследования модернизированного высевающего аппарата проводились согласно требованиям ГОСТ «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные и посадочные. Показатели назначения и надежности. Общие требования», а также в соответствии с разработанной методикой проведения сравнительных исследований [4, 17, 31-33, 35-38, 57, 72, 81, 84, 114].

Исследования проводились на разработанной экспериментальной установке (см. рис. 3.8).

Обработка результатов сравнительных исследований подающих устройств с криволинейными направляющими для ленточного посева семян посредством выбранных методов статистической обработки [4, 64, 99, 158, 160] позволила представить полученные данные в виде диаграммы, на которой отражено распределение семян по площади посева для обоих типов подающих устройств семян лука (рис. 4.5). Это позволило подтвердить мысль, что существует зависимость частоты появления квадратной ячейки от количества в ней семян.

Анализ диаграммы распределения семян в зависимости от типа семяпровода позволяет сделать вывод, что сравнение качества работы семяпроводов целесообразно проводить при количестве семян в учетных квадратных ячейках 2, поскольку именно при появлении таких квадратов достигаются наилучшие качественные показатели.

Сравнение полученных данных для подающих устройств семян лука криволинейного и вертикального типа приведены в приложении Б, таблице Б.8. В результате было принято решение, что дальнейшие исследования целесообразно [4, 121] проводить с семяпроводом с криволинейной поверхностью, описанной уравнением 2.20, обеспечивающим равномерное перемещение семенного материала в семенное ложе.

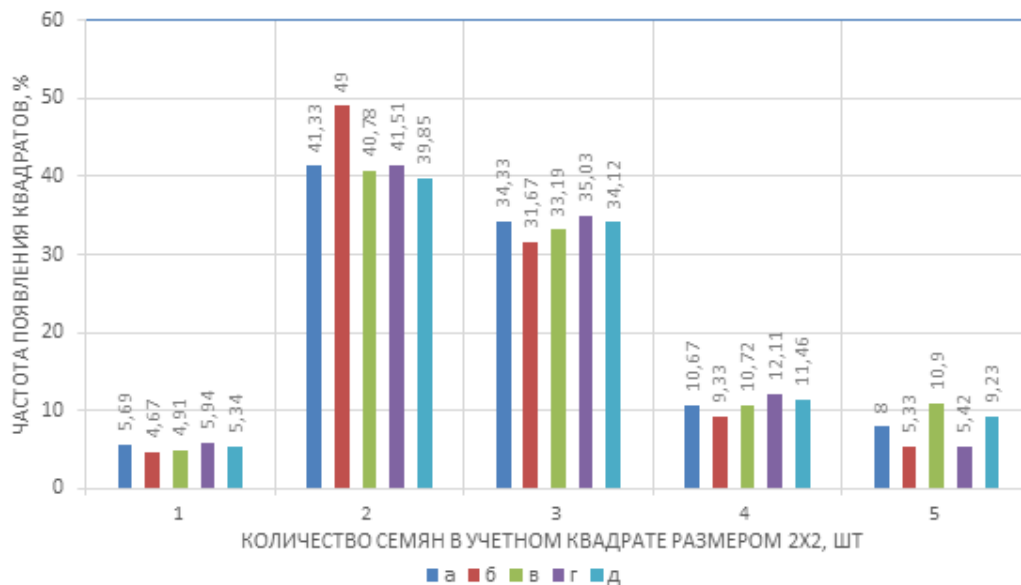


Рисунок 4.5 – Диаграмма распределения семян в зависимости от типа семяпровода:

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

Данные таблицы Б.8 позволяют сделать обобщенный вывод, что оба типа поверхностей подающих устройств семян демонстрируют достаточно хорошую работу и сопоставимы по показателям. Однако у семяпроводов с криволинейной поверхностью зафиксировано наибольшее значение частоты квадратов с количеством семян 1 и 2, что может быть обусловлено большим количеством семян, расположенных в заданных квадратах на липкой поверхности, согласно методике, представленной в разделе 3.6 диссертационной работы.

Зависимость равномерности распределения семян от конструктивных параметров подающих устройств нами исследовалась в соответствии с требованиями СТО АИСТ 5.6-2018 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные и посадочные. Показатели назначения и надежности. Общие требования», а также разработанной методикой проведения исследований [135].



Ширина рассева семян с учетом системы уравнений (2.18)–(2.19) зависит от кривизны поверхности семяпровода, определяемая криволинейной траекторией, при которой сохранится постоянная скорость семени.

Исследования проводились на исследуемом стенде (рис. 3.8). оценка качества посева (равномерность распределения) осуществлялась по коэффициенту вариации ( $v$ , %). В рамках эксперимента нами было изготовлено пять подающих устройств семян, которые отличались по кривизне. Норма высева семян составляла 0,8–1,0 млн шт./га, скорость движения сеялки – 0,83–2,78 м/с, а высота падения семян до контрольной поверхности – 2,0 см.

Динамика равномерности распределения семян в зависимости от конструктивных параметров подающих устройств отражены на рис. 4.6.

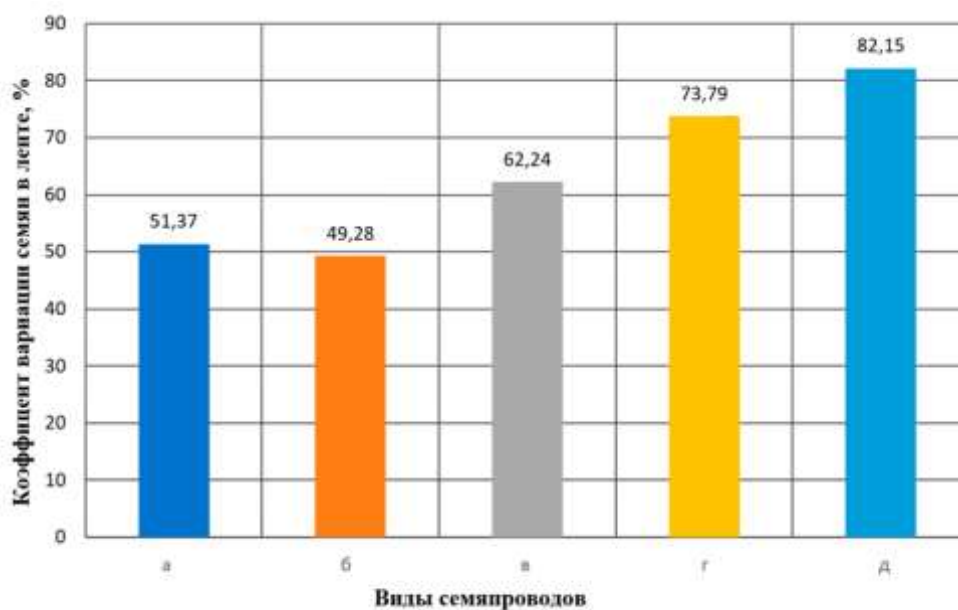


Рисунок 4.6 – Равномерность распределения семян в зависимости от вида семяпроводов: а - с вертикальной направляющей из пластика; б - с криволинейной направляющей в виде клотоиды; в - с криволинейной направляющей; г - с криволинейной направляющей в виде гиперболы; д - с вертикальной направляющей из металла

Для вертикального подающего устройства характерны низкие значения равномерности, при которых вероятно хаотичность отражения семян, поскольку они имеют непостоянную скорость, что приводит к

увеличению ширины ленты до 20–30 мм. Именно с низкими значениями равномерности семена долетают до стенок семяпровода, что повышает вероятность загущения посева [4].

#### **4.3. Полевые исследования модернизированного высевального аппарата**

Основной целью исследования машины для посева семян лука с ее оснащением пневматическим модернизированным высевальным аппаратом для ленточного посева было установление в лабораторно-полевых условиях достоверности теоретически рассчитанных зависимостей. Также в результате исследований были определены количественные показатели, рациональные и оптимальные режимы работы опытных образцов посевной машины с оснащением ее подающими устройствами для ленточного посева и с семяпроводами криволинейного типа.

Лабораторно-полевые исследования по посадке лука сорта «Боско» с нормой высева 0,8–1,0 млн шт./га проводились в Приднестровье в 2019–2023 гг. на специально отобранном, подготовленном под посев и наиболее ровном однородном участке почвы, с замерами твердости и влажности почвы на трех глубинах – 0–5, 5–10 и 10–15 см согласно требованиям ГОСТ 28268-89 [32]. Почву, которая представляет собой среднесуглинистый чернозем, подготовили в два этапа согласно отработанной в хозяйстве технологии:

- 1) основная обработка под зиму – лущение и дискование, после которых почва вспахивалась оборотным плугом на глубину до 30 см;
- 2) предпосевная обработка – шлейфование и боронование, после которых были внесены подпочвенные гербициды, а также проведена предпосевная обработка культиватором на глубину до 15 см с формированием гребней.

Посев проводился посевной машиной экспериментального образца, которая была оснащена пневматическим высевальным аппаратом для строчного посева агрегатированной с трактором МТЗ – 82.1 (рис. 4.7).



а)

б)

Рисунок 4.7 – Общий вид посевного агрегата МТЗ-82.1+посевная машина, оснащенная модернизированным пневматическим высевальным аппаратом с подающим устройством криволинейного типа: а) общий вид; б) сошник с криволинейным семенавителем; 1 – рама; 2 – бункер; 3 – высевальное устройство пневматического типа; 4 – семенавитель; 5 – сошник; 6 – опорно-приводное колесо; 7 – уплотняющий каток; 8 – загортач

Глубина обработки почвы была равной глубине заделки семян. Подробные водно-физические показатели лабораторно-экспериментального участка почвы и данные результатов исследований представлены [116] в приложении Б (таблица Б.9).

Скорости посевного агрегата, при которых определяли коэффициенты вариации распределения семян в ленте, лежали в диапазоне 0,8–2,8 м/с. Фактическая скорость посевного агрегата была рассчитана после фиксирования времени, которое было затрачено на засев учетной делянки.

Оценка равномерности распределения семян лука по площади посева осуществлялась при помощи коэффициента вариации, по аналогии с лабораторными исследованиями.

Размеры трех выбранных учетных делянок по диагонали учетного участка составили по ширине 1,5 м и длине 30 м. Глубина заделки семян определялась по тремстам всходам, раскрывая борозды и измеряя расстояние от поверхности почвы до семян в ней с точностью до 1 мм (рис. 4.8).

Коэффициент вариации распределения семян в почве на глубине 30 мм определялся по результатам измерений [4].



Рисунок 4.8 – Замеры глубины посева семян лука по раскрытой борозде

Посевная машина, определяя фактическую норму высева семян лука, трижды проезжала загон длиной 100 м. Семена высевались в установленный под высевающими аппаратами поддон. Масса семян определялась электронными весами с точностью до 100 мг. Затем норма высева определялась в пересчете на кг/га согласно принятому выражению [5].

Четыре раза измерялась ширина ленты (равномерность распределения семян в строчке) посева (рис. 4.9), причем каждый раз количество измерений составляло 100, с допустимой погрешностью в 1 мм.



Рисунок 4.9 – Контроль качества прямолинейности строчек лука и площади питания

В приложении Б (таблица Б.10) отражены результаты обработки опытных данных лабораторно-полевых исследований машины для посева семян лука опытного образца с ее оснащением модернизированным высевальным аппаратом для строчного посева. На рисунках 4.10-4.11 графически представлена зависимость коэффициента вариации от скорости посевного агрегата.

Анализ зависимости равномерности распределения семян от скорости движения посевного агрегата (рис. 4.10) позволил сформулировать следующие выводы:

- оптимальная равномерность посева: соответствует рабочей скорости 1,5–1,7 м/с и коэффициенту вариации 0,49;
- динамика: при значении менее 1,5 м/с наблюдается увеличение коэффициента вариации, а при значениях более 1,7 м/с не наблюдается устойчивая тенденция.

При значениях скорости менее 1,5 м/с отмечается загущение периферии ленты как результат малого значения подачи семян высевальным аппаратом в секунду [101].



Рисунок 4.10 – Зависимость равномерности распределения семян от скорости движения посевного агрегата

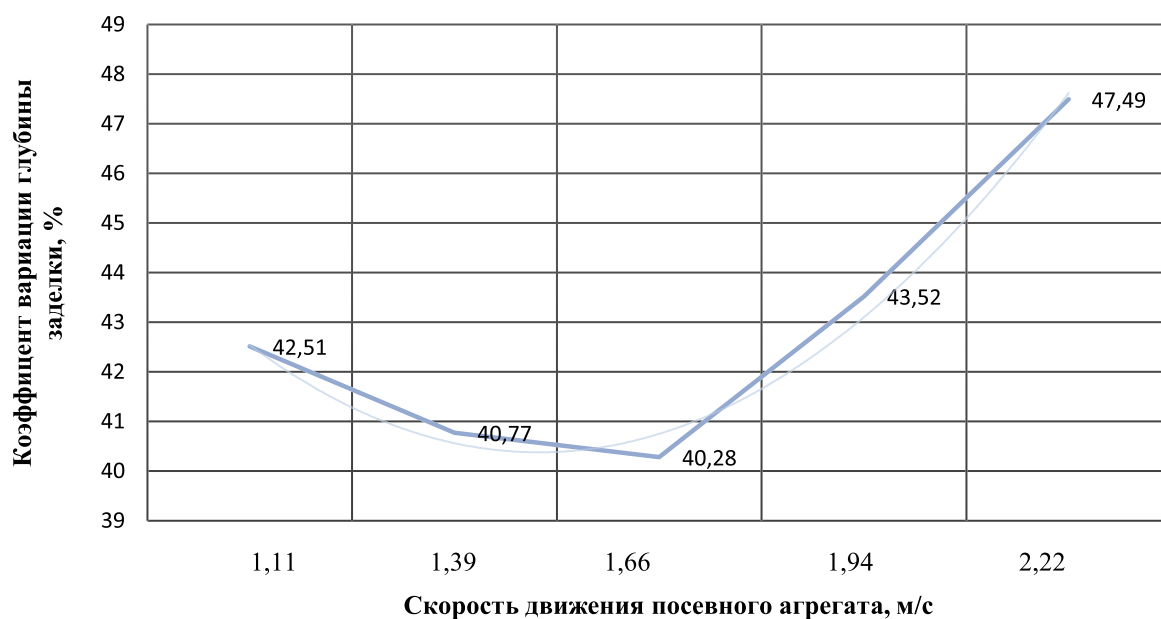


Рисунок 4.11 – Зависимость глубины заделки семян от скорости движения посевного агрегата

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 (рис. 4.11).

#### **4.4. Результаты многофакторного эксперимента влияния качества посева семян лука разработанного высевяющего аппарата пневматической сеялки точного высева**

Поскольку на качество посева семян лука влияет широкий спектр факторов, опыты в лабораторных условиях проводились согласно общепринятой методике планирования многофакторного эксперимента и требованиям СТО АИСТ 5.6-2018 [135].

На основании проведенного корреляционного анализа в модель описывающую зависимость качества посева семян лука были включены

следующие факторы: высота падения семян  $X1$  и скорость движения высевающего органа  $X2$ . Для оценки равномерности высева используем относительную шкалу, где максимальная равномерность высева, соответствующая 48,7 мм, будет равна 1, что соответствует норме высева 0,8–1,0 млн шт./га. Отклонения от данного параметра будем фиксировать с шагом 5%. Таким образом, таблица 4.3 определяет соответствия между значениями относительной равномерности и расстоянием между семенами при высеве.

Влияние скорости движения высевающего органа и высоты падения семян на равномерность высева было исследовано в рамках многофакторного эксперимента по центральному композиционному плану [52, 133].

В качестве функции отклика приняли относительную равномерность высева семян, а основными факторами высоту падения семян  $X1$  и скорость движения высевающего органа  $X2$ .

Планирование эксперимента проводилось по стандартному плану, представленному в таблице 4.4 [52].

Таблица 4.3 – Соответствие между значениями относительной равномерности и расстоянием между семенами при высеве

| Значение функции желательности | Расстояние между семенами |                |
|--------------------------------|---------------------------|----------------|
|                                | Отклонение «-»            | Отклонение «+» |
| 1                              | 48,7                      | 48,7           |
| 0,95                           | 46,265                    | 51,135         |
| 0,8                            | 43,83                     | 53,57          |
| 0,75                           | 41,395                    | 56,005         |
| 0,7                            | 38,96                     | 58,44          |
| 0,65                           | 36,525                    | 60,875         |
| 0,6                            | 34,09                     | 63,31          |
| 0,55                           | 31,655                    | 65,745         |
| 0,5                            | 29,22                     | 68,18          |
| 0,45                           | 26,785                    | 70,615         |
| 0,4                            | 24,35                     | 73,05          |

Таблица 4.4 – Матрица планирования проведения центрального композиционного плана при двухфакторном эксперименте.

| № п/п         | <i>X1</i> | <i>X2</i> |
|---------------|-----------|-----------|
| <b>1</b>      | -1,00000  | -1,00000  |
| <b>2</b>      | -1,00000  | 1,00000   |
| <b>3</b>      | 1,00000   | -1,00000  |
| <b>4</b>      | 1,00000   | 1,00000   |
| <b>5</b>      | -1,41421  | 0,00000   |
| <b>6</b>      | 1,41421   | 0,00000   |
| <b>7</b>      | 0,00000   | -1,41421  |
| <b>8</b>      | 0,00000   | 1,41421   |
| <b>9 (H)</b>  | 0,00000   | 0,00000   |
| <b>10 (H)</b> | 0,00000   | 0,00000   |

В таблице 4.5 представлены план центрального композиционного плана и результаты многофакторного эксперимента.

