

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Омский государственный аграрный университет  
имени П.А. Столыпина»

На правах рукописи



ШМИДТ АНДРЕЙ НИКОЛАЕВИЧ

**КОМБИНИРОВАННЫЙ СОШНИК ДЛЯ РАЗНОУРОВНЕВОГО ПОСЕВА  
ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Специальность 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование  
для агропромышленного комплекса

Диссертация  
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
кандидат технических наук, доцент  
Чекусов Максим Сергеевич

Омск 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                                             | 4  |
| 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ .....                                                                      | 10 |
| 1.1 Почвенно-климатические условия Омской области .....                                                                    | 10 |
| 1.2 Агротехнические требования к посеву зерновых культур .....                                                             | 13 |
| 1.3 Тенденция развития посевных машин .....                                                                                | 14 |
| 1.4 Патентный обзор комбинированных сошников .....                                                                         | 20 |
| Выводы по главе, цель и задачи исследования .....                                                                          | 28 |
| 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ<br>КОМБИНИРОВАННОГО СОШНИКА .....                                              | 30 |
| 2.1 Теоретические предпосылки для разработки сошников для посева и<br>разноуровневого внесения минеральных удобрений ..... | 30 |
| 2.3 Взаимодействие комбинированного сошника с почвой .....                                                                 | 38 |
| 2.4 Осыпание почвы при разной форме борозды .....                                                                          | 43 |
| 2.5 Формирование почвенной прослойки .....                                                                                 | 50 |
| Выводы по главе .....                                                                                                      | 55 |
| 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....                                                                | 56 |
| 3.1 Программа экспериментальных исследований .....                                                                         | 56 |
| 3.3. Методика выполнения отсеивающего эксперимента .....                                                                   | 57 |
| 3.4. Методика выполнения поискового опыта по определению длины закрытия<br>борозды .....                                   | 60 |
| 3.5 Методика определения почвенной прослойки .....                                                                         | 64 |
| 3.6 Выбор места агротехнического опыта .....                                                                               | 66 |
| 3.7 Методика определения твёрдости и влажности почвы .....                                                                 | 67 |
| 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....                                                                          | 74 |
| 4.1 Результаты отсеивающего эксперимента .....                                                                             | 74 |
| 4.2 Результаты поискового опыта по определению длины закрытия борозды .....                                                | 75 |
| 4.3 Результаты определения почвенной прослойки .....                                                                       | 82 |
| 4.5 Результаты определения глубины заделки семян .....                                                                     | 87 |

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.7 Результаты урожайности семян .....                                                     | 92  |
| 4.8 Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований .....         | 94  |
| Выводы по главе .....                                                                      | 95  |
| 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЯЛКИ СКП-2.1 С КОМБИНИРОВАННЫМИ СОШНИКАМИ ..... | 96  |
| 5.1 Расчет прямых эксплуатационных затрат .....                                            | 97  |
| 5.2 Расчет годового экономического эффекта .....                                           | 99  |
| Выводы по главе .....                                                                      | 100 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                           | 102 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....                                                                    | 103 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ .....                                                                           | 119 |

## ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях ведения сельского хозяйства для вхождения и закрепления России на мировом рынке сельхозпродукции возникла острая необходимость в качественных изменениях аграрных технологий. Ежегодный рост цен на энергоресурсы значительно превышает рост стоимости продукции сельского хозяйства. Стратегическим фактором конкурентоспособности продукции растениеводства является внедрение ресурсосберегающих агротехнологий, позволяющих получать качественный стабильный урожай при любых погодных условиях. Основные мероприятия направлены на оптимизацию структуры использования пашни, минимизацию обработки почвы, внесение органических и минеральных удобрений, использование средств защиты растений, внедрению почвообрабатывающих и посевных агрегатов нового поколения адаптированных к почвенно-климатическим условиям региона.