Таблица 4.5 – План центрального композиционного плана и результаты многофакторного эксперимента

| Относительная равномерность высева семян | Высота падения семян, <i>X1</i> , мм | Скорость движения высевающего органа, <i>X3</i> , м/с |
|--|--------------------------------------|---|
| 0,905                                    | 50                                   | 1,11  |
| 0,915                                    | 150                                  | 1,11  |
| 0,905                                    | 50                                   | 2,22  |
| 1  | 2                                    | 3   |
| 0,915                                    | 150                                  | 2,22  |
| 0,9486                                   | 100                                  | 0,833   |
| 0,9486                                   | 100                                  | 2,45  |
| 0,9245                                   | 29,50                                | 1,67  |
| 0,9345                                   | 170,50                               | 1,67  |
| 0,995                                    | 100                                  | 1,67  |
| 0,995                                    | 100                                  | 1,67  |



Характеристики плана эксперимента выбирались из условия получения равномерного высева семян. В результате были выбраны следующие области варьирования независимых переменных:

высота падения семян  $X_1$ , см (мм),

5 – 15 (50 – 150)

скорость движения высевающего органа  $X_2$ , км/ч (м/с), 4 – 8 (1,111 – 2,222)

| Эффект            | Оценки параметров (Таблица данныхб)<br>Сигма-ограниченная параметризация |             |         |         |                    |                    |               |              |                    |                    |
|-------------------|--|-------------|---------|---------|--------------------|--------------------|---------------|--------------|--------------------|--------------------|
|                   | С<br>Парам.  | С<br>Ст.Ош. | С<br>t  | С<br>р  | -95,00%<br>Дов.Пр. | +95,00%<br>Дов.Пр. | С<br>Beta (B) | С<br>Ст.Ош.В | -95,00%<br>Дов.Пр. | +95,00%<br>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" <sup>2</sup> | -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" <sup>2</sup> | -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 4.12 – Результаты статистической обработки данных эксперимента

В результате обработки статистических данных (рис. 4.12) с помощью пакета научных подпрограмм «Statistika» нами было получено уравнение, которое описывает зависимость равномерности высева семян от исследуемых факторов:

$$c = 0,549 + 0,092x_1 + 0,033x_2 - 0,008x_1^2 - 0,002x_2^2 - 0,001x_1x_2 \quad (4.2)$$

Адекватность выбранной модели проверялась по критерию Фишера [15, 16] при условии  $F_p < F_m$ . Полученную нами модель можно считать адекватной, поскольку расчетный критерий Фишера  $F_p = 2,1405$  меньше табличного  $F_{табл} = 3,23$  [52]. Результаты расчетов представлены на рисунке 4.13. Таким образом, влияние основных факторов процесса на адгезию получаемых покрытий адекватно описывается уравнением регрессии.

| Зависим.<br>Перемен. | SS модели и SS остатков (Таблица данныхб) |                |                |              |              |              |               |               |               |         |         |
|----------------------|---|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------|---------|
|                      | Множеств<br>R                             | Множеств<br>R2 | Скоррект<br>R2 | SS<br>Модель | сс<br>Модель | MS<br>Модель | SS<br>Остаток | сс<br>Остаток | MS<br>Остаток | F       | p       |
| С                    | 0,91546                                   | 0,83807        | 0,63567        | 0,00850      | 5            | 0,00170      | 0,00164       | 4             | 0,00041       | 2,14058 | 0,04671 |

Рисунок 4.13 – Расчет параметров модели

Анализ позволил доказать сильную связь равномерности высева семян и исследуемых факторов, поскольку множественный коэффициент корреляции достигает значения 0,915.

Корреляционная матрица, представленная на рисунке 4.14, подтверждает, что наибольшее значение на равномерность высева семян оказывает скорость движения высевающего органа (коэффициент корреляции – 0,86). Менее значительно влияет на равномерность высева высота падения семян (коэффициент корреляции – 0,83).

| Эффект    | Статистики коллинеарности для членов в уравнении (Таблица регрес)<br>Сигма-ограниченная параметризация |                      |          |           |             |               |         |         |
|-----------|--|----------------------|----------|-----------|-------------|---------------|---------|---------|
|           | Допуск   | Дисперс.<br>Infl fac | R квадр. | С<br>Бета | С<br>Частн. | С<br>Получас. | С<br>t  | С<br>p  |
| "X1"      | 0,01383  | 72,2704              | 0,98616  | 5,1547    | 0,83321     | 0,60635       | 3,0137  | 0,03940 |
| "X1"^2    | 0,01550  | 64,5160              | 0,98450  | -5,2042   | -0,84950    | -0,64792      | -3,2203 | 0,03227 |
| "X2"      | 0,02124  | 47,0772              | 0,97875  | 4,6336    | 0,85906     | 0,67532       | 3,3565  | 0,02839 |
| "X2"^2    | 0,03406  | 29,3526              | 0,96593  | -4,6107   | -0,90403    | -0,85103      | -4,2298 | 0,01337 |
| "X1"*"X2" | 0,03714  | 26,9226              | 0,96285  | -0,0000   | -0,00000    | -0,00000      | -0,0000 | 1,00000 |

Рисунок 4.14 – Корреляционная матрица

Проверка значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента подтвердила значимость всех коэффициентов регрессии (кроме эффектов взаимодействия), поскольку полученные значения критерия Стьюдента превышали критическое [43]. Представим регрессионное уравнение в окончательном виде:

$$c = 0,549 + 0,092x_1 + 0,033x_2 - 0,008x_1^2 - 0,002x_2^2 \quad (4.3)$$

Для определения центра оптимума полученной функции необходимо решить следующую 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 координаты оптимума имеют следующие значения:

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

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).

Двумерное сечение поверхности отклика отражено на рисунке 4.15.



Рисунок 4.15 – Двумерное сечение поверхности отклика

Поверхность отклика регрессионного уравнения изображена на рисунке 4.16.

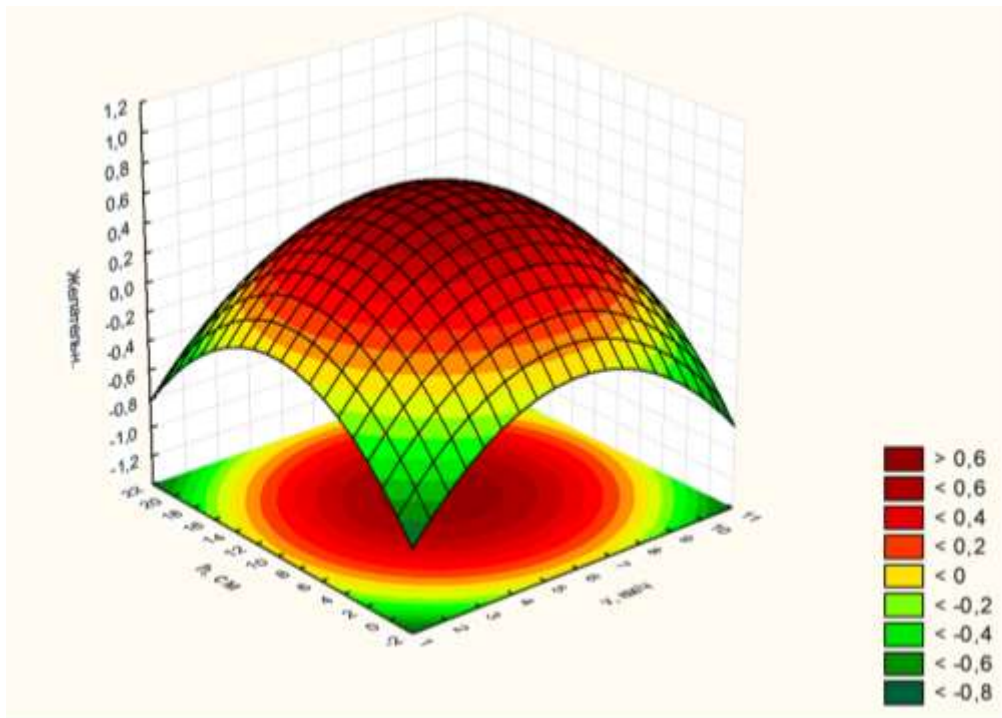


Рисунок 4.16 – Поверхности отклика регрессионного уравнения

Достоверность полученных значений подтверждается расчетом предсказанных значений функции желательности, результат которых представлен на рисунке 4.17 (Приложение Д).

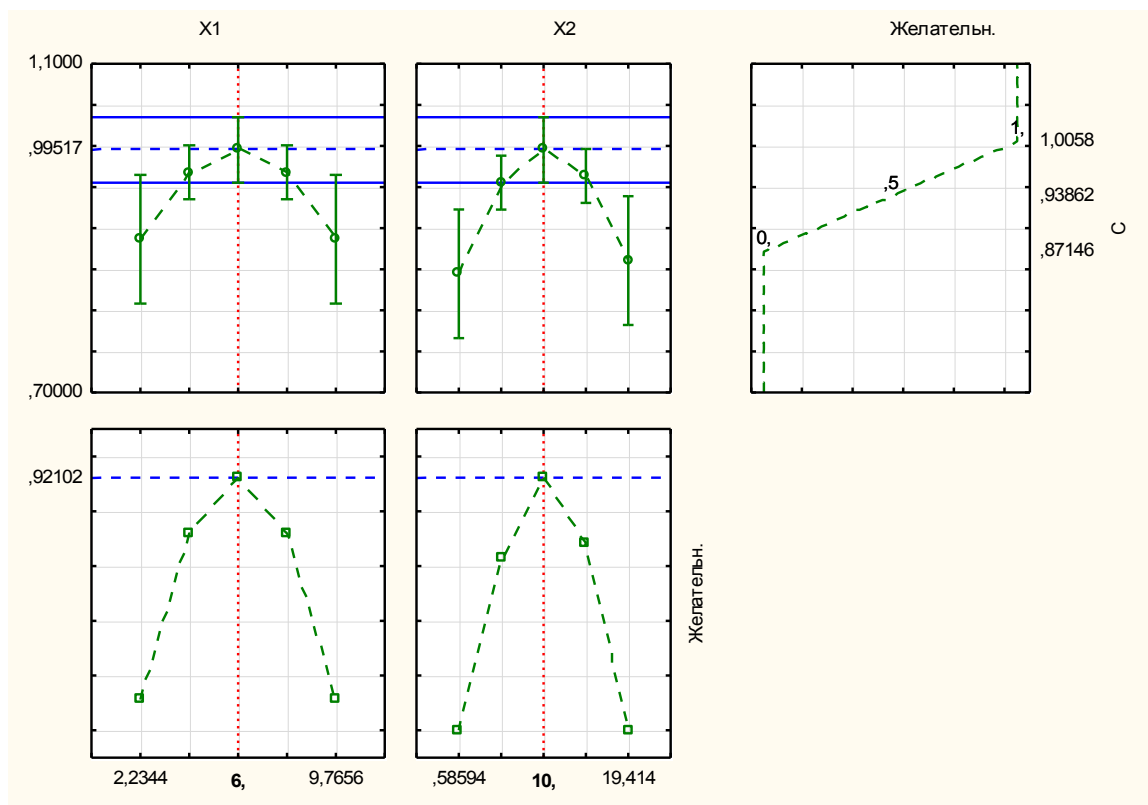


Рис 4.17 – Достоверность полученных значений подтверждается расчетом предсказанных значений функции желательности

Область оптимума критерия по равномерности посева семян определена на основе анализа двумерного сечения. По тем же критериям были выбраны рациональные технологические параметры посева агрегата: скорость перемещения  $6 \pm 5\%$  км/ч ( $1,666 \pm 5\%$  м/с); высота расположения посева аппарата над семенным ложе  $10 \pm 5\%$  см ( $100 \pm 5\%$  мм) для качественного дискретного распределения семян в борозде. Равномерность распределения семян лука в рядке при этом составит 92 % [132].

#### 4.5. Выводы по главе

Исследованием установлено, что физико-механические показатели непосредственно влияют на качество распределения семян в рядке:

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 размеров: длина – 3,31 мм; ширина – 2,56 мм; толщина – 2,29 мм, что, согласно классификации профессора В.П. Чичкина, позволяет их отнести к средней группе крупности, при среднем эквивалентном размере – 2,41 мм. Абсолютная масса семян лука данного сорта равна 3,883 г при коэффициенте вариации  $v = 5,4\%$ , а объемная масса семян – 514,7 г/л. Данные семена относятся к виду сыпучих.

2. 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.

3. 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 %.

4. Результат работы предложенной конструкции показал, что единичная подача семян составила 94,0...95,5 %. Рабочая скорость была обеспечена в пределах 1,5...1,7 м/с, согласно требованиям технологической операции, что соответствует параметрам коэффициента вариации 0,49...0,51.

5. На основе результатов проведенного эксперимента выявлена область оптимума критерия равномерности высева семян и обоснованы рациональные режимы работы высевающего агрегата (скорость перемещения 6 км/ч (1,67 м/с); высота падения семян от точки отрыва до семенного ложа 100 мм) для качественного дискретного распределения семян в борозде. Равномерность распределения семян лука в рядке при этом составит 92 %.

## 5. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РАЗРАБОТКИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Одним из наиболее энергоёмких элементов технологии возделывания лука-репки является посев.

Сущность решения состоит в усовершенствовании сеялки SFOGGIA Calibra Twin 4, что обеспечивает повышение точности качества сева на 10%, также снижаются потери семян на 0,2%.

Согласно спецификации разрабатываемого узла, приведенном в приложении В, на модернизацию сеялки SFOGGIA Calibra Twin 4 с учётом затрат труда и материалов потребуется 10574,1 рублей дополнительных вложений.

Выполним расчет затрат на амортизацию сеялки SFOGGIA Calibra Twin 4, на ремонт, на оплату труда механизатора и согласно этим данным определим экономию эксплуатационных затрат. Также экономический эффект будет наблюдаться и за счёт повышения точности сева, а, следовательно, повышение урожайности культуры на 16,6% [66, 86].

В таблице 5.1 представлены исходные данные, необходимые для оценки целесообразности осуществления данного проекта.

Выполним расчёт эксплуатационных издержек на 1 га посева лука для базового и проектируемого варианта.

Выполним расчёт затрат на амортизацию сеялки:

$$A_c = \frac{B_c \cdot a}{W \cdot Q}, \quad (5.1)$$

где  $B_c$  – балансовая стоимость сеялки, руб;  $a$  – норма амортизации;  $W$  – производительность, га/час;  $Q$  – годовая загрузка, час.

Стандартная сеялка

$$A_c = \frac{910000 \cdot 0,11}{0,25 \cdot 320} = 1251,25 \text{ руб/га.}$$

Таблица 5.1 – Исходные данные для расчетов

| Показатели   | Базовый вариант           | Проектный вариант                        |
|--|---------------------------|--|
| 1  | 2                         | 3  |
| Урожайность, ц/га  | 500                       | 600                                      |
| Площадь возделывания, га   | 200                       | 200                                      |
| Срок эксплуатации проекта, лет                                   | 8                         | 8  |
| Марка сеялки   | SFOGGIA Calibra<br>Twin 4 | SFOGGIA Calibra<br>Twin 4 <sup>мод</sup> |
| Норма амортизации, %   | 11                        | 11                                       |
| Производительность, га/час                                       | 0,250                     | 0,375                                    |
| Нормативная годовая загрузка, ч                                  | 320                       | 320                                      |
| Норма отчислений на ремонт, %                                    | 6                         | 6  |
| Стоимость 1 сеялки, руб.   | 910000                    | 920574,1                                 |
| Количество сеялок, шт.   | 1                         | 1  |
| Количество работников, обслуживающих сеялку (механизаторы), чел. | 1                         | 1  |
| Уровень оплаты труда, руб/чел.-ч                                 | 178                       | 178                                      |
| Повышение урожайности, %   |                           | 16,6                                     |

Модернизированная сеялка.

$$A_c = \frac{920574,1 \cdot 0,11}{0,375 \cdot 320} = 843,85 \text{ руб/га.}$$

Расчёт затрат на ремонт сеялки:

$$P_c = \frac{B_c \cdot b}{W \cdot Q}, \quad (5.2)$$

где  $b$  – норма отчислений на ремонт.

Стандартная сеялка

$$P_c = \frac{910000 \cdot 0,06}{0,25 \cdot 320} = 682,5 \text{ руб/га.}$$



Модернизированная сеялка.

$$P_c = \frac{920574,1 \cdot 0,06}{0,375 \cdot 320} = 460,28 \text{ руб/га.}$$

Расчёт затрат на оплату труда механизатора:

$$O_c = \frac{\tau}{W}, \quad (5.3)$$

где  $\tau$  – уровень оплаты труда, руб/чел-час.

Стандартная сеялка

$$O_c = \frac{178}{0,25} = 712 \text{ руб/га.}$$

Модернизированная сеялка.

$$O_c = \frac{178}{0,375} = 474,66 \text{ руб/га.}$$

Общие эксплуатационные затраты стандартной сеялки:

$$I_c^{\text{баз}} = A_c + P_c + O_c = 1251,25 + 682,5 + 712 = 2645,75 \text{ руб/га.}$$

Общие эксплуатационные затраты модернизированной сеялки

$$I_c^{\text{мод}} = A_c + P_c + O_c = 843,85 + 460,28 + 474,66 = 1778,79 \text{ руб/га.}$$

Таким образом, экономия эксплуатационных затрат составит разницу между базовым и модернизированным вариантом, т.е.

$$\mathcal{E}^{\text{экон.}} = I_c^{\text{баз}} - I_c^{\text{мод}} = 2645,75 - 1778,79 = 866,96 \text{ руб/га.} \quad (5.4)$$

Также экономический эффект будет наблюдаться и за счёт повышения урожайности на 16,6 %.

Годовой экономический эффект определим в табл. 5.2.

Таблица 5.2 – Годовой экономический эффект за счёт снижения потерь зерна

| Показатели                             | Базовый вариант | Модернизированный вариант |
|--|-----------------|---------------------------|
| Урожайность, ц/га                      | 500             | 600                       |
| Площадь возделывания, га               | 200             | 200                       |
| Выращено, ц                            | 100000          | 120000                    |
| Цена культуры, руб./ц                  | 1800            | 1800                      |
| Экономия эксплуатационных затрат, руб. |                 | 866,96                    |
| Годовой экономический эффект, руб.     |                 | 277427,2                  |

Таким образом, годовой экономический эффект равен  $P_{rt} = 277427,2$  руб.

Учитывая ежегодный эффект и его возрастание по годам, по формуле сложных процентов можно рассчитать экономический эффект за срок службы:

$$K_T = P_{rt} \cdot \frac{(1+NS)^T - 1}{NS} \text{ руб.}, \quad (5.5)$$

где  $T$  – срок службы объекта (8 лет);  $NS$  – коэффициент учётной годовой ставки процента по кредитам или вкладу в банк ( $NS = 0,18$ ).

$$K_T = 277427,2 \cdot \frac{(1+0,18)^8 - 1}{0,18} = 4252125,46 \text{ руб.}$$

Отдельно уточним, что сумма выплат по налогам нами не определялась, поскольку критерием эффективности избран размер дополнительного чистого дохода, выступающий в качестве годового экономического эффекта. В настоящее время налог на доход по вкладу взимается в случае, если ставка по вкладу превышает ставку рефинансирования Центробанка РФ.

Цена спроса на комплекс ресурсов для реализации проекта определяется по следующей формуле:

$$D_p = \frac{K_m}{(1+NS)^T}, \quad (5.6)$$

$$D_p = \frac{4252125,46}{(1+0,18)^8} = 1131230,41 \text{ руб.}$$

Коэффициент эффективности капитальных вложений определяется по формуле:

$$E_T = \sqrt[T]{\frac{K_m}{K_0}} - 1, \quad (5.7)$$

$$E_T = \sqrt[8]{\frac{4252125,46}{10574,1}} - 1 = 2,11 - 1 = 1,11.$$

где  $K_0$  – капитальные вложения,  $K_0 = 10574,1$  руб.

Коэффициент эффективности капитальных вложений должен быть больше ставки банковского процента, т. е.  $E_t = 1,11 > NS = 0,18$ .

Срок окупаемости капитальных вложений: ( $K_0 = 10574,1$  руб.,  $P_{rt} = 277427,2$  руб.).

$$T_{ок} = \frac{-\ln\left(1 - K_0 \cdot \frac{NS}{P_{rt}}\right)}{\ln(1 + NS)}. \quad (5.8)$$

Тогда,

$$T_{ок} = \frac{-\ln\left(1 - 10574,1 \cdot \frac{0,18}{277427,2}\right)}{\ln(1 + 0,18)} = 0,041 \text{ года.}$$

Результаты расчётов экономической эффективности применения модернизированной сеялки представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Показатели экономической эффективности проекта модернизации сеялки SFOGGIA Calibra Twin 4

| №.<br>п/п | Показатели  | Варианты |            |
|-----------|---|----------|------------|
|           |   | Базовый  | По проекту |
| 1.        | Срок эксплуатации, лет  | 8        | 8          |
| 2.        | Дополнительные капитальные вложения, руб.                     |          | 10574,1    |
| 3.        | Производительность, га/час                                    | 0,250    | 0,375      |
| 4.        | Нормативная годовая загрузка, ч                               | 320      | 320        |
| 5.        | Урожайность, ц/га   | 500      | 600        |
| 6.        | Площадь возделывания, га                                      | 1200     | 1200       |
| 7.        | Выращено, ц   | 600000   | 720000     |
| 8.        | Цена культуры, руб./ц   | 1800     | 1800       |
| 9.        | Экономия эксплуатационных затрат, руб.                        |          | 866,96     |
| 10.       | Годовой экономический эффект, руб.                            |          | 277427,2   |
| 11.       | Коэффициент эффективности дополнительных капитальных вложений |          | 1,11       |
| 12.       | Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет     |          | 0,041      |

Согласно расчетам экономической эффективности проекта годовой экономический эффект составит 277427,2 рублей, а срок окупаемости – 0,041 года. Таким образом, проект экономически целесообразен.

### **Выводы по главе**

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.

## 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 высева семян лука предпочтительными являются кривые, по которым семена движутся с постоянной скоростью, что исключает завалы и способствует более рациональным режимам работы высевающих 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 загромождение 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 к 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 ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Абезин, В.Г. Изыскание и исследование высевающего аппарата для бахчевых культур [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 23.05.01 / Абезин Валентин Германович. – Волгоград, 1969. – 170 с.
2. Авдеев, Н.Е. Гравитационный сепаратор с конической просеивающей поверхностью / Н.Е. Авдеев, Ю.В. Чернухин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000. – № 7. – С.30 – 31.
3. Авдеев, Н.Е. Перспективные типы центробежных и гравитационных сепараторов / Н.Е. Авдеев, А.В. Некрасов, С.Б. Резуев, Ю.В. Чернухин//Воронеж: Воронежский государственный университет. – 2005. – 637с.
4. Аксенов, А.Г. Обоснование и разработка адаптивных машинных технологий и технических средств для возделывания луковых культур: дис. ... докт. тех. наук: 05.20.01 / Аксенов Александр Геннадьевич. Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. – Москва, 2021. – 281 с.
5. Аксенов, А.Г. Повышение качества посадки лука-севка с разработкой и обоснованием параметров вибрационно-пневматического высаживающего аппарата: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / Аксенов Александр Геннадьевич. – Пенза, 2011. – 142 с.
6. Балашов, А.В. Результаты исследований параметров датчиков, используемых в системе контроля высева семян пропашных культур [Текст] / А.И. Завражнов, А.В. Балашов, Н.Ю. Пустоваров // Наука в центральной России. – 2017. – № 5 (29). – С. 28–35.
7. Белодедов, В.А. Оптимизация параметров однозерновых высевающих аппаратов [Текст]: автореферат диссертации доктора технических наук / В.А. Белодедов. – Новосибирск, 1991. – 32 с.
8. Бескровный, Е.В. Особенности формирования однозернового потока семян пневмовакуумным аппаратом [Текст] / Е.В. Бескровный, П.А.

Бондаренко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 1. – С. 39–42.

9. Беспамятнова, Н.М. Научно–методические основы адаптации почвообрабатывающих и посевных машин [Текст] / Н.М. Беспамятнова. – Ростов-на-Дону: Терра, 2002. – 176 с.

10. Богомягих, В.А. Анализ работы дозирующей системы зерновой сеялки с централизованным высевом [Текст] / В.А. Богомягих, Л.Ю. Шевырев. – зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2005. – 85 с.

11. Богомягих, В.А. О форме и условном диаметре реальных частиц зернового материала [Текст] / В.А. Богомягих, А.Ю. Несмиян, А.С. Ляшенко и др. – Вестник аграрной науки Дона, – 2014. – №2(26). – С. 30–34.

12. Бондаренко, П.А. К анализу процесса формирования однозернового потока высева семян в аппаратах пневматической сеялки [Текст] / П.А. Бондаренко, В.В. Лукьянец // Рукопись деп. в ВИНТИ 19.08.99 № 2682 – В99. – зерноград, 1999. – 22 с.

13. Бондаренко, П.А. Качество однозернового высева семян пневматическими аппаратами / П. А. Бондаренко, В. И. Хижняк, А. Ю. Несмиян [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2004. – № S1-1. – С. 6-12.

14. Бричагина А.А. Моделирование технологического процесса высевающего аппарата зерновой сеялки / А. А. Бричагина, С. Н. Ильин, В. В. Пальвинский // Вестник КрасГАУ. – 2016. – № 11(122). – С. 67-71.

15. Бузенков, Г.М. Машины для посева сельскохозяйственных культур / Г. М. Бузенков. – Москва : Научно-техническое издательство "Машиностроение", 1976. – 272 с.

16. Бузенков, Г.М. Технологический прогресс в механизации растениеводства / Г.М. Бузенков. – М.: Знание, 1976. – 63 с.

17. Бурменко, Ф. Ю. Влияние износа высевающего комплекта на качество посева мелкосемянных культур / Ф. Ю. Бурменко, В. С. Михайлов //



Международный технико-экономический журнал. – 2020. – № 6. – С. 31-39. – DOI 10.34286/1995-4646-2020-75-6-31-39.

18. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства [Электронный ресурс]: Информация Росстат, 2019. – Режим доступа: URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/rosstatsite/main/publishing/catalog/statisticJournals/doc\\_1265196018516](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/rosstatsite/main/publishing/catalog/statisticJournals/doc_1265196018516).

19. Вальянов, Д.Г. Теоретические основы работы пневматических высевающих аппаратов [Текст] / Д. Г. Вальянов // Научные записки Луганского СХИ. – Луганск, 1961. – Т. 8. – С. 153–160.

20. Валуев, В. Н. Совершенствование процесса высева семян двух культур пневмомеханическим высевающим аппаратом: специальность 05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Валуев Василий Николаевич. – зерноград, 2004. – 151 с.

21. Василенко, В.В. Особенности процесса пунктирного высева капсулированных семян [Текст] / В.В. Василенко, С.В. Василенко, К.Р. Казаров, В.В. Труфанов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12. – № 4 (63). – С. 38–44.

22. Внутрипочвенное внесение удобрений и мелиорантов / С. Я. Семененко, В. Г. Абезин, В. А. Моторин, А. Л. Сальников // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – № 2(46). – С. 233-239.

23. Выссевающий аппарат для посева обработанных электроактивированной водой семян лесных и садовых культур / С. Я. Семененко, В. Г. Абезин, Н. Н. Дубенок, О. М. Агеенко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 2(50). – С. 323-331.

24. Выссевающий 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.

25. 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.

26. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: Учебное пособие для вузов / В.Е. Гмурман. – 9-е изд. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.

27. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для студентов вузов / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2000. – 479 с.

28. ГОСТ 12036-85. Семена сельскохозяйственных культур. Правила приемки и методы отбора проб [Текст]. – Взамен ГОСТ 12036-66; введ. 1986-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 10 с.

29. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести [Текст]. – Введ. 1986-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 29 с.

30. ГОСТ 12041-82. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения влажности [Текст]. – Введ. 1983-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 6 с.

31. ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытания. Введен 01.01.2013. – М.: Изд-во стандартов, 2013 – 55 с.

32. ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого

завядания растений [Текст]. Введ. 1990-06-01. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 8 с.

33. ГОСТ 31345-2007. Сеялки тракторные. Методы испытаний; введ. 2009-01-01. [Текст] – М.: Стандартиформ, 2008. – 53 с.

34. ГОСТ Р 50779.21-2004. Прикладная статистика. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 43 с.

35. ГОСТ Р 52777-2007. Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки [Текст]. – Введ. 2008-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2007. – 7 с.

36. ГОСТ Р 52778-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки [Текст]. – Введ. 2008-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2007. – 24 с.

37. ГОСТ Р 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки [Текст]. Введ. 2009-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 20 с.

38. ГОСТ Р 54783-2011. Испытания сельскохозяйственной техники; Введ. 13.11.2011 г. – М.: Изд-во стандартов, 2020. – 23 с.

39. ГОСТ Р ИСО 5479-2002. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения [Текст]. Введ. 2002-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 26 с.

40. Граф, В. Посев: сеялки точного высева, обзор рынка [Текст] / В. Граф // Новое сельское хозяйство. – 2010. – № 1. – С. 64–69.

41. Гусев, В.М. Тенденции развития конструкций пропашных сеялок. Обзорная информация [Текст] / В.М. Гусев, С.К. Иваница. – М.: ЦНИИТЭИтракто-росельхозмаш, 1982. – 32 с.

42. Гусев, В.М. Тенденция развития конструкций пропашных сеялок [Текст] / В.М. Гусев, В.Е. Хорунженко, А.М. Рузаева. – М.: ЦНИИТЭИ авто-сельхозмаш, 1990. – 36 с.

43. Должиков, В.В. Обоснование конструкции и параметров универсального высевающего аппарата пропашной сеялки путем проведения многофакторного эксперимента [Текст] / В.В. Должиков, А.Ю. Несмиян // Совершенствование технических средств производства продукции растениеводства: межвузовский сборник научных трудов. – зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, – 2013. – С. 3–6.

44. Должиков, В.В. Совершенствование процесса подачи семян пропашных культур пневмовакуумным аппаратом [Текст] : диссертация кандидата технических наук / В.В. Должиков. – зерноград, 2013. – 169 с.

45. Дубина Константин Павлович. Совершенствование процесса высева семян кукурузы пневмовакуумным аппаратом с дозирующими элементами переменного сечения: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.01 / Дубина Константин Павлович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрный университет»], 2020.

46. Дубина, К.П. Оптимизация конструкции вакуумных высевающих аппаратов с дозирующими элементами переменного сечения [Текст] / В.В. Должиков, К.П. Дубина, А.Ю. Несмиян, Д.С. Стариков // Вестник НГИЭИ. – 2019. – № 1 (92). – С. 49–59.

47. Дубина, К.П. Совершенствование процесса дозирования семян кукурузы вакуумным аппаратом точного высева [Текст] / А.Ю. Несмиян, К.П. Дубина, П.С. Мальцев // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2018. – № 2 (46). – С. 111–117.

48. Евротехника МПС [Электронный ресурс] // Сайт компании. URL: <https://egps.ru/tekhnika/posevnaya-tekhnika/mso-duo/> (дата обращения: 29.10.2023)

49. Жигжитов, А.О. Обоснование основных параметров воздушно-гравитационного сепаратора для очистки зерна/ А.О. Жигжитов// автореферат дис. ... кандидата технических наук / Вост.-Сиб. гос. ун-т технологий и упр.. Улан-Удэ, 2017.

50. Журавлев, Б.И. Исследование пневматических высевальных аппаратов для точного высева семян [Текст] / Б.И. Журавлев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1961. – № 9. – С. 19–20.

51. Завражнов, А.И. Модернизированная система контроля высева семян [Текст] / А.И. Завражнов, А.В. Балашов, С.П. Стрыгин, А.В. Крищенко, Н.Ю. Пустоваров // Наука в центральной России. – 2019. – № 2 (38). – С. 53–60.

52. Зубрилина, Е.М. Метод обобщенной оценки при выборе факторов и уровней их варьирования в многофакторном исследовании высевальных аппаратов [Текст] / Е.М. Зубрилина, И.А. Маркво, А.С. Журавлев, В.И. Новиков, Е.В. Нерода // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2019. – Т. 13. – № 4. – С. 65–70.

53. Зюлин, А.Н. Зависимость полноты просеивания фракций зернового материала от количества решет в канале гравитационного зерноочистителя/ А.Н. Зюлин, А.А. Стрелков // Достижения науки и техники АПК, 2001, № 10.-134 с.

54. Иванов, П.А. Теоретические исследования движения семени по криволинейному участку распределителя/П.А. Иванов, Р.Р. Сафаров, А.В. Жигайлов, Е.В. Курило// АгроЭкоИнфо. 2021. № 3 (45).–С 1–6.

55. Иванов, В.П. Некоторые вопросы теории присасывания единичного семени к неподвижной присоске пневматического высевального аппарата [Текст] / В.П. Иванов // Земледельческая механика. – 1968. – Т. 11. – С. 137–149.

56. Инновационные инженерные решения в исследовании параметров высевальных 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.

57. Исследование влияния износа дозирующих дисков пневматических аппаратов овощных сеялок на качество посева лука / Ф. Ю.

Бурменко, В. Г. Звонкий, А. В. Димогло, В. С. Михайлов // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2020. – № 3(66). – С. 88-96.

58. 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.

59. Казаров К.Р. Движение вороха семян сахарной свеклы на гравитационном сепараторе с заданной криволинейной поверхностью/ К.Р. Казаров, В.К. Астанин, В.А. Черников, О.Н. Щербаков, В.П. Евсюкова, А.А. Одиноких // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2011. № 4 (31). С. 51-54.

60. Казачков, И.А. Статистический анализ распределения линейных размеров семян [Текст] / И.А. Казачков. – зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2007. – 11 с.