**Актуальность темы.** Первостепенной задачей растениеводства Западной Сибири является повышение урожайности возделываемых культур, особенно на юге, где сосредоточена большая часть пашни зерновых хозяйств. В 2025 году в Омской области от 3 млн.га общей посевной площади под зерновыми культурами занято почти 1,9 млн.га. В среднем по области за последние пять лет урожайность зерновых составляет 16-18 ц/га. Стабильность и повышение урожайности напрямую связано с качеством проведения технологических операций, в частности посева, внедрения интенсивных агротехнологий, с применением стартовых доз минеральных удобрений.

Рост и развитие растений, в частности корневой системы в начальный период, зависит не только от погодных условий, но и от плодородия почвы, которое зачастую находится на низком уровне. Поэтому обеспечение питанием корневой системы растения за счет использования минеральных удобрений является необходимым. Культура, получая питание в начальный период роста, формирует сильную корневую систему в короткие сроки, легче переносит неблагоприятные погодные условия.

Наибольшее распространение в современных ресурсосберегающих технологиях земледелия получило припосевное внесение стартовых доз минеральных удобрений, ниже высеваемой культуры. Совместное расположение семян и удобрений в одном почвенном горизонте провоцирует ожог у растения из-за кислотности удобрения. Кроме того, при сплошном внесении удобрений увеличивается вероятность «кормления» сорняков по всей площади посева.

Внесение удобрений при посеве ниже уровня высева семян позволяет улучшить минеральное питание на начальном этапе развития, от прорастания семян до образования корневой системы растения. Применение данной технологии способствует повышению всхожести семян и увеличению урожайности возделываемых культур, в сравнении с совместным размещением семян и гранул минеральных удобрений в одном почвенном слое.

Согласно вышеизложенному, тема диссертационного исследования достаточно актуальна, а разработка комбинированного сошника является перспективной задачей при посеве с одновременным внесением гранулированных минеральных удобрений.

**Цель исследования** – совершенствование технологии посева зерновых культур сошником с разноуровневым внесением минеральных удобрений.

**Задачи исследования:**

1. Провести сравнительный анализ существующих рабочих органов для посева зерновых культур с одновременным внесением гранулированных минеральных удобрений.
2. Разработать модель процесса посева с одновременным внесением удобрений в разные горизонты почвы.
3. Обосновать основные параметры комбинированного сошника для посева с одновременным внесением гранулированных минеральных удобрений.
4. Определить технико-экономическую эффективность от применения основных результатов исследования.

**Объект исследования:** Технологический процесс взаимодействия комбинированного сошника с почвой при посеве зерновых культур.

**Предмет исследования:** Зависимости, определяющие формирование почвенной прослойки при работе комбинированного сошника.

**Научная гипотеза:** Повышение урожайности зерновых культур может быть получено за счёт оптимизации конструктивных и технологических параметров сошника, обеспечивающего высев семян и удобрений в разные горизонты почвы с разделением почвенной прослойкой.

**Научная новизна:**

– теоретические зависимости формирования почвенной прослойки комбинированным сошником для разноуровневого посева и внесения минеральных удобрений;

– параметры установки семянаправителя комбинированного сошника, обеспечивающего высев семян и удобрений в разные горизонты почвы с разделением почвенной прослойкой;

Новизна технического решения подтверждена патентом на полезную модель РФ № 204018.

**Теоретическая значимость:** модель процесса посева с одновременным внесением удобрений в разные горизонты почвы с разделением почвенной прослойкой дополняет имеющиеся теоретические представления в части зависимости оценочных показателей посева от конструктивных особенностей комбинированных сошников.

**Практическая значимость:** разработана и предложена технологическая схема комбинированного сошника, позволяющая вносить минеральные удобрения ниже уровня высева семян.

**Реализация результатов исследования:** на сельскохозяйственном предприятии ООО «Ом-Сельмаш» изготовлены партии комбинированных сошников, для посева семян и разноуровневого внесения минеральных удобрений, и внедрены в хозяйствах АПК Омской области.