61. Карабутов, Н. Н. Введение в теорию эксперимента в исследовании систем / Н. Н. Карабутов. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 168 с. — ISBN 978-5-507-44900-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/276650> (дата обращения: 05.11.2023).

62. Каталог сельскохозяйственной техники [Электронный ресурс] // ПАО Червона Зирка. – Режим доступа: [http://www.chervonazirka.com/content/pdf/all\\_ru.pdf](http://www.chervonazirka.com/content/pdf/all_ru.pdf).

63. Киреев, И.М. Исследование распределения семян пневматическим высевающим аппаратом точного высева [Текст] / И.М. Киреев, З.М. Коваль // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 6 (264). – С. 12–17.

64. Киреев, И.М. Новые метод и средство контроля качества работы пневматических высевальных аппаратов точного высева семян [Текст] / И.М. Киреев, З.М. Коваль, Ф.А. Зимин // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 1 (271). – С. 24–27.

65. Кирова, Ю.З. Исследование законов движения семян по криволинейной поверхности скребка высевального аппарата / Ю. З. Кирова, В. А. Киров, А. З. Брумин // Инновационные достижения науки и техники АПК: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Самара, 11–12 декабря 2019 года. – Самара: РИО Самарского ГАУ, 2019. – С. 394-397.

66. Классификация основных фондов, включаемых в амортизационные группы: офиц. [Текст] – М.: Ось-89, 2002. – 147 с.

67. Козлова, Е.В. Совершенствование технологического процесса и оборудования для сепарирования и сортирования семян сосны, ели и лиственницы: диссертация кандидата технических наук [Текст] / Е.В. Козлова. – Архангельск, 2021. – 136 с.

68. Колемаев, В.А. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / В.А. Колемаев, О.В. Староверов, В.Б. Турундаевский. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.

69. Крючин, Н.П. Теоретические исследования процесса дозирования сыпучего материала [Текст] / Н.М. Семашкин, Ю.М. Исаев, Н.П. Крючин, А.Н. Крючин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 1 (45). – С. 6–11.

70. Кулистикова, Т. Посев – дело точное [Электронный ресурс] / Т. Кулистикова // АгроТехника. – Режим доступа: <http://www.agro-technika.ru/issue/11/660/>.

71. Кухмазов, К.З. Совершенствование технологии и технических средств для производства лука-севка в условиях Среднего Поволжья: дис. ... докт. техн. наук / К.З. Кухмазов. – Пенза, 2000. – 402 с.

72. Ларюшин, Н. П. Научные основы разработки комплекса машин для уборки и послеуборочной обработки лука: специальность 05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Ларюшин Николай Петрович. – Рязань, 1996. – 49 с.

73. Леженкин, А.Н. Теоретический анализ движения слоя почвы по криволинейной рабочей поверхности рыхлителя/ А.Н. Леженкин, И.А. Серый, С.М. Коломиец, Н.А. Рубцов// Праці Таврійського Державного агротехнологічного університету. 2019. т. 3. № 19. С. 115-120.

74. Лобачевский, П.Я. Агротехнические требования к дискретным дозирующим системам посевных машин [Текст] / П.Я. Лобачевский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 4. – С. 28–29.

75. Лобачевский, П.Я. Закономерности оптимальной подачи семян аппаратом точного высева [Текст] / П.Я. Лобачевский // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2003. – № 2. – С. 20 – 22.

76. Лобачевский, П.Я. Закономерности подачи технологического материала дискретными дозаторами [Текст] / П.Я. Лобачевский // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1999. – № 6. – С. 33 – 35.

77. Лобачевский, П.Я. Закономерности пунктирного посева [Текст] / П.Я. Лобачевский // Известия вузов. Северо-Кавказский регион: технические науки. – 2004. – № 3. – С. 111–114.

78. Лобачевский, П.Я. Закономерности точного машинного сева [Текст]/ П.Я. Лобачевский // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1996. – № 6. – С. 33–35.

79. Лобачевский, П.Я. Изыскание оптимальной конструкции высевающих аппаратов избыточного давления [Текст] / П.Я. Лобачевский, В.И. Хижняк, А.Ю. Несмиян, Ф.В. Авраменко, С.А. Ашитко // Совершенствование технологий в АПК: сборник научных трудов. – зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2007. – С. 91–93.



80. Лобачевский, П.Я. Модернизация пневматического высевающего аппарата [Текст] / П.Я. Лобачевский, В.И. Хижняк, А.Ю. Несмиян // Известия Тульского государственного университета. Серия: Проблемы сельскохозяйственного машиностроения. – Вып. 2. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2005. – С. 124.

81. Лобачевский, П.Я. Оценка качества посева [Текст] / П.Я. Лобачевский, Ф.В. Авраменко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 7. – С. 12–13.

82. Лобачевский, П.Я. Проектирование сеялок для точного посева пропашных культур [Текст] / П.Я. Лобачевский, В.И. Хижняк, А.Ю. Несмиян. – зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2006. – 48 с.

83. Лобачевский, П.Я. Пути повышения качества работы пневматических высевающих аппаратов [Текст] / П.Я. Лобачевский, А.Ю. Несмиян, В.И. Хижняк, Ю.М. Черемисин // Моделирование процессов производства продукции растениеводства: межвузовский сборник научных трудов. – зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2007. – С. 12–15.

84. Лобачевский, П.Я. Стенд для исследования высевающих систем пропашных сеялок [Текст] / П.Я. Лобачевский, П.А. Бондаренко, А.Ю. Несмиян и др. // Механика дискретных сред: межвузовский сборник научных трудов – зерноград: ВПО ФГОУ АЧГАА, 2002. – С. 90–91.

85. 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.

86. Методические указания по оценке эффективности инвестиционных проектов [Текст] / Утв. Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, № ВК 477 от 21.06.1999 с посл. изм. и доп.

87. 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.

88. 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.

89. 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.

90. 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

91. 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.

92. Михайлов, В. С. Процесс подачи семян двух сельскохозяйственных культур высевающим аппаратом сеялки точного высева / В. С. Михайлов, В. В. Семишкур, В. Г. Козлов // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы национальной научно-практической конференции, Воронеж, 01 марта – 28 2023 года. Том Часть V. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2023. – С. 199-205.

93. 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.

94. 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.

95. Модернизация установки исследования работы высевальных 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.

96. Мойзес Б. Б., Плотникова И. В., Редько Л. А. Статистические методы контроля качества и обработка экспериментальных данных. М.: Юрайт, 2019. 118 с.

97. Научное обоснование энергосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур в агрофирмах ПМР / И. Ф. Анисимов, С. Ф. Чернобрисов, В. Н. Чубко [и др.] // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2014. – № 3(48). – С. 102-107.

98. Научные основы комплектования ресурсосберегающих машинно-тракторных агрегатов / И. Ф. Анисимов, С. Ф. Чернобрисов, В. С. Михайлов [и др.] // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2017. – № 3(57). – С. 94-100.

99. Несмиян, А.Ю. Совершенствование технологического процесса высева семян тыквы аппаратом пневматической сеялки: диссертация ...

кандидата технических наук: 05.20.01.- зерноград, 2003.- 139 с.: ил. РГБ ОД, 61 03-5/2751-7

100. Несмиян, А.Ю. Влияние физико-механических свойств семян пропашных культур на качество работы пневмовакуумного высевающего аппарата [Текст] / А.Ю. Несмиян, А.В. Яковец, В.В. Должиков, С.А. Ашитко // Агро XXI, – 2012, – № 4–6. С. – 44–45.

101. Несмиян, А.Ю. Повышение скорости машинно–тракторного агрегата на посеве пропашных культур [Текст] / А.Ю. Несмиян, В.В. Должиков, А.В. Яковец // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2011. – № 4 (31). – С. 61–63.

102. Несмиян, А.Ю. Синтез рациональных параметров пневмовакуумного высевающего аппарата пропашной сеялки [Текст] / А.Ю. Несмиян, А.В. Яковец, В.В. Шумаков // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2012. – № 2 (27). – С. 71–76.

103. Несмиян, А.Ю. Совершенствование технологического процесса высева семян тыквы аппаратом пневматической сеялки: диссертация кандидата технических наук [Текст] / А.Ю. Несмиян. – зерноград, 2002. – 132 с.

104. Несмиян, А.Ю. Теория работы высевающего аппарата пропашной сеялки вакуумного типа [Текст] / А.Ю. Несмиян, В.В. Должиков, А.В. Яковец // Вестник Белгородского ГТУ им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 2. – С. 72–75.

105. Нестеров, К.Г. / Анализ существующих конструкций сеялок для пропашных культур [Текст] / К.Г. Нестеров, И.В. Кудрявцев, А.Н. Кулинич, Е.М. Зубрилина// Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2006. – № 3. – С. 87–89.

106. Овощные пневматические сеялки точного высева [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agro-sistema.ru>

107. Оптимизация вакуумных высевальных аппаратов пропашных сеялок: монография / А.Ю. Несмиян, В.И. Хижняк, В.В. Должиков, А.В. Яковец, Д.Е. Шаповалов. – зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2013. – 176 с.

108. Основные направления совершенствования сеялок точного высева пропашных культур / А. А. Завражнов, А. И. Завражнов, В. Ю. Шепелев, А. В. Якушев // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 1(128). – С. 7-21. – DOI 10.24412/2227-9407-2022-1-7-21.

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

110. Патент № 548. Высевальной 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".

111. Патент № 555. Стенд для исследования пневматических высевальных 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".

112. Патент на полезную модель № 212333 U1 Российская Федерация, МПК А01С 7/04. Высевальной 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.

113. Патент на полезную модель № 213797 U1 Российская Федерация, МПК А01С 5/08. Пневматическая сеялка для двустрочного ленточного посева овощных культур: № 2021119728: заявл. 05.07.2021:

опубл. 29.09.2022 / А. М. Гиевский, В. С. Михайлов, В. Г. Козлов, В. А. Гулевский; заявитель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.

114. 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.

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

116. Повышение качества посева семян лука разработкой и применением высевающего аппарата сеялки: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.01 / Загудаев Сергей Дмитриевич; [Место защиты: Пенз. гос. с.-х. акад.]. – Пенза, 2013. – 144 с.

117. Поликанов, А.В. Совершенствование технологического процесса полосового посева семян лука с обоснованием параметров подпочвенноразбросного сошника: дис. ... канд. техн. наук / А.В. Поликанов. – Пенза, 1999. – 183 с.

118. Попов, А.Е. К вопросу о моделировании движения элемента потока в гравитационном сепараторе/ А.Е. Попов//В сборнике: Севергеоэкотех-2011. материалы XII Международной молодежной научной конференции: в 5 частях. Ухтинский государственный технический университет. 2011. С. 266-268.

119. Попов, А.Е. Моделирование процесса очистки зернового вороха на рабочем органе гравитационного сепаратора / А.Е. Попов, Н.Г. Спирина // Международная научно-практическая конференция преподавателей, сотрудников и аспирантов «образование, наука, производство и управление»

/ Сборник научных и научно-методических докладов / Старооскольский технологический институт. – 2009. – Том II – С. 183 – 185.

120. Попов, А.Е. О вопросе моделирования потока частиц по криволинейной сепарирующей поверхности, параболической формы, с учетом потери массы / А.Е. Попов // Международная научно-практическая конференция / Сб. н. тр. / Старооскольский технологический институт. – 2007. – Том IV – С. 43 – 45.

121. Полторынкин, С. С. Разработка и исследование пневмовинтового высевающего аппарата для трудносыпучих семян травяных культур: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.01 / Полторынкин Сергей Сергеевич; [Место защиты: Волгогр. гос. аграр. ун-т]. – Волгоград, 2015. – 180 с.

122. Посевная техника [Электронный ресурс] // АО «Молдагротехника»: [Сайт]. – Режим доступа: <http://www.moldagrotehnica.md/products.php?item=3>.

123. Посевные площади основных сельскохозяйственных культур под урожай 2018 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.gks.ru/bgd/free/b04\\_03/IssWWW.exe/Stg/d01/153sev18.htm](http://www.gks.ru/bgd/free/b04_03/IssWWW.exe/Stg/d01/153sev18.htm).

124. Пропашные сеялки JohnDeere [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ekoniva-tehnika.com/catalog>

125. Пропашные сеялки фирмы Kinze [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://allspectech.com/selhoztehnika/dlya-zemledeliya/posevnaya-i-posadochnaya/kinze.html>

126. Сахнов, А.В. Совершенствование процесса локального внесения минеральных удобрений при посеве сахарной свеклы: диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01 / Сахнов Андрей Васильевич; [Место защиты: Воронеж. гос. аграр. ун-т им. К.Д. Глинки].- Белгород, 2009.- 127 с.: ил. РГБ ОД, 61 09-5/1269.

127. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 362. Программный комплекс для исследования работы

пневматического высевяющего 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".

128. Сеялки и посевные комплексы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agroserver.ru/articles/1385.htm> – Дата обращения: 15.09.2022.

129. Сеялки фирмы Kinze Home Russia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kinze.com/> – Дата обращения: 20.10.2022.

130. Совершенствование посевной секции сеялки с дисковыми сошниками: монография / В.Г. Козлов, А.Л. Жилияков, Е.В. Козлова, В.С. Михайлов, Куликов А.С. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2023. – 115 с. – ISBN 978-5-7267-1309-0.

131. Совершенствование сеялки для двустрочного ленточного посева овощных культур / В. С. Михайлов, Е. В. Козлова, А. А. Заболотная, Е. А. Кондобарова // Проблемы ресурсообеспеченности и перспективы развития агропромышленного комплекса: Материалы национальной научно-практической конференции, Воронеж, 01 октября 2021 года. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2021. – С. 217-221.

132. 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.

133. Соклаков, В.В. Режимы и параметры универсальной дозирующей системы дифференцированного высева семян [Текст] : диссертация кандидата технических наук / В.В. Соклаков. – зерноград, 2003. – 179 с.



134. Спирина, Н.Г. О форме решет гравитационных сепараторов/Н.Г. Спирина, А.Е. Попов, В.П. Шацкий// Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1-4. С. 125-128.

135. СТО АИСТ 5.6-2018 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные и посадочные. Показатели назначения и надежности. Общие требования» – М.: Изд-во стандартов, 2018. – 26 с.

136. Технология и технические средства производства и подготовки к посеву семян бахчевых культур / В. Г. Абезин, М. Н. Шапров, В. А. Моторин, О. Н. Беспалова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – № 1(45). – С. 181-188.

137. Труфляк, Е.В. Исследование работы элементов конструкции гидросеялки для посева овощных культур [Текст] / Е.В. Труфляк, И.С. Скоробогаченко, В.Ю. Сапрыкин, И.С. Труфляк // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 116. – С. 943–956.

138. Халанский, В.М. Сельскохозяйственные машины [Текст] / В.М. Халанский, И.В. Горбачев. – М.: КолосС, 2003. – 624 с.

139. Хижняк, В.И. Дозирование семян вакуумным высевальным аппаратом пропашной сеялки [Текст] / В.И. Хижняк, А.Ю. Несмиян // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2011. – № 4. – С. 30–31.

140. Хижняк, В.И. Обоснование параметров пневматического аппарата избыточного давления для точного высева семян сои [Текст] : диссертация кандидата технических наук / В.И. Хижняк. – зерноград, 2002. – 149 с.

141. Цепляев, А.Н. Почвосберегающая механизированная технология посева пропашных культур [Текст] / А.Н. Цепляев, М.Н. Шапров, И.С. Мартынов // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 3. – С. 69–72.

142. Черемисин, Ю.М. Совершенствование процесса высева семян хлопчатника аппаратом пневматической сеялки [Текст]: диссертация кандидата технических наук / Ю.М. Черемисин. – зерноград, 2003. – 132 с.

143. 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.

144. Чернобрисов, С. Ф. Обоснование выбора оптимального состава комбинированного машинно-тракторного агрегата / С. Ф. Чернобрисов, А. В. Димогло, В. С. Михайлов // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2020. – № 3(66). – С. 96-103.

145. Чичкин, В.П. Исследование процесса распределения семян и растений овощных культур: диссертация ... кандидата технических наук: 05.00.00. – Тирасполь, 1969. – 276 с.

146. Шацкий, В.П. Моделирование движения зернового потока в гравитационном сепараторе/В.П. Шацкий, В.И. Оробинский, А.Е. Попов// Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2015. № 4 (47).- С. 72-79.

147. Яковец, А.В. Анализ дозирующих систем сеялок точного высева [Текст] / А.В. Яковец // Аграрная Россия. – 2011. – № 3. – С. 60–63.

148. Яковец, А.В. Повышение равномерности распределения семян пропашных культур путем синтеза рациональных параметров и режимов работы пневмовакуумного высевающего аппарата. Тезисы докладов: [Текст] / А.В. Яковец, А.Ю. Несмиян // Инновационное развитие АПК: межвузовской научной конференции аспирантов и молодых ученых – зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2012. – С. 37–41.

149. Яковец, А.В. Повышение точности дозирования семян пропашных культур пневмовакуумным высевающим аппаратом [Текст]:

диссертация кандидата технических наук / А.В. Яковец. – зерноград, 2012. – 132 с.

150. Яковец, А.В. Улучшение равномерности распределения семян пропашных культур [Текст] / А.В. Яковец, В.В. Шумаков // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2012. – № 1 (26). – С. 46–50.

151. Яковец, А.В. Физико–механические свойства семян некоторых пропашных культур и анализ их влияния на качество работы пневмовакуумного высевашего аппарата [Текст] / А.В. Яковец, А.Ю. Несмиян, В.В. Шумаков, А.Ю. Захарченко // Совершенствование технических средств в растениеводстве: межвузовский сборник научных трудов. – зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2011. – С. 32–36.

152. Яковец, А.В. Физико-механические свойства семян пропашных культур [Текст] / А.В. Яковец, В.В. Шумаков // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2011. – № 3 (22). – С. 68–72.

153. Ямпиров, С.С. Математическая модель процесса сепарации зернового материала гравитационным сепаратором/ С.С. Ямпиров, В.Б. Балданов, Б.Д. Цыдендоржиев, Ю.А. Сергеев //Вестник ВСГУТУ. 2013. № 5 (44). С. 85-90.

154. Ямпиров, С.С., Балданов В.Б. Интенсификация процесса разделения частиц зернового материала на гравитационном сепараторе: сб. науч. тр. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2012. – Вып. 8. – С. 171-173.

155. Badretdinov I. Mathematical modeling and study of the grain cleaning machine sieve frame operation/ I. Badretdinov, S. Mudarisov, R.Lukmanov, R.Ibragimov, Permyakov V., M.Tuktarov//INMATEH – Agricultural Engineering. 2020. T. 60. № 1. С. 19-28.

156. Chaddock, R. E. Principles and methods of statistics. Boston: Houghton Mifflin Company, 1925. 471 p.

157. Garcia, L.C. and S.G. Barron, 1996. Shakes influence on work precision of pneumatic seeders // Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering, (ICAE'1996), Madrid. – P. 243–244.

158. Kachman, S.D. and J.A. Smith, 1995. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering // *Trans. ASAE.*, 38. – P. 379–387.
159. Kharchenko, S. Modeling of aerodynamic separation of preliminarily stratified grain mixture in vertical pneumatic separation duct/ S. Kharchenko , Y. Borshch , M. Piven , M. Abduev , S. Kovalyshyn , A. Miernik , Popardowski , P. Kielbasa // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2021. T. 11. № 10:4383.
160. Nielsen, R.L., 1994. Planting speed effects on stand establishment and grain yield of corn // *Purdue University, AGRY-94-02.* – P. 22.
161. Nikonov, M. The choice of parameters of sieve machines for cleaning and separation of grains and seeds/ S. Buneev , M. Nikonov, A. Klapp, A. Nikonov// *Агропромышленные технологии Центральной России*. 2019. № 3 (13). С. 78-82.
162. Parish, R.L. and R.P. Bracy, 2003. An attempt to improve uniformity of a Gaspardo precision seeder // *Hortic. Technol.*, 13.– P. 100–102.
163. Parish, R.L., P.E. Bergeron and R.P. Bracy, 1991. Comparison of vacuum and belt seeders for vegetable planting // *Applied Eng. Agric.*, 7. – P. 537–540.
164. Shatsky, V. P. Analysis of the beats of separation sieve pans/ V. P. Shatsky, V. I. Orobinsky, I. I. Axeonov, A. S. Kornev//*Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 659(1) doi:10.1088/1755-1315/659/1/012106 (2021).
165. Stoica, D. Analysis of separation curves for a conical sieve with a vertical shaft and oscillation movement/ D. Stoica // *В сборнике: Actual Tasks on Agricultural Engineering. Proceedings of the 42. International Symposium on Agricultural Engineering*. 2014. С. 263-272.
166. Stoica, D. Assessment indices for the efficiency of the separation process on a sieve with conical separation surface/ D. Stoica , G. Voicu , G. Constantin, P. Tudor, L. Popa // *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2020. T. 60. № 1. С. 193-200.



Проректор по научно-инновационной работе  
ГНУ им. Т.Г. Шевченко доцент

И.П. Капитальчук

« 03 » марта 2023 г.

### АКТ ВНЕДРЕНИЯ

в учебный процесс на кафедре Эксплуатации и ремонта МТП Аграрно-технологического факультета Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко результатов научных разработок по теме: «Повышение качественных характеристик работы высевающих аппаратов сеялок».

Мы, нижеподписавшиеся, Сярова Л.Н. – заместитель декана по НИР Аграрно-технологического факультета, доцент; Клиник Г.В. – заведующий кафедрой Эксплуатации и ремонта машин, доцент; Звонкий В.Г. – заведующий кафедрой АТПК, доцент; Бурменко Ф.Ю. – профессор кафедры Машиноведения и Технологического оборудования, научный руководитель внедряемых результатов составили настоящий АКТ ВНЕДРЕНИЯ результатов научно-исследовательской работы, выполненной Михайловым В.С. и Куликовым А.С. (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) на тему: «Повышение качественных характеристик работы высевающих аппаратов сеялок».

#### *Основные результаты работы:*

- закономерности влияния элементов высевающего аппарата сеялки точного высева на устойчивость процесса формирования дискретной подачи семян лука, отличающиеся расчетными формулами, определяющими взаимосвязь параметров схода семян с высевающего диска на показатели подачи семян лука в рядок;
- рациональная конструкция криволинейных направляющих в качестве подающих устройств в сошниковую зону сеялки, отличающаяся формой кривизны, позволяющей семенам перемещаться с постоянной скоростью, что исключает завалы и способствует более рациональным режимам работы высевающего аппарата сеялки;
- результаты экспериментальных исследований, в том числе регрессионные модели, оценки влияния конструкции криволинейных направляющих и параметров подающих устройств высевающего аппарата на показатели подачи семян лука;
- показатели технико-экономической оценки работы высевающих аппаратов предложенной конструкции с элементами равномерной подачи семян лука в производственных условиях.

*Указанная работа внедрена (использована) в учебный процесс в 2021-2023 уч. гг. по следующим дисциплинам:*

- Теория технических средств АПК;
- Проектирование технических средств АПК.

**Наименование объекта и предмета внедрения (использования) результатов научно-исследовательской работы соискателя:**

**объект внедрения** – пневматический высевающий аппарат и программный комплекс для исследования сеялок точного высева;

**предмет внедрения** – диагностические методы исследования и контроля конструктивных и регулировочных параметров пневматических высевающих аппаратов сеялок точного высева, работающих на различных режимах и видами посевного материала.

**Эффект от внедрения (использования) результатов внедрения:** научно-технические результаты по проблеме исследования имеют важное значение при создании новых видов агрегатов и оборудования, что позволяет значительно улучшить качество подготовки специалистов по специальности 2.23.05.01- Наземные транспортно-технологические средства, специализации «Автомобили и тракторы» и «Технические средства в АПК» и направлениям магистратуры 4.35.04.06 – Агроинженерия и 2.23.04.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

Данная разработка защищена семью патентами на изобретение:

№ 504 «Способ восстановления высевающего диска пневматической сеялки»;

№ 515 «Устройство для электроэрозионной обработке деталей машин»;

№ 530 «Испытательный стенд для исследования работы пневматических высевающих аппаратов»;


№ 538 «Лабораторная установка для исследования работы пневматических высевающих аппаратов»;

RU № 212333 U1 «Высевающий аппарат для семян овощных культур и ориентированного внесения гранулированного удобрения»;

RU № 213797 U1 «Пневматическая сеялка для двустрочного ленточного посева овощных культур»;

RU № 216090 «Стенд для испытания сеялок точного высева».

Заместитель декана по НИР АТФ, доцент

 Л.Н. Сярова

Заведующий кафедрой ЭиР, доцент

 Г.В. Клинк

Заведующий кафедрой АТПК, доцент

 В.Г. Звонкий

Научный руководитель, профессор

 Ф.Ю. Бурменко

Соискатели

 В.С. Михайлов  
 А.С. Куликов

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
 УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
 «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
 ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I»



**А К Т**

о внедрении в учебный процесс

на кафедре эксплуатации транспортных и технологических машин  
 ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет  
 имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ)

научных разработок в рамках научной школы «Совершенствование методов проектирования технологических процессов, технических систем и средств для агропромышленного комплекса» по теме «Повышение точности и равномерности работы высевальных аппаратов сеялок точного посева»

1. Исследования выполнены кафедрой эксплуатации транспортных и технологических машин Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

2. Ответственный исполнитель - доктор технических наук, заведующий кафедрой эксплуатации транспортных и технологических машин Козлов Вячеслав Геннадиевич.

3. Соисполнители – соискатели кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин Михайлов Владимир Сергеевич, Куликов Алексей Сергеевич.

4. Наименование выполненных разделов темы:

Разделы работы по теме «Повышение точности и равномерности работы высевальных аппаратов сеялок точного посева» соисполнителями выполнены поэтапно и включают такие вопросы, как закономерности влияния элементов высевального аппарата сеялки точного посева на устойчивость процесса формирования дискретной подачи семян, отличающиеся расчетными формулами, определяющими взаимосвязь параметров схода семян с высевального диска на показатели подачи семян в рядок; рациональная конструкция криволинейных направляющих в качестве подающих устройств в сошниковую зону сеялки, отличающаяся формой кривизны, позволяющей семенам перемещаться с постоянной скоростью, что исключает завалы и способствует более рациональным режимам работы высевального аппарата сеялки.

5. Краткое описание результатов внедрения, конечный результат.

Анализ сил, действующих на семя при его взаимодействии с рабочей поверхностью криволинейных направляющих подающих устройств в сошниковую зону сеялки, показал, что при высеве семян рациональной кривой поверхности более предпочтительными являются кривые, по которым частицы движутся с постоянной скоростью, что исключает завалы и способствует более рациональным режимам работы установок.

К внедрению в производство рекомендован пневматический высевной аппарат по патенту RU № 212333 U1, содержащий семенной бункер и бункер для удобрений, высевной диск и барабан для дозирования удобрений, сошник для несения удобрений и семян.

При высеве семян высевными аппаратами с криволинейными направляющими подающих устройств в сошниковую зону сеялки они могут быть выполнены из материалов, обеспечивающих наименьшее сопротивление перемещения с минимальной шероховатостью поверхностей.

Высевной аппарат предложенной конструкции при оптимальных параметрах и режимах работы, в лабораторных условиях, обеспечил частоту единичных подач семян 99,0...99,5%, что близко к технологическому оптимуму. Причем даже при скорости посевного агрегата до 14,6 км/ч (при норме посева 4 шт./м), частота единичных подач не опускалась ниже 97%, это говорит о стабильности реализации технологического процесса посева семян усовершенствованным аппаратом.

6. Внедрение по курсу дисциплин: полученные материалы используются при изучении дисциплины «Цифровые технологии в агроинженерии», в научно-исследовательской работе бакалавров и магистрантов направления «Агроинженерия».

7. Влияние на качество подготовки специалистов – решается актуальная задача повышения точности посева посевных агрегатов, путем совершенствования конструктивно-технологической схемы работы высевных аппаратов.

8. Рекомендации - результаты исследований рекомендуется использовать в курсовом и дипломном проектировании при подготовке специалистов соответствующих программ и в магистерских диссертациях, выполненных по данной научной теме.

Зав. кафедрой  
эксплуатации транспортных  
и технологических машин, д.т.н.

  
В.Г. Козлов

Протокол № 010120-07 от 01 марта 2023 г.

Соисполнители:

  
В.С. Михайлов

  
А.С. Куликов



## Акт

внедрения в производство результатов диссертационного исследования  
«Повышение качественных характеристик работы высевальных  
аппаратов сеялок»

Работа, выполненная соискателем тщательно изучена в нашей агрофирме ООО «Агропарк» с. Парканы, Слободзейского района, Молдова, Приднестровье, техническое предложение по изготовлению и испытанию опытного образца пневматического высевального аппарата был реализован в течении 2019 - 2023 г.г. Разработанный автором вариант подачи семян лука в виде направителя семян для сеялки точного высева марки Sfoggia Calibra показал положительные результаты, отмечается высокая эффективность работы высевального аппарата в плане равномерности высева семян и минимизации их пропуска в рядке.

В результате проведенных при участии соискателя работ оптимизированы регулировочные и конструктивные параметры сеялки Sfoggia Calibra с модернизированным пневматическим высевальным аппаратом, что обеспечило достижения оптимальной скорости движения посевного агрегата 6,4 км/ч при приемлемых значениях качества посева за счет нового направителя семян.

Представляет также большой интерес предложенные соискателем варианты дальнейшего совершенствования направителя семян за счет применения криволинейного движения семени обеспечивающих равномерный высев семян. Предварительная оценка показала, что реализация указанных мероприятий позволяет повысить сезонную производительность сеялок типа Sfoggia до 600 га и обеспечить возможность использования на различных модификациях данной сеялки.

Результаты данного исследования, проведенного Михайловым В.С., представляют большой интерес для нашей агрофирмы, которая специализируется на производстве и выращивании различных сортов лука. Исследование позволило предприятию получить новые знания и применить их на практике для улучшения качества работы высевальных аппаратов сеялок при высевах лука.

Мы подтверждаем, что результаты диссертационного исследования Михайлова В.С. являются значительным вкладом в развитие нашей агрофирмы нами принято решение по внедрению в производство согласно следующим пунктам:

- изучение результатов исследования, включая различные способы оптимизации работы высевальных аппаратов сеялок при высевах лука;

- разработка новой технологии, которая учитывает полученные в ходе исследования знания и опыт;
- внедрение новой технологии в производство нашей агрофирмы;
- обучение персонала, включая рабочих на производстве и инженеров, работе с новой техникой и технологией;
- проведение мониторинга и анализа производственных показателей, для оценки эффективности и внесения необходимых изменений.

Мы готовы к реализации данного проекта и предлагаем всем заинтересованным сторонам поддержать наши усилия в улучшении качества работы высевальных аппаратов сеялок и повышении эффективности нашего производства.

Мы, представители компании ООО «Агропарк», выражаем свою благодарность и признательность Михайлову Владимиру Сергеевичу за предоставление результатов своего исследования «Повышение качественных характеристик работы высевальных аппаратов сеялок» на примере лука сорта «Боско» и надеется на активное продолжение его работ и нашего сотрудничества.

от ООО «Агропарк»

Главный инженер

  
(подпись) \_\_\_\_\_

Гончарук А.А.  
(ФИО)

Директор

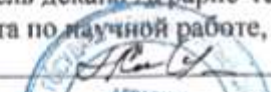
  
(подпись) \_\_\_\_\_

Тимофеев В.Н.  
(ФИО)

от ПГУ им. Т.Г. Шевченко

Заместитель декана Аграрно-технологического факультета по научной работе, к.с.-х.н., доцент

\_\_\_\_\_ Л.Н. Сярова

  
АГРИНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК  
Заведующий кафедрой Эксплуатации и ремонта машинно-тракторного парка Аграрно-технологического факультета, к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Г.В. Кливик



ТВЕРЖДАЮ

Министр сельского хозяйства и природных ресурсов Приднестровской Республики

О.И. Дилигул

« \_\_\_\_\_ » января 2024 г.

Рекомендации для агропредприятий Приднестровья по внедрению овощных сеялок с усовершенствованным пневматическим высевальным аппаратом, модернизированным на основе результатов диссертационной работы Михайлова Владимира Сергеевича, старшего преподавателя Приднестровского государственного университета имени Т.Г. Шевченко

#### Обоснование работы

В настоящее время весьма актуальной остаётся задача точного сингулярного посева овощных культур, а в особенности семян лука репчатого так как большинство отечественных и зарубежных сеялок промышленного производства не в полной мере способны производить посев с равномерной дискретной подачи семян лука при посеве в борозду, в соответствии с агротехнологическими требованиями.

Лук-репку в настоящее время возделывают из семян и севка. Проблемой при посеве семян лука на лук-репку является сложность равномерного сингулярного распределения в соответствии с агротехническими требованиями.

В настоящее время в Приднестровье для посева семян лука репчатого применяются следующие способы: однострочный, двухстрочный, многострочный, ленточный. При таком посеве используются сеялки для мелкосемянных культур.

Основным рабочим органом в сеялках служит высевальный аппарат, от которого зависит правильность формирования потока семян с необходимыми по агротребованиям заданными параметрами. Качество работы высевального

устройства определяет равномерность распределения семян в рядке по засеваемой площади поля, а также в итоге влияет на урожайность культур. Для получения высоких и устойчивых урожаев высевающие аппараты, используемые при посеве овощных культур, должны удовлетворять следующим требованиям: равномерность и устойчивость высева, минимизация травмированности семенного материала, простота настройки на норму высева, универсальность и т.д.

Посев является очень важной операцией в технологии возделывания лука и должна обеспечить следующие параметры:

1. Точный высев одиночных семян с правильной их расстановкой и выдержкой заданного расстояния как между семенами в ряду (строчке), так и между рядами (строчками), т. е. соблюдение схемы посева. Это очень важно для соблюдения рекомендуемой нормы высева в количестве семян на гектар, что гарантирует каждому растению определенную площадь питания, создает необходимую густоту посевов, позволяет проводить культивацию и другие приемы по обработке почвы. Все это обеспечивает удобство и эффективность агротехнических работ, высокое качество и урожайность овощных культур. Кроме того, при точном соблюдении нормы высева ощутимый эффект наблюдается от экономии семенного материала, цена на который составляет значительную часть затрат при возделывании овощей.