**Методология и методы исследований.** За основу теоретических исследований взяты общепринятые законы классической механики и математики. Экспериментальные исследования проводились на основе сравнительных

лабораторно-полевых исследований качества посева семян зерновых культур сеялкой СКП-2.1, переоборудованной экспериментальными комбинированными сошниками, с использованием стандартных методик (ГОСТ 31345-2007, СТО 5.6-2010). Обработка и анализ результатов исследований выполнялись с использованием программ Microsoft Office, Python, КОМПАС-3D и др.

### **Положения, выносимые на защиту:**

Технологическая схема комбинированного сошника, обеспечивающего высев семян и удобрений в разные горизонты почвы с разделением почвенной прослойкой;

Результаты теоретических исследований по определению рациональных параметров конструкции комбинированного сошника, обеспечивающего высев семян и удобрений в разные горизонты почвы с разделением почвенной прослойкой;

Результаты экспериментальных исследований по определению величины почвенной прослойки при выполнении технологического процесса посева и внесения минеральных удобрений комбинированным сошником.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность результатов исследований подтверждается сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, использованием сертифицированных средств измерения и контроля данных, практической реализацией конструкторской разработки в лабораторно-полевых условиях.

Основные положения и результаты исследований докладывались на следующих конференциях:

- научно-практические конференции ФГБОУ ВО «Омский ГАУ им. П.А. Столыпина» (2021–2024 г.г.);
- XVII международная научно-практическая конференция «Аграрная наука - сельскому хозяйству», г. Барнаул – 2022 г.;
- V международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов «Молодые учёные в аграрной науке», г. Луганск – 2022 г.;

– XIII всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, посвящённая памяти Р.Г. Гареева «Достижения и перспективы развития АПК России», г. Казань – 2023 г.;

– IX международная научно-практическая конференция «Новейшие направления развития аграрной науки в работах молодых ученых», г. Новосибирск – 2023 г.;

– X международная научно-практическая конференция «Молодые ученые: Современный взгляд на будущее АПК», г. Новосибирск – 2025 г.

Результаты использовались при исследовании по теме «Обеспечение продовольственной безопасности страны на основе создания программно-аппаратных комплексов и интеллектуальных платформенных цифровых решений в сфере развития агропромышленных технологий полного жизненного цикла», соглашение № 075-15-2024-542, а также в учебном и научно-исследовательских процессах при обучении студентов направления подготовки «Агроинженерия» в ФГБОУ ВО Омский ГАУ.

**Личный вклад соискателя состоит** в непосредственном исполнении всех этапов работы, а именно обзоре и анализе существующих рабочих органов для посева семян зерновых культур с одновременным внесением минеральных удобрений, постановке проблемы, формулировке научной цели и задач исследований, выявлении перспективных направлений внесения минеральных удобрений одновременно с посевом семян зерновых культур, согласно почвенно-климатическим условиям, теоретическом обосновании технологической схемы комбинированного сошника, разработке программы экспериментальных исследований и методик их проведения, выявлении оптимальных параметров комбинированного сошника, для образования почвенной прослойки между семенами и минеральными удобрениями, также определении технико-экономической эффективности от использования разработанных технических решений.

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 13 научных работ, из них 5 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья в рецензируемом зарубежном журнале, индексируемом в

научнометрической базе SCOPUS, 7 статей в периодических сборниках, трудах конференций, получен 1 патент на полезную модель.

### **Структура и объем работы.**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и библиографического списка, включающего 124 источника, в том числе 14 на иностранном языке. Диссертация включает 133 страницы машинописного текста, в котором 35 рисунков, 13 таблиц, и 8 приложений.

## 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 1.1 Почвенно-климатические условия Омской области

Площадь Омской области составляет 141,113 тыс. км<sup>2</sup>. По географическому положению расположена на юге Западносибирской низменности по среднему течению реки Иртыш, протяжённость с севера на юг почти 600 км, с запада на восток более 300 км. Северная часть области граничит с Тюменской и Томской областями (северо-запад и северо-восток). Южная часть граничит с соседним государством – Казахстаном, а восточная с Новосибирской областью. Поверхность почвы области представляет собой пологоволнистую равнину с незначительным уклоном с юга на север, сложенную горизонтально залегающими породами, третичного и четвертичного возрастов (главным образом глинами, песками, лессовидными суглинками). Площадь сельскохозяйственных угодий составляет 6,2 млн га, площадь пашни 4,02 млн га [61,94,96].