2. Стабильная глубина высева и правильная заделка семян. Так как семена овощей очень часто мелкосемянные, и соответственно, высеваются на небольшую глубину, важно соблюдать однородную и точно заданную глубину посева. При слишком большой глубине семенам не хватит энергии для прорастания, а при слишком мелкой заделке семена попадут в верхний сухой слой почвы и также не смогут прорасти из-за отсутствия влаги или же их может выдуть ветер.

3. Предпосевное внесение удобрений и микро гранулированных препаратов. Предпосевное удобрение позволяет обеспечить прорастающие семена

всеми необходимыми микро- и макроэлементами питания в требуемом количестве в один из самых важных этапов вегетации – начальный период роста.

Для посева овощных культур используются разнообразные конструкции сеялок, которые могут оснащаться как пневматическими, так и механическими дозирующими системами.

В условиях рискованного земледелия (зона Приднестровья) лучше всего себя зарекомендовали сеялки Итальянских производителей, что объясняется схожими природно-климатическими условиями и структуры почвы. Это прежде всего сеялки пневматические точного высева для овощей SFOGGIA Calibra Evo в различных модификациях: однострочного высева (Fila Singola), Слим, Твин, Трис и Тандем и аналогичная Gaspardo Olimpia. Эти сеялки занимают более 80 % машинного парка в агрофирмах Приднестровья.

В этих сеялках используется пневматический высевающий аппарат точного высева, которых хорошо зарекомендовал себя в почвенных и агроклиматических условиях Приднестровья.

Анализ эксплуатации этих сеялок точного высева и изучение эффективности работы их пневмовакуумных аппаратов в агрофирмах показал, что наиболее перспективным направлением модернизации вакуумных высевающих аппаратов является совершенствование системы подачи семян от дозирующего устройства до бороздки семенного ложе. Установлено, что форма направляющих элементов высевающих аппаратов на сегодняшний день требует дальнейшего глубокого изучения, так как не обеспечивает постоянную скорость движения семян от места выхода с диска высевающего аппарата до бороздки семенного ложе. Оптимальное условие, это равенство скорости выходящих из семяпровода семян и скорости посевного агрегата чем обеспечивается нулевая скорость семян относительно почвы, что приводит к повышению равномерности распределения семян по длине и ширине рядка при посевах.

Проведенные на кафедре эксплуатации и ремонта машинно-тракторного парка аграрно-технологического факультета Приднестровского государственного университета имени Т.Г. Шевченко и кафедре эксплуатации транспортных и технологических машин Воронежского государственного аграрного университета имени Императора Петра I в рамках диссертационного исследования аспиранта Михайлова Владимира Сергеевича на тему «Совершенствование процесса высева семян лука репчатого пневматическим высевающим аппаратом» целью исследования стало повышение качества высева семян лука репчатого путем совершенствования пневматического высевающего аппарата.

#### Объект разработки и исследования

В качестве объекта исследования стал технологический процесс высева семян лука репчатого пневматическим высевающим аппаратом с криволинейным участком семяпровода, поверхность которого выполнена из пластика филламенты 3DP-PLA3-01-W.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- теоретически обосновать траекторию, обеспечивающую скатывание семян лука репчатого с постоянной скоростью, для криволинейного участка семяпровода высевающего аппарата;
- определить значения физико-механических свойств семян лука гибрида «Боско», необходимые для обоснования параметров элементов пневматического высевающего аппарата;
- усовершенствовать конструкцию пневматического высевающего аппарата для высева семян лука репчатого и обосновать параметры криволинейного участка семяпровода;
- экспериментально установить закономерности рабочего процесса усовершенствованного пневматического высевающего аппарата и обосновать режимы работы посевного агрегата при высевае семян лука репчатого.

### Теоретические предпосылки

Авторы В.Г. Козлов, В.П. Шацкий, при участии В.С. Михайлова в статье «О движении частиц по криволинейным поверхностям» (Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 181. – С. 105–115. – DOI 10.21515/1990-4665-181-011) провели теоретические исследования по предпосылкам моделирования движения частицы по криволинейной траектории. Это связано с тем, что при движении семян в высевальных аппаратах сеялок точного высева изменение скорости движения семян в семяпроводе возникают неблагоприятные последствия. Так, при уменьшении скорости движения могут образовываться заторы посевного материала, а при ее увеличении могут возникнуть проблемы с точностью высева, что снижает качество работы посевного агрегата.

Этими теоретическими исследованиями установлено, что наиболее рациональной поверхностью является та поверхность, по которой частица или элемент массы семенного потока будут двигаться с постоянной скоростью.

Из имеющихся криволинейных поверхностей в диссертационной работе выбрана поверхность, описываемая аналитической зависимостью, полученной в ходе исследования

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

Движение семян по данной поверхности будет происходить с постоянной скоростью от сброса с высевального диска до сошника сеялки при этом при равенстве скорости выходящих из сошника семян и скорости посевного агрегата обеспечивается нулевая скорость семян относительно почвы, что приводит к повышению равномерности распределения семян по длине и ширине рядка при посеве.

Криволинейный участок семяпровода обеспечивает плавный переход с прямолинейного на криволинейный участок, позволяя семенам преодолевать этот переход без существенного снижения скорости. Выходная часть семяпро-

вода обладает оптимальной формой поверхности криволинейного участка, радиус кривизны которой изменяется линейно в зависимости от пройденного пути, вследствие чего движение семян по нему происходит с постоянной скоростью.

### Экспериментальные исследования

Для дальнейшего экспериментального подтверждения и проверки правильности теоретических предпосылок на кафедре эксплуатации транспортных и технологических машин Воронежского государственного аграрного университета имени Императора Петра I проведены исследования основных физико-механических свойств семян: вариационные кривые размера семян лука гибрида «Боско» по длине, ширине и толщине; фрикционные свойства семян; аэродинамические свойства и др.

Разработан исследовательский стенд и программный комплекс к нему позволяющие провести широкие исследования пневматического высевающего аппарата оснащенным семяпроводами разной формой кривизны. Для сравнительных исследований подающих устройств семян пневматических высевающих аппаратов с криволинейными и прямолинейными направляющими нами использовались образцы семяпроводов которые поочередно устанавливались на исследовательский стенд, на котором делали прогоны высева семян.

Программное обеспечение стенда написано на языке «C++» с использованием среды разработки «Arduino UNO». Она позволяет производить программирование и отладку программы через USB порт ПК, что ускоряет процесс отладки программы.

В целом, установка для испытания высевающего аппарата со сменными семянаправителями представляет собой комплексное техническое решение, которое позволяет осуществлять контроль и регулирование процесса высева семян на полях с высокой точностью и эффективностью.

Лабораторные исследования проводились в соответствии с ГОСТ 20915-



2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные и посадочные. Показатели назначения и надежности. Общие требования», а также разработанной методикой проведения сравнительных исследований.

Оценка показателей выполнения технологического процесса

Лабораторно-полевые исследования проводились в соответствии с ГОСТ 28268-89 в Приднестровье в 2019–2023 годах на гибриде «Боско» с нормой высева 0,8...1,0 млн. шт./га. Данные результатов исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Условия проведения лабораторно-полевых исследований

| Наименование показателя   | Значение показателя   |
|---|---|
|   | семена лука гибрида «Боско»   |
| 1. Чистота семян, %   | 99,5  |
| 2. Влажность семян, %   | 12,2  |
| 3. Всхожесть семян, %   | 93,4  |
| 4. Масса 1000 семян, г  | 3,8   |
| 5. Рельеф поля (уклон) не более, град   | 6   |
| 6. Микрорельеф  | Выровненный   |
| 7. Влажность в % по слоям, см от 0 до 5 вкл.  | 20  |
| от 5 до 10 вкл.   | 23  |
| от 10 до 15 вкл.  | 24  |
| 8. Твердость в МПа по слоям, см от 0 до 5 вкл.                                      | 0,3   |
| от 5 до 10 вкл.   | 0,6   |
| от 10 до 15 вкл.  | 0,9   |
| 9. Глубина взрыхленного слоя в среднем, см  | 10  |
| 10. Крошение взрыхленного слоя: массовая доля комков, %, не менее, по размерам, мм: |   |
| до 0,25   | 18  |
| от 1 до 10 вкл.   | 82  |
| св.10 до 25 вкл.  | –   |
| св. 30 до 50 вкл.   | –   |
| 10. Предшествующая обработка  | Культивация вертикальной фрезой на глубину 10 см и нарезка гребней. |

Посев проводился экспериментальным образцом посевной машины, оснащенной пневматическим высевальным аппаратом для строчного посева агрегатированной с трактором МТЗ-82.1.

Посев проводился на выбранном ровном участке. Непосредственно перед исследованиями в почве на глубинах 0...5, 5...10 и 10...15 см определялись влажность и твердость, в соответствии с ГОСТ 28268-89.

Предшествующая культура – озимый ячмень. Основная обработка почвы под зиму начиналась лушением и дискованием, за которым проводилась вспашка оборотным плугом на глубину до 30 см. Предпосевная обработка включала внесение удобрений, культивацию и фрезирование на глубину до 10 см с формированием гребней.

Результаты обработки опытных данных проведения лабораторно-полевых исследований машины для посева семян лука, оснащенной модернизированным высевальным аппаратом для строчного посева представлены в таблице 2. Графическое представление зависимости коэффициента вариации от скорости посевного агрегата представлено на рисунках 1 и 2.

Таблица 2 – Результаты статистической обработки данных экспериментальных исследований посевной машины, оснащенной пневматическим высевальным аппаратом с подающим устройством криволинейного типа

| Скорость посевного агрегата, м/с | Равномерность<br>(коэффициент вариации) |                                   |
|----------------------------------|---|-----------------------------------|
|                                  | Среднее значение                        | Среднее квадратическое отклонение |
| 1,11                             | 2,07                                    | 1,14                              |
| 1,39                             | 2,14                                    | 1,11                              |
| 1,66                             | 2,08                                    | 1,03                              |
| 1,94                             | 2,16                                    | 1,07                              |
| 2,22                             | 2,09                                    | 1,09                              |



Рисунок 1 – Зависимость равномерности распределения семян от скорости движения посевного агрегата



Рисунок 2 – Зависимость глубины заделки семян от скорости движения посевного агрегата

Анализ зависимости равномерности распределения семян от скорости движения посевного агрегата (рисунок 1) позволяет сделать вывод, что наилучшие показатели равномерности достигаются при рабочей скорости в интервале 1,5...1,7 м/с, что соответствует значению коэффициента вариации 0,49...0,51. Причем увеличение коэффициента вариации в большую сторону при значении меньше 1,5 и больше 1,7 носит разноплановый характер.

В первом случае происходит загущение периферии ленты, что объясняется малым значением секундной подачи семян высевальным аппаратом.

Во втором случае, из-за высокой скорости движения почвенных частиц за сошником, ширина ленты уменьшалась за счет смещения семян к центру ленты (строчки).

Кроме того, при скорости выше 3,0 м/с возникают вертикальные вибрации посевной машины, в результате чего значительно варьировалась глубина заделки семян (рисунок 2).

Исследования в реальных эксплуатационных условиях проводились в производственных условиях ООО «Агропарк» с. Парканы, Слободзейского района, Приднестровье.

#### Апробация работы и рекомендации производству

Результаты работы обсуждались на международных и национальных научно-практических конференциях: научно-практической конференции «Проблемы и перспективы сельскохозяйственной отрасли в Приднестровье», Тирасполь, 2012; научно-практической конференции «Аграрная наука и образование – основа успешного развития АПК Приднестровья», Тирасполь, 2017; международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения», Белгород, 2018; международной научно-практической конференции «Тенденции развития технических средств и технологий в АПК», Воронеж, 2021; международной научно-практической конференции «Наука и образование на современном этапе развития: опыт, про-

блемы и пути их решения», Воронеж, 2021; национальной научно-практической конференции «Проблемы ресурсобеспеченности и перспективы развития агропромышленного комплекса», Воронеж, 2021; 2023 и др.

Результаты работы используются в ООО «Агропарк» (Приднестровская Молдавская Республика, 2023 г.), что подтверждается результатами опытно-производственной проверки модернизированного пневматического высевающего аппарата на сеялки точного высева марки Sfoggia Calibra (при посеве лука гибрида «Боско»). Показано также, что при внедрении новой конструкции пневматического высевающего аппарата сеялки Sfoggia повышается скорость посевного агрегата и качество заделки семян в борозду, тем самым повышается производительность и урожайность.


Разработанные математические модели и программы для ЭВМ, реализующие эти модели, используются в учебном процессе: «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко», «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I».

Результаты исследований отражены в 30 научных работах общим объемом 9,7 п.л. (авторский вклад – 4,7 п.л.), из них 4 статьи – в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций (авторский вклад – 1,42 п.л.), одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, одна монография, восемь патентов.

При посеве лука рекомендуется к использованию пневматический высевающий аппарат, содержащий корпус с семенной камерой и камерой разрежения, между которыми на горизонтальном валу вертикально установлен высевающий диск с присасывающими отверстиями, в нижней части корпуса установлен семяпровод, представляющий собой трубку круглого сечения с прямолинейным, криволинейным и ускорительным участками, и содержащий датчик скорости семян, блок мониторинга и контроля и блок управления воздушным потоком, отличающийся тем, что криволинейный и ускорительный

участки семяпровода объединены в один узел – криволинейный участок, поверхность которого выполнена из пластика, а ее форма обеспечивает постоянную скорость скатывания семян; режимы работы высевающего агрегата: скорость перемещения 1,6...1,7 м/с; высота падения семян от точки отрыва до семенного ложа 100 мм.

Начальник управления развития  
агропромышленного комплекса  
Министерства сельского хозяйства и  
природных ресурсов

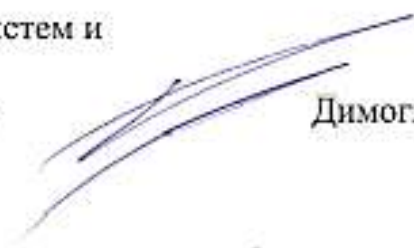
Приднестровской Молдавской Республики  Фролова Д.А.

Директор Приднестровского  
научно-исследовательского института  
сельского хозяйства, к.с.-х.н.



Секриер С.А.

Заведующий кафедрой Технических систем и  
электрооборудования в АПК,  
ПГУ им. Т.Г. Шевченко, к.т.н., доцент



Димогло А.В.

Таблица Б.1 – Фирмы-производители сеялок точного высева [107]

| Страна     | Фирма-производитель | Модель сеялки           | Тип дозирующей системы |
|------------|---------------------|-------------------------|------------------------|
| 1          | 2                   | 3                       | 4                      |
| Австрия    | Hatzenbichler       | Hatzenbichler           | вакуумная              |
| Англия     | Stanhay             | Dart                    | вакуумная              |
|            |                     | Star                    | вакуумная              |
|            |                     | Seven                   | механическая           |
| Аргентина  | Crucianelli         | Gringa V                | вакуумная              |
| Беларусь   | Лидагропромаш       | СТВ-8К                  | вакуумная              |
|            |                     | СТВ-8УК                 | вакуумная              |
|            |                     | СТВ-12                  | вакуумная              |
|            | Лидсельмаш          | СПЧ-6Л                  | вакуумная              |
| Германия   | Amazone             | ED 602 K Contour        | вакуумная              |
|            |                     | EDX 9000-T              | избыточное давление    |
|            | Fahse               | Moncentra SP            | механическая           |
|            |                     | Monoair                 | вакуумная              |
|            | Franz Kleine        | EKS-12/p                | вакуумная              |
|            | Horsch              | Maistro 8 CC            | механическая           |
|            | Kverneland – Accord | Optima                  | вакуумная              |
|            |                     | Miniair                 | вакуумная              |
|            |                     | Monopill                | механическая           |
|            | Rabe                | MonoSeed                | вакуумная              |
|            | Rau                 | Multicorn               | вакуумная              |
|            |                     | Unicorn                 | механическая           |
|            | Schmotzer           | UD 2000                 | механическая           |
| UD 3000    |                     | механическая            |                        |
| P 4000     |                     | вакуумная               |                        |
| Дания      | Kongskilde          | Demeter Aeromat         | избыточное давление    |
|            |                     | Demeter Variosem        | вакуумная              |
|            |                     | Presi-Sem               | вакуумная              |
| Молдавия   | Молдагротехника     | SPP-8                   | вакуумная              |
|            |                     | SK (MULTICORN)-12FS     | вакуумная              |
| США        | White               | 8200                    | изб. давление          |
|            | Amity Technology    | Flex Center Planter Bar | вакуумная              |
|            | Case IH             | Early Riser 1250        | вакуумная              |
|            | Great Plains        | PD 8070                 | механическая           |
|            |                     | YP-1625                 | Изб. давление          |
| John Deere | 1700                | вакуумная               |                        |

| 1                 | 2                         | 3                 | 4                   |
|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------------|
| Италия            | Agricola Italiana         | SNT-2-290         | вакуумная           |
|                   | Mascar S.p.A              | FUTURA            | вакуумная           |
|                   |                           | MAXI              | вакуумная           |
|                   |                           | Mashio Gaspardo   | MAESTRA             |
|                   | MAGICA                    |                   | вакуумная           |
|                   | METRO                     |                   | вакуумная           |
|                   | MT-8-R                    |                   | вакуумная           |
|                   | MTE-8                     |                   | вакуумная           |
|                   | MTI-12                    |                   | вакуумная           |
|                   | SP-8R                     |                   | вакуумная           |
|                   | ST-8R                     |                   | вакуумная           |
|                   | SI-8R                     |                   | вакуумная           |
|                   | Mater Mass                | 3 XL 800          | вакуумная           |
|                   | Sfoggia                   | Discover          | вакуумная           |
| Gamma Plus        |                           | вакуумная         |                     |
| Sigma             |                           | вакуумная         |                     |
| Россия            | БДМ-агро                  | Аттелит           | вакуумная           |
|                   |                           | СПП-12*70         | вакуумная           |
|                   |                           | СПП-12*70         | механическая        |
|                   |                           | Элинвар           | вакуумная           |
|                   | Белгородский завод «Ритм» | СТП-12 «РИТМ-1МТ» | вакуумная           |
|                   |                           | СТП «РИТМ-24Т»    | вакуумная           |
|                   | Миллеровосельма ш         | СПБ-8К (МС-8)     | вакуумная           |
|                   |                           | СПБ-12С (МС-12)   | вакуумная           |
| Техника-сервис    | ТС-М 4150                 | вакуумная         |                     |
|                   | ТС-М 8000                 | вакуумная         |                     |
| США               | John Deere                | 1710              | вакуумная           |
|                   |                           | DB 80             | вакуумная           |
|                   | KINZE                     | Twin Line 3400    | механическая        |
|                   |                           | Twin Line 3700    | механическая        |
|                   | Massey Ferguson           | MF 555            | избыточное давление |
| Украина           | Ахтырсельмаш              | СПУ-5,6           | вакуумная           |
|                   | Тодак                     | СТВТ-12/8М        | вакуумная           |
|                   | Червона Зирка             | Вега 8            | вакуумная           |
|                   |                           | Веста 8 (УПС-8)   | вакуумная           |
| Веста 12 (УПС-12) |                           | вакуумная         |                     |



| 1       | 2        | 3          | 4            |
|---------|----------|------------|--------------|
| Франция | Kuhn     | Maxima 2   | вакуумная    |
|         |          | Planter    | вакуумная    |
|         | Monosem  | Meca V4    | механическая |
|         |          | NC Technik | вакуумная    |
|         |          | NG Plus    | вакуумная    |
|         | Quivogne | Prosem K   | вакуумная    |
|         |          | Prosem P   | вакуумная    |

Таблица Б.2 – Техническая характеристика микроскопа МПБ-2

| Параметр   | МПБ-2<br>объектив<br>2 <sup>x</sup> |
|--|-------------------------------------|
| Диапазон измерения, мм                               | 0...6,5                             |
| Поле зрения, мм                                      | 8,5                                 |
| Видимое увеличение микроскопа, крат                  | 24±1,2                              |
| Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения: | - 0,01                              |
| - на длине до 2 мм (на любом интервале шкалы), мм    | - 0,02                              |
| - на всей длине шкалы, мм                            |                                     |
| Диоптрийное перемещение окуляра, дптр                | ±4                                  |
| Цена деления шкалы, мм                               | 0,05                                |
| Расстояние от объектива до предмета, мм              | 35,2                                |
| Предел допускаемой абсолютной погрешности, мм        | ±0,02                               |

Таблица Б.3 – Техническая характеристика ВЛТЭ-210П-В

|   |   |
|---|---|
| Наибольший предельный вес, г                              | 210   |
| Дискретность, г   | 0,005/(0,002)*  |
| Калибровка  | внутренняя  |
| Наименьший предел взвешивания, г                          | 0,1   |
| Пределы допускаемой погрешности при первичной поверке, мг | от 0,1г до 50г вкл. $\pm 5$ ; св. 50г до 200г вкл. $\pm 10$ ; св. 200г до 210г вкл. $\pm 15$ согласно ГОСТ OIML R 76-1-2011 |
| Класс точности по ГОСТ OIML R 76-1-2011П                  | высокий   |

Таблица Б.4 – Результаты исследований размерной характеристики семян лука сорта «Боско» (влажность близка к кондиционной  $w=10,4\%$ )

| Длина        |               |               |               |               |               |               |               |               |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Интервал, мм | 2,35-<br>2,50 | 2,50-<br>2,65 | 2,65-<br>2,80 | 2,80-<br>2,95 | 2,95-<br>3,10 | 3,10-<br>3,25 | 3,25-<br>3,40 |               |
| Частоты      | 1             | 3             | 7             | 20            | 49            | 17            | 3             |               |
| Толщина      |               |               |               |               |               |               |               |               |
| Интервал, мм | 1,60-<br>1,70 | 1,70-<br>1,80 | 1,80-<br>1,90 | 1,90-<br>2,00 | 2,00-<br>2,10 | 2,10-<br>2,20 | 2,20-<br>2,30 | 2,30-<br>2,40 |
| Частоты      | 3             | 10            | 13            | 22            | 27            | 21            | 3             | 1             |
| Ширина       |               |               |               |               |               |               |               |               |
| Интервал, мм | 1,40-<br>1,55 | 1,55-<br>1,70 | 1,70-<br>1,85 | 1,85-<br>2,0  | 2,0-<br>2,15  | 2,15-<br>2,30 | 2,30-<br>2,45 | 2,45-<br>2,60 |
| Частоты      | 1             | 1             | 7             | 11            | 23            | 43            | 12            | 2             |

Таблица Б.5 – Результаты математической обработки

| Показатели   | Длина,<br>мм | Ширина,<br>мм | Толщина,<br>мм |
|--|--------------|---------------|----------------|
| Максимальное значение (при влажности близкой к кондиционной $w=10,4\%$ ), мм | 3,31         | 2,56          | 2,29           |
| Минимальное значение (при влажности близкой к кондиционной $w=10,4\%$ ), мм  | 2,36         | 1,46          | 1,59           |
| Среднее значение ( $X$ ), мм   | 3,01         | 2,25          | 2,01           |
| Среднеквадратическое отклонение ( $\sigma$ ), мм                             | 0,27         | 0,20          | 0,19           |
| Коэффициент вариации ( $v$ ), %  | 8,90         | 8,88          | 9,45           |

Таблица Б.6 – Результаты исследование массовой характеристики семян лука сорта «Боско»

| Показатели   | Абсолютная<br>масса, г | Объемная<br>масса, г/л |
|--|------------------------|------------------------|
| Максимальное значение (при влажности близкой к кондиционной $w=10,4\%$ ), мм | 4,080                  | 516,9                  |
| Минимальное значение (при влажности близкой к кондиционной $w=10,4\%$ ), мм  | 3,487                  | 512,5                  |
| Среднее значение ( $X$ ), мм   | 3,883                  | 514,7                  |
| Среднеквадратическое отклонение ( $\sigma$ ), мм                             | 0,21                   | 1,87                   |
| Коэффициент вариации ( $v$ ), %  | 5,4                    | 0,36                   |

Таблица Б.7 – Вариационные показатели скорости витания семян лука сорта «Боско»

| Показатели                                     | Семена<br>«Боско» | Семена «Боско»<br>протравленные |
|--|-------------------|---------------------------------|
| Максимальное значение, м/с                     | 6,25              | 5,75                            |
| Минимальное значение, м/с                      | 2,25              | 3,25                            |
| Среднее значение ( $X$ ), м/с                  | 4,25              | 4,5                             |
| Среднеквадратическое отклонение( $\sigma$ ), г | 0,45              | 0,45                            |
| Коэффициент вариации ( $V$ ), %                | 10,6              | 10,0                            |

Таблица Б.8 – Сравнение результатов исследования работы подающих устройств

| Показатели                                | Тип распределителя-отражателя семян |              |
|---|-------------------------------------|--------------|
|   | криволинейный                       | вертикальный |
| Частота квадратов с числом семян 1 шт., % | 49,00                               | 41,33        |
| Частота квадратов с числом семян 2 шт., % | 31,67                               | 34,33        |
| Коэффициент вариации, %                   | 56,39                               | 58,36        |
| Среднеквадратическое отклонение, ед       | 0,92                                | 1,00         |

Таблица Б.9 – Условия проведения лабораторно-полевых исследований

| Наименование показателя   | Значение показателя   |
|---|---|
|   | семена лука сорта «Боско»   |
| 1   | 2   |
| 1. Чистота семян, %   | 99,5  |
| 2. Влажность семян, %   | 10,4  |
| 3. Всхожесть семян, %   | 93,4  |
| 4. Масса 1000 семян, г  | 3,88  |
| 5. Рельеф поля (уклон) не более, град   | 6   |
| 6. Микрорельеф  | Выровненный   |
| 7. Влажность в % по слоям, см от 0 до 5 вкл.  | 15,25   |
| от 5 до 10 вкл.   | 21,90   |
| от 10 до 15 вкл.  | 24,40   |
| 8. Твердость в МПа по слоям, см от 0 до 5 вкл.                                      | 0,18  |
| от 5 до 10 вкл.   | 0,61  |
| от 10 до 15 вкл.  | 0,90  |
| 9. Глубина взрыхленного слоя в среднем, см  | 10  |
| 10. Крошение взрыхленного слоя: массовая доля комков, %, не менее, по размерам, мм: |   |
| до 0,25   | 18  |
| от 1 до 10 вкл.   | 82  |
| св.10 до 25 вкл.  | –   |
| св. 30 до 50 вкл.   | –   |
| 10. Предшествующая обработка  | Культивация вертикальной фрезой на глубину 15 см и нарезка гребней. |

Таблица Б.10 – Результаты статистической обработки данных лабораторно-полевых исследований посевной машины, оснащенной пневматическим высевающим аппаратом с подающим устройством криволинейного типа

| Скорость посевного агрегата, м/с | Равномерность (коэф.вариации) |               |
|----------------------------------|-------------------------------|---------------|
|                                  | Среднее значение              | Квадрат. откл |
| 1,51                             | 2,07                          | 1,15          |
| 1,85                             | 2,12                          | 1,12          |
| 2,3                              | 2,08                          | 1,04          |
| 2,75                             | 2,14                          | 1,07          |
| 3,51                             | 2,10                          | 1,09          |

**Расчет экономической эффективности использования предлагаемой сеялки**

Затраты на материалы и покупные изделия определяются на основании объемов, установленных согласно чертежам, и текущих цен, определяемых по прейскурантам торгующих организаций и заключенным договорам на поставку материалов и покупных изделий.

Таблица В.1 – Затраты на материалы и покупные изделия

| Наименование и марка материалов    | Ед. изм. | Кол-во | Цена, руб. | Сумма, руб. |
|------------------------------------|----------|--------|------------|-------------|
| <i>Демонтируемые детали</i>        |          |        |            |             |
| Прокладка вакуумной камеры         | шт.      | 4      | 112        | 448         |
| Направитель семян                  | шт.      | 4      | 186        | 744         |
| <b>Итого:</b>                      |          |        |            | 1192        |
| <i>Затраты на материалы</i>        |          |        |            |             |
| Прокладка вакуумной камеры         | шт.      | 4      | 250        | 1000        |
| Направитель семян                  | шт.      | 4      | 200        | 800         |
| <b>Итого:</b>                      |          |        |            | 1800        |
| Транспортно-заготовительные расход |          |        |            | 1224        |

Таблица В.2 – Основные статьи затрат при модернизации конструкции.

| Наименование работ                                | КУ | Трудоём-<br>кость, чел.-ч. | Ставка ПКГ 2<br>уровня, руб. | Затраты на<br>основную<br>зарплату, руб. |
|---|----|----------------------------|------------------------------|--|
| 1. Демонтажные                                    | 5  | 2,0                        | 140,9                        | 281,8                                    |
| 2. Токарные                                       | 4  | 8,0                        | 117,5                        | 940,0                                    |
| 3. 3D-печать                                      | 6  | 8,0                        | 154,2                        | 1233,6                                   |
| 4. Монтажные                                      | 5  | 4,0                        | 140,9                        | 563,6                                    |
| Итого:  |    |                            |                              | 3019,0                                   |
| Размер дополнительной заработной платы            |    |                            |                              | 362,3                                    |
| Размер страховых взносов                          |    |                            |                              | 1014,4                                   |
| Размер общепроизводственных (цеховых) расходов    |    |                            |                              | 1056,7                                   |
| Размер общехозяйственных (общезаводских) расходов |    |                            |                              | 905,7                                    |
| Сумма затрат на модернизацию конструкции          |    |                            |                              | 10574,1                                  |

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ  
ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА СЕЯЛКИ ТОЧНОГО ВЫСЕВА**

```

#include <Wire.h>
#include <AccelStepper.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

const int STEPPER_PIN1 = 9;
const int STEPPER_PIN2 = 10;

const int STEPPER_PIN3 = 11;
const int STEPPER_PIN4 = 12;

const int RESET_PIN = 3;
const int SENSOR_PIN = 7;

const int STATE_BELT_PIN = 4;
const int STATE_REEL_PIN = 5;

const float STEPPER_RPM = 90.0;
const float STEPPER_SPEED = 200.0;

const float BELT_REEL_FORK = 0.5;
const float REEL_STEPPER_FORK = 5.0;

const float DISPLAY_UPDATE = 0.3;

int countSeed[] = {0,0};
int beltSpeed[] = {0,0};
int reelSpeed[] = {0,0};

int beltState[] = {0,0};
int reelState[] = {0,0};
int beltRevol[] = {0,0};
int reelRevol[] = {0,0};

bool sensorSeed = false;
bool buttonBelt = false;
bool buttonReel = false;
bool buttonReset = false;

bool isPressingBelt = false;
bool isPressingReel = false;
bool isPressingReset = false;
bool isDetectingSeed = false;

unsigned long lastUpdate = 0;
unsigned long currentTime = 0;

LiquidCrystal_I2C lcd_1(0x27,16,2);

AccelStepper belt(AccelStepper::DRIVER, STEPPER_PIN1, STEPPER_PIN2);
AccelStepper reel(AccelStepper::DRIVER, STEPPER_PIN3, STEPPER_PIN4);

void setup()
{
  Serial.begin(115200);

  pinMode(RESET_PIN, INPUT_PULLUP);
  pinMode(SENSOR_PIN, INPUT_PULLUP);
  pinMode(STATE_REEL_PIN, INPUT_PULLUP);

```

```

pinMode(STATE_BELT_PIN, INPUT_PULLUP);

belt.setMaxSpeed(STEPPEER_SPEED);
reel.setMaxSpeed(STEPPEER_SPEED);

WelcomeController();
}

void loop()
{
currentTime = millis();

ButtonController(
  SENSOR_PIN,
  &isDetectingSeed,
  &sensorSeed
);

ButtonController(
  RESET_PIN,
  &isPressingReset,
  &buttonReset
);

ButtonController(
  STATE_BELT_PIN,
  &isPressingBelt,
  &buttonBelt
);
ButtonController(
  STATE_REEL_PIN,
  &isPressingReel,
  &buttonReel
);

SeedController();
BeltController();
ReelController();
DisplayController();
ReelRevolutionCalc();

delay(5);
}

void WelcomeController()
{
  lcd_1.init();
  lcd_1.backlight();

  lcd_1.clear();
  lcd_1.setCursor(0, 0);
  lcd_1.print((beltState[0])?"ON ":"OFF");

  lcd_1.setCursor(4, 0);
  lcd_1.print((reelState[0])?"ON ":"OFF");

  lcd_1.setCursor(15, 0);
  lcd_1.print(beltSpeed[0]);

  lcd_1.setCursor(0, 1);
  lcd_1.print(countSeed[0]);

  lcd_1.setCursor(4, 1);

```



```

lcd_1.print(reelRevol[0]);

    lcd_1.setCursor(15, 1);
    lcd_1.print(reelSpeed[0]);
}

void DisplayController()
{
if((currentTime - lastUpdate) < (DISPLAY_UPDATE * 1000))
    return;

    String lcd_d;
    if(beltState[0] != beltState[1]){
        lcd_1.setCursor(0, 0);
        lcd_1.print((beltState[0])?"ON ":"OFF");
    }

    if(reelState[0] != reelState[1]){
        lcd_1.setCursor(4, 0);
        lcd_1.print((reelState[0])?"ON ":"OFF");
    }

    if(beltSpeed[0] != beltSpeed[1]){
        lcd_d = LenghtController(beltSpeed,0);
        lcd_1.setCursor(16 - lcd_d.length(), 0);
        lcd_1.print(lcd_d);
    }

    if(reelSpeed[0] != reelSpeed[1]){
        lcd_d = LenghtController(reelSpeed,0);
        lcd_1.setCursor(16 - lcd_d.length(), 1);
        lcd_1.print(lcd_d);
    }

    if(countSeed[0] != countSeed[1]){
        lcd_d = LenghtController(countSeed,1);
        lcd_1.setCursor(0, 1);
        lcd_1.print(lcd_d);
    }

    if(reelRevol[0] != reelRevol[1]){
        lcd_d = LenghtController(reelRevol,0);
        lcd_1.setCursor(4, 1);
        lcd_1.print(lcd_d);
    }

    countSeed[1] = countSeed[0];
    beltState[1] = beltState[0];
    reelState[1] = reelState[0];
    beltSpeed[1] = beltSpeed[0];
    reelSpeed[1] = reelSpeed[0];
    reelRevol[1] = reelRevol[0];

    lastUpdate = currentTime;
}

String LenghtController(int d[], bool r)
{
    String s;
    int d0 = NumLength(d[0]);
    int d1 = NumLength(d[1]);

    for(int i=0; i < (d1 - d0); i++)