Омская область – одна из немногих областей, которая ввиду разнообразия природных условий входит сразу в четыре почвенно-климатических зоны: северная (таежная, подтаежная), северная лесостепная зона, южная лесостепная и степная зоны.

Северная зона представляет собой заболоченную равнину с обширной облесенной территорией. Почвы – подзолы, дерново – сильноподзолистые, луговые и болотные. Подзолы практически не содержат гумуса (1-1,5%). Дерново-сильноподзолистые почвы имеют гумусный слой небольшой мощности (10 – 14 см). По берегам болот встречаются солончаки и солонцы. Годовое количество осадков 450-490 мм.

Лесостепная зона широкой полосой пересекает центральную часть области. Следовательно, зона имеет выгодное экономико-географическое положение, она лежит на пересечении важной железнодорожной магистрали и крупного водного пути. Почва – солонцы и солончаки, присутствуют и болотные почвы. Количество осадков в год 350-400 мм.

Южная лесостепная зона — в основном представляет собой слабощелочные и карбонатные чернозёмы. Рельеф имеет равнинный характер, осадки выпадают в пределах от 300-350 мм в год.

Южная степная зона расположена на южных обыкновенных чернозёмах. Территория этой зоны представляет собой степь, имеющую равнинный и широко волнистый рельеф с большим уклоном к р. Иртыш, что в свою очередь провоцирует возникновение водной эрозии. Почвы - солонцы и солончаки, только по гривам, в небольших количествах чернозёмы и солонцеватые почвы. Количество осадков в год совсем не велико и составляет не более 250-300мм.

Основные климатические особенности почвенных зон Омской области представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Климатические особенности почвенных зон Омской области

| Почвенно-климатическая зона | Осадки, мм |                             | Сумма активных температур выше 10° С | Безморозный период, сут. | Период с температурой выше 10° С, сут. | Коэффициент увлажнения |
|-----------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------|------------------------|
|                             | за год     | За вегетацию (май - август) |                                      |                          |                                        |                        |
| Северная                    | >420       | >260                        | >1800                                | >100                     | >118                                   | 0,66-0,75              |
| Северная лесостепь          | 350-420    | 220-260                     | 1800-2000                            | 100-120                  | 118-127                                | 0,61-0,65              |
| Южная лесостепь             | 320-370    | 160-210                     | 2000-2100                            | 110-130                  | 125-130                                | 0,51-0,60              |
| Степная                     | 270-320    | 160-180                     | 2100-2200                            | 115-135                  | 127-132                                | 0,45-0,50              |

Климат Омской области резко континентальный, для него характерна продолжительная холодная зима, теплое, а на юге даже жаркое, но непродолжительное лето, короткие переходные сезоны, резкие колебания температуры от месяца к месяцу, от одного дня к другому и в течение суток, короткий безморозный период, сухость воздуха, малая облачность и сравнительно небольшое количество осадков. Северные таёжные и подтаёжные районы области вполне обеспечены влагой. Южные районы относятся к районам неустойчивого увлажнения и засушливой зоне. Большая часть осадков приходится на летнее время года. Такое

распределение осадков в средних и южных районах характеризует их общее количество и в целом обеспечивает дефицит влаги.

Общие черты температурного режима Омской области характеризуется суровой и продолжительной зимой, сравнительно коротким, но жарким летом, короткими переходными сезонами весной и осенью, поздними весенними и ранними осенними заморозками.

Низкие температуры наблюдаются в январе и изменяются территориально в очень ограниченных пределах, в среднем от 19 до 20°C. Самые низкие температуры, которые наблюдались в области -50, -51°.

Наиболее тёплым месяцем является июль, при средней температуре по области 20 – 23°C, а максимальные температуры +38, +40°. Продолжительность безморозного периода в северных районах составляет в среднем 90 – 115 дней, а на пониженных участках и лесных полянах сокращается до 70 – 100 дней, в южных районах 120 – 125 дней.