```

```

    s += ' ';

    return (!r)?
    s += String(d[0]):
    s = String(d[0]) + s;
}

void SeedController()
{
if(buttonReset)
countSeed[0] = 0;

if(sensorSeed)
countSeed[0]++;
}

void ReelController()
{
reelSpeed[0] = 0;

if(buttonReel)
reelState[0] = !reelState[0];

if(!reelState[0]){
return;
}

reelSpeed[0] = ReelSpeedCalc();
reel.setSpeed(reelSpeed[0]);
reel.runSpeed();
return;
}

void BeltController()
{
beltSpeed[0] = 0;

if(buttonBelt)
beltState[0] = !beltState[0];

if(!beltState[0])
return;

beltSpeed[0] = BeltSpeedCalc();
belt.setSpeed(beltSpeed[0]);
belt.runSpeed();
return;
}

float BeltSpeedCalc()
{
return (STEPPER_RPM * STEPPER_SPEED) / 60;
}

float ReelSpeedCalc()
{
return beltSpeed[0] * BELT_REEL_FORK;
}

int ReelRevolutionCalc()
{
reelRevol[0] = (reel.currentPosition() / STEPPER_SPEED) / REEL_STEPPER_FORK;
Serial.println(reelRevol[0]);
}

```

```
    return reelRevol[0];
}

void ButtonController(int p, bool *s1, bool *s2)
{
    int isPressed = false;
    int buttonRead = digitalRead(p);

    if (buttonRead && *s1)
        isPressed = true;

    *s1 = false;
    if (!buttonRead)
        *s1 = true;

    *s2 = isPressed;
}

int NumLength(int i)
{
    char str[20];
    sprintf(str,"%d",abs(i));
    return(strlen(str));
}
```

Корреляционный анализ

## Матрица для исследований корреляции факторов

|    | У          | X1  | X2  | X3   | X4  | X5   | X6   | X7   | X8   |
|----|------------|-----|-----|------|-----|------|------|------|------|
| 1  | 0,1204135  | 60  | 1,7 | 2,2  | 4,8 | 0,35 | 15   | 10,2 | 3,8  |
| 2  | -0,0248204 | 54  | 1,6 | 2,05 | 4,6 | 0,36 | 14,8 | 10,5 | 3,68 |
| 3  | 0,1463598  | 62  | 1,8 | 2,21 | 4,9 | 0,38 | 14,9 | 10,4 | 3,74 |
| 4  | 0,2226684  | 69  | 2   | 2,22 | 5   | 0,36 | 15,2 | 10,8 | 3,91 |
| 5  | 0,2756576  | 84  | 2,2 | 2,05 | 5,3 | 0,36 | 15,6 | 10,6 | 3,83 |
| 6  | 0,3496199  | 92  | 2,1 | 2,04 | 4,6 | 0,35 | 15,6 | 10,4 | 3,79 |
| 7  | -0,0553999 | 96  | 1,7 | 1,26 | 4,8 | 0,37 | 15,4 | 10,1 | 4    |
| 8  | 0,5420976  | 101 | 1,9 | 2,22 | 5,2 | 0,36 | 15,3 | 10,3 | 3,98 |
| 9  | 0,7467942  | 122 | 1,8 | 2,21 | 4,9 | 0,38 | 15,1 | 10,7 | 3,98 |
| 10 | 0,9962139  | 147 | 2   | 2,21 | 5,4 | 0,35 | 14,9 | 10,2 | 3,79 |
| 11 | 0,4340186  | 97  | 2,2 | 2,1  | 4,8 | 0,38 | 15,1 | 10,6 | 3,82 |
| 12 | -0,1963376 | 83  | 2,1 | 1,24 | 4,9 | 0,36 | 15,6 | 10,4 | 3,86 |
| 13 | 0,0020184  | 76  | 2   | 1,71 | 5,5 | 0,36 | 15,2 | 10,8 | 3,91 |
| 14 | 0,2194805  | 91  | 1,6 | 1,83 | 4,7 | 0,37 | 14,8 | 10,2 | 3,99 |

Регрессионный анализ

## Анализ критерия значимости экспериментальных исследований

| Одномерный критерий значимости для С (Таблица регрес) Сигма-ограниченная параметризация Декомпозиция гипотезы |          |                 |          |          |          |
|---|----------|-----------------|----------|----------|----------|
|   | SS       | Степени свободы | MS       | F        | p        |
| Св. член  | 0,009228 | 1               | 0,009228 | 22,46101 | 0,009042 |
| "X1"  | 0,003732 | 1               | 0,003732 | 9,08237  | 0,039407 |
| "X1" <sup>2</sup>   | 0,004261 | 1               | 0,004261 | 10,37040 | 0,032271 |
| "X2"  | 0,004629 | 1               | 0,004629 | 11,26625 | 0,028396 |
| "X2" <sup>2</sup>   | 0,007351 | 1               | 0,007351 | 17,89151 | 0,013372 |
| "X1"*"X2"   | 0,000000 | 1               | 0,000000 | 0,00000  | 1,000000 |
| Ошибка  | 0,001643 | 4               | 0,000411 |          |          |

## Статистики коллинеарности для членов регрессионного уравнения

|                   | Допуск   | Дисперс. | R квадр. | С – Бета | С – Частн. | С – Получас. | С – t    | С – p    |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|------------|--------------|----------|----------|
| "X1"              | 0,013837 | 72,27040 | 0,986163 | 5,15473  | 0,833214   | 0,606353     | 3,01370  | 0,039407 |
| "X1" <sup>2</sup> | 0,015500 | 64,51605 | 0,984500 | -5,20424 | -0,849500  | -0,647923    | -3,22031 | 0,032271 |
| "X2"              | 0,021242 | 47,07721 | 0,978758 | 4,63363  | 0,859060   | 0,675329     | 3,35652  | 0,028396 |
| "X2" <sup>2</sup> | 0,034069 | 29,35261 | 0,965931 | -4,61076 | -0,904036  | -0,851039    | -4,22984 | 0,013372 |
| "X1"*"X2"         | 0,037143 | 26,92265 | 0,962857 | -0,00000 | -0,000000  | -0,000000    | -0,00000 | 1,000000 |

## Суммы квадратов и смешанных произведений для векторов в матрице плана

|              | Столбец | Эффект – (F/R) | Столб.1 – Св. член | Столб.2 – $\{1\}X_1$ | Столб.3 – $X_1^2$ | Столб.4- $\{2\}X_2$ | Столб.5- $X_2^2$ | Столб.6 – $1*2$ | Столб.7 – С |
|--------------|---------|----------------|--------------------|----------------------|-------------------|---------------------|------------------|-----------------|-------------|
| Св. член     | 1       | Фикс.          | 10,000             | 60,000               | 391,90            | 100,00              | 1199,4           | 600,00          | 9,386       |
| $\{1\}X_1$   | 2       | Фикс.          | 60,000             | 391,905              | 2734,29           | 600,00              | 7196,4           | 3919,05         | 56,317      |
| $\{1\}X_1^2$ | 3       | Фикс.          | 391,905            | 2734,286             | 20041,92          | 3919,05             | 46769,1          | 27342,86        | 367,550     |
| $\{2\}X_2$   | 4       | Фикс.          | 100,000            | 600,000              | 3919,05           | 1199,41             | 15982,2          | 7196,43         | 94,032      |
| $\{2\}X_2^2$ | 5       | Фикс.          | 1199,405           | 7196,430             | 46769,06          | 15982,15            | 227083,7         | 95892,90        | 1125,427    |
| $X_1 * X_2$  | 6       | Фикс.          | 600,000            | 3919,048             | 27342,86          | 7196,43             | 95892,9          | 46769,06        | 564,195     |
| С            | 7       |                | 9,386              | 56,317               | 367,55            | 94,03               | 1125,4           | 564,19          | 8,820       |

## Дисперсии и ковариации для векторов в матрице плана

|              | Уровень | Столбец | Эффект – (F/R) | Столб.1- Св. член | Столб.2- $\{1\}X_1$ | Столб.3- $X_1^2$ | Столб.4- $\{2\}X_2$ | Столб.- $X_2^2$ | Столб.6- $1*2$ | Столб.7- С |
|--------------|---------|---------|----------------|-------------------|---------------------|------------------|---------------------|-----------------|----------------|------------|
| Св. член     |         | 1       | Фикс.          |                   |                     |                  |                     |                 |                |            |
| $\{1\}X_1$   |         | 2       | Фикс.          |                   | 3,54498             | 42,5397          | -0,0000             | -0,000          | 35,450         | 0,000000   |
| $\{1\}X_1^2$ |         | 3       | Фикс.          |                   | 42,53973            | 520,3312         | -0,0000             | -26,244         | 425,397        | -0,033243  |
| $\{2\}X_2$   |         | 4       | Фикс.          |                   | -0,00000            | -0,0000          | 22,1561             | 443,122         | 132,937        | 0,018944   |
| $\{2\}X_2^2$ |         | 5       | Фикс.          |                   | -0,00000            | -26,2442         | 443,1222            | 9247,382        | 2658,733       | -0,039842  |
| $X_1 * X_2$  |         | 6       | Фикс.          |                   | 35,44978            | 425,3973         | 132,9367            | 2658,733        | 1196,562       | 0,113667   |
| С            |         | 7       |                |                   | 0,00000             | -0,0332          | 0,0189              | -0,040          | 0,114          | 0,001128   |

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**213 797** (13) **U1**(51) МПК  
A01C 5/08 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
A01C 5/08 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2021119728, 05.07.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
05.07.2021Дата регистрации:  
29.09.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 05.07.2021

(45) Опубликовано: 29.09.2022 Бюл. № 28

Адрес для переписки:

394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1, ВГАУ,  
зав. сектором защиты интеллектуальной  
собственности Балбековой Л.В.

(72) Автор(ы):

Гиевский Алексей Михайлович (RU),  
Михайлов Владимир Сергеевич (MD),  
Козлов Вячеслав Геннадиевич (RU),  
Гулевский Вячеслав Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Воронежский государственный  
аграрный университет имени императора  
Петра I" (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ)  
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 192702 U1, 26.09.2019. RU 2060618  
C1, 27.05.1996. DE 10121910 A1, 14.11.2002. JPS  
59132802 A, 31.07.1984. US 4779765 A, 25.10.1988.

(54) Пневматическая сеялка для двустрочного ленточного посева овощных культур

(57) Реферат:

Полезная модель относится к сельскому хозяйству. Пневматическая сеялка для двустрочного ленточного посева овощных культур, включающая прицепную раму с объединенными попарно посевными секциями, каждая из которых снабжена семьявысевающим и туковысевающим аппаратами, сошником, опорно-приводным и прикатывающим колесами. Семьявысевающие и туковысевающие аппараты выполнены пневматическими дисками двойного высева и размещены на полозовидных сошниках. Каждая пара посевных секций снабжена размещенным по центру между посевными

секциями дополнительным сошником в виде ножевидного анкерного бороздообразователя с разведенными в сторону боковинами, снабженного приемником-распределителем микрогранул и загортачем. Туковысевающие аппараты установлены ближе к центру и тукопроводы выполнены с возможностью сообщения с приемником распределителем бороздообразователя. Обеспечивается ориентированное размещение гранул удобрений по глубине и почвенном горизонте с размещением строчки удобрений в центре ленты высеянных семян. 5 ил.

RU 213797 U1

RU 213797 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11)**212 333** (13) **U1**(51) МПК  
*A01C 7/04* (2006.01)

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*A01C 7/04* (2022.02); *A01C 7/08* (2022.02)

(21)(22) Заявка: 2021117661, 16.06.2021  
(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
16.06.2021  
Дата регистрации:  
18.07.2022  
Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 16.06.2021  
(45) Опубликовано: 18.07.2022 Бюл. № 20  
Адрес для переписки:  
394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1, ВГАУ,  
зав. сектором защиты интеллектуальной  
собственности Балбековой Л.В.

(72) Автор(ы):  
Гиевский Алексей Михайлович (RU),  
Михайлов Владимир Сергеевич (MD),  
Козлов Вячеслав Геннадиевич (RU),  
Гулевский Вячеслав Анатольевич (RU)  
(73) Патентообладатель(и):  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Воронежский государственный  
аграрный университет имени императора  
Петра I" (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ)  
(RU)  
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 199944 U1, 29.09.2020. RU 2183919  
C2, 27.06.2002. RU 2316928 C2, 20.02.2008. RU  
2295847 C2, 27.03.2007. US 3773224 A1,  
20.11.1973.

(54) Высевающий аппарат для семян овощных культур и ориентированного внесения гранулированного удобрения

(57) Реферат:  
Полезная модель относится к сельскохозяйственному машиностроению, в частности к пневматическим высевающим аппаратам, которые могут быть использованы для одновременного высева семян различных овощных культур и гранулированных удобрений или стимуляторов роста. Аппарат включает бункер для высеваемого материала, высевающий диск на горизонтальной оси с отверстиями для захвата семян, одной стороной примыкающий к вакуумной камере пневматической системы, дозатор удобрений, выгрузное окно, полозовидный сошник, семяпровод и тукопровод, сообщающиеся трубчатым направителем семян и трубчатым направителем удобрений соответственно. Трубчатый направитель удобрений на выходе изогнут в горизонтальной

плоскости в сторону, противоположную движению сошника, и скошен под острым углом к горизонтали. Длина вертикального участка направителя удобрений превышает длину направителя семян на величину разницы глубины заделки удобрений и семян. Перед направителем удобрений установлен клинообразный рыхлитель, обращенный в сторону ножевидного наральника сошника. Дозатор удобрений выполнен в виде отверстий, размещенных на высевающем диске на окружности, коаксиальной окружности размещения отверстий для захвата семян. Технический результат - одновременный однострочный разноуровневый посев двух видов высеваемого материала, например, семян лука и гранул удобрений/стимуляторов роста. 6 ил.

RU 212333 U1

RU 212333 U1

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 216090

## Стенд для испытания сеялок точного высева

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I" (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) (RU)*

Авторы: *Михайлов Владимир Сергеевич (RU), Козлов Вячеслав Геннадиевич (RU), Лощенко Алексей Владиславович (RU)*

Заявка № 2022123558

Приоритет полезной модели 02 сентября 2022 г.  
Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре полезных  
моделей Российской Федерации 16 января 2023 г.  
Срок действия исключительного права  
на полезную модель истекает 02 сентября 2032 г.

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

Документ подписан электронной подписью  
Сертификат 68b8b077b14c41f0294edbd24145d5c7  
Владелец: *Зубов Юрий Сергеевич*  
Действителен с 20.05.2022 по 26.05.2023

*Ю.С. Зубов*





Министерул юстицией  
ал Републикый Молдовенешть  
Нистрене



Міністерство юстиції  
Придністровської Молдавської  
Республіки

Министерство юстиции  
Приднестровской Молдавской  
Республики

**БРЕВЕТ                      ПАТЕНТ**  
**ПАТЕНТ № 555**

Настоящий патент на **изобретение**  
**«Стенд для исследования пневматических высевающих аппаратов**  
**сеялок точного посева»**

Правообладатель(и):  
Государственное образовательное учреждение «Приднестровский  
государственный университет им. Т.Г. Шевченко» и

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Воронежский государственный аграрный  
университет им. императора Петра I»

Автор (авторы): **Бурменко Феликс Юрьевич,**  
**Димогло Анатолий Владимирович,**  
**Михайлов Владимир Сергеевич,**  
**Козлов Вячеслав Геннадиевич и**  
**Козлова Елена Владимировна**

Заявка № 23100609

Приоритет 15.05.2023

Зарегистрировано в Государственном реестре Министерства юстиции  
Приднестровской Молдавской Республики **21.07.2023**

Действие распространяется на всю территорию  
Приднестровской Молдавской Республики

сроком на 20 лет с 15.05.2023 года

МП Государственный регистратор



И.В. Семердакова



Министерул жуститией  
ал Републичий Молдовенешть  
Нистрене



Міністерство юстиції  
Придністровської Молдавської  
Республіки

Министерство юстиции  
Приднестровской Молдавской  
Республики

**АДЕВЕРИНЦЭ** **ПОСВІДЧЕННЯ**  
**УДОСТОВЕРЕНИЕ № 2021**

Настоящее удостоверение на **изобретение**  
**«Лабораторная установка для исследования работы пневматических  
высевающих аппаратов»**

Правообладатель(и): Государственное образовательное учреждение  
**«Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко»**

Патент № **538** Приоритет **26.04.2021**

Автор (авторы): **Михайлов Владимир Сергеевич,  
Ф.Ю Бурменко, А.В. Димогло, В.Г. Звонкий,  
Е.Г. Яковенко и Ю.Ф. Бурменко**

Зарегистрировано в Государственном реестре Министерства юстиции  
Приднестровской Молдавской Республики **24.06.2021**

Действие распространяется на всю территорию  
Приднестровской Молдавской Республики

сроком на **20 лет 26.04.2021** года



М.П. Государственный регистратор  И.В. Семердакова