Таким образом, разница в средних температурах самого теплого и самого холодного месяцев составляет 40°, а разница между самыми высокими летними и самыми низкими зимними температурами 80—90°, что подчёркивает континентальность нашего климата.

В основных зерносеющих почвенно-климатических агроландшафтах территории области, где сосредоточено до 70% производства товарного зерна, засухи всегда были обычным явлением. За последние полвека в южной половине области отмечается тенденция потепления климата и нарастание активных (более 10° С) температур на 150-200° С.

Одна из главных задач при возделывании зерновых культур в условиях резко континентального климата – внедрение современных агротехнологий, повышение уровня интенсивности с использованием средств химизации, что обеспечит стабильность получаемого урожая сельскохозяйственных культур и продовольственную безопасность области в целом.

## 1.2 Агротехнические требования к посеву зерновых культур

Урожайность возделываемых сельскохозяйственных культур зависит как от качественных показателей семян, так в значительной степени и от проведения предпосевной подготовки почвы, способе и сроках проведения посева, технического состояния посевных машин [10,17,104].

Подготовка поля и посев зерновых культур, должны осуществляться согласно, научно-обоснованным и рекомендуемым для данной природно-климатической зоны требованиям. Соблюдение зональных агротехнологий позволяет повысить эффективность выращивания зерновых культур, предотвратить процесс деградации земель, сохранить уровень их плодородия [40].

Чтобы создать благоприятные условия для роста и развития растений необходимо:

- Проводить посев в календарные сроки, предусмотренные для каждой культуры;
- Поверхностный слой почвы должен быть мелкокомковатый, хорошо выровнен, высота гребней и глубина бород не более 2 см;
- Влажность почвы в зоне заделки семян должна находиться в пределах 15...20%, а плотность около 1,1 г/см<sup>3</sup> [25];
- Семена должны располагаться на уплотнённом, влажном посевном ложе, сверху прикрываться слоем рыхлой почвы [88].

Еще одним из главных агротехнических требований предъявляемым к посеву зерновых культур, является укладка семян на одинаковую глубину. Невыполнение этого требования приводит к изреженным всходам, вследствие того, что семя, попадая в верхние иссушенные слои, зачастую гибнет, а заделанное ниже допустимой глубины заделки всходит позже, а иногда и вовсе, не в силах пробиться через большой слой почвы [88].

Доказательством этого, являются исследования, проведенные при посеве пшеницы с постепенным увеличением глубины заделки семян на 1 см. В результате, появление всходов замедлялось на 2...4 дня [41,49].

Полученные данные С.В. Кардашевского свидетельствуют о том, что практически 60% неравномерности всхожести семян происходит из-за варьирования глубины расположения семян в почвенном слое [46].

Известно, что при посеве, норма высева зерновых культур должна быть постоянной [18]. Но следует учитывать тот фактор, что при увеличении либо уменьшении годового количества осадков, изменение влажности почвы к моменту посева, а также качество самого посевного материала (энергия прорастания, всхожесть, масса 1000 зерен) необходимо дифференцировать норму высева сельскохозяйственной культуры [26,39]. Правильно подобранная норма высева семян будет сопутствовать оптимальной густоте стояния растений, что является немаловажным фактором для получения высокого урожая. Так, при занижении нормы высева, посевы получают изреженные, культурными растениями используется не вся площадь пашни, вследствие чего создаются благоприятные условия для произрастания сорных растений. Завышенные нормы высева напротив приводят к загущению посева. Из-за конкуренции культуры между собой наблюдается эффект само угнетения, значительная часть растений становится недоразвитой, а у доминирующей части растений отмечается усиленный рост в высоту, с ущербом для нарастания корневой системы и массы колоса.

Эффективность внедрения интенсивных и ресурсо-влагосберегающих технологий для возделывания зерновых культур, которые являются основой сельскохозяйственного производства большинства развитых стран, в значительной степени зависит от агротехнических показателей и сроков проведения посева. Весенний сев зерновых культур в южной части Западной Сибири из-за резких изменений климата последние годы производится в иссушенную жаркой сухой погодой почву [28,29,69].

### **1.3 Тенденция развития посевных машин**

Вопросами посева сельскохозяйственных культур с учётом зональных условий занимались такие учёные, как: М.А. Адуов, В.С. Астахов, В.И.

Беляев, И.В. Волошин, В.П. Горячкин, В.А. Желиговский, А.Ф. Жук, К.Г. Исенов, А.Н. Калабушев, А.А. Кем, В.И. Курдюмов, П.В. Лаврухин, Н.П. Ларюшин, А.В. Мачнев, А.М. Мухаметдинов, В.И. Мяленко, С.О. Нукешев, Г.И. Орехов, Е.В. Припоров, Д.Н. Раднаев, Ю.А. Сергеев, Н.Ф. Скурятин, В.Н. Трубников, И.М. Фархутдинов, В.В. Шумаев, Д.А. Яковлев, Н.С. Яковлев, А. Werner [3,4,9,53,71,72,83,84,87,91,100,101,102,107].

Необходимость повышения урожайности сельскохозяйственных культур, неизбежно приводит к совершенствованию посевной техники, ее конструктивных параметров под разнообразие физико-механических свойств семян, схем и способов посева в различных почвенно-климатических условиях. В настоящее время активно внедряются посевные машины, с использованием технологий точного земледелия, что приводит к повышению производительности труда, экономии семян и топлива. Повышение эксплуатационных и технологических показателей всегда было и остаётся актуальной задачей [30].

При выборе посевной машины рассматриваются такие показатели как: универсальность, надежность, простота технического обслуживания и доступность запасных частей, качество выполнения процесса посева [27,34]. Универсальность заключается в возможности высева различных сельскохозяйственных культур, а так же внесения минеральных удобрений. Качество посева, в большей степени зависит от качественного выполнения технологического процесса работы сошников при различных почвенных условиях.

В зависимости от высева сельскохозяйственных культур посевные машины подразделяются на зерновые сеялки и точного высева, таких культур как кукуруза, свекла, подсолнечник, и посева овощных культур.

Посевные машины можно разделить на несколько групп: по способу и технологии посева, по назначению, по типу высевающего аппарата и сошников, по способу агрегатирования (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Классификация посевных машин

К посевным машинам при посеве сельскохозяйственных культур предъявляются следующие агротехнические требования:

- 1) отклонение фактической нормы высева не более  $\pm 3\%$ ;
- 2) неравномерность высева не должна превышать  $6\%$ ;
- 3) травмирование семян высевашими катушками не более  $0,2\%$ ;
- 4) отклонение глубины посева в пределах  $1,5...2$  см.

Основными рабочими элементами посевных машин являются высевашие аппараты и сошники.

Задача высевашего аппарата обеспечить непрерывную подачу семян заданной нормы высева при различных скоростях движения агрегата.

Сошниковой группе отведена роль формирования плотного посевного ложа для укладки семян на заданную глубину посева, с минимальным выносом влажных слое почвы на поверхность, с хорошей самоочисткой. От качества работы сошниковой группы зависит всхожесть и дальнейшее развитие растений [43,47,68,74,85,124,].

Прямой посев – посев по предшествующей культуре без предварительной обработки почвы. Исследованиями обоснованно положительное влияние прямого способа посева на структурирование почвы, накопление и сохранение влаги в ней, урожайность возделываемых культур. В связи с этим, технология прямого посева вызывает интерес у аграриев в сравнении с традиционной технологией [5,6,7,8,11,38,124].

Посевные машины для прямого посева можно классифицировать исходя из профиля борозды образованного в процессе прохода сошников в почве. В.Р. Ритчи, К.Е. Сакстон, С. Дж. Бейкер в своих работах выделяют рабочие органы, которые после прохода оставляют U-образную, Т-образную и V-образную бороздки (рисунок 1.2).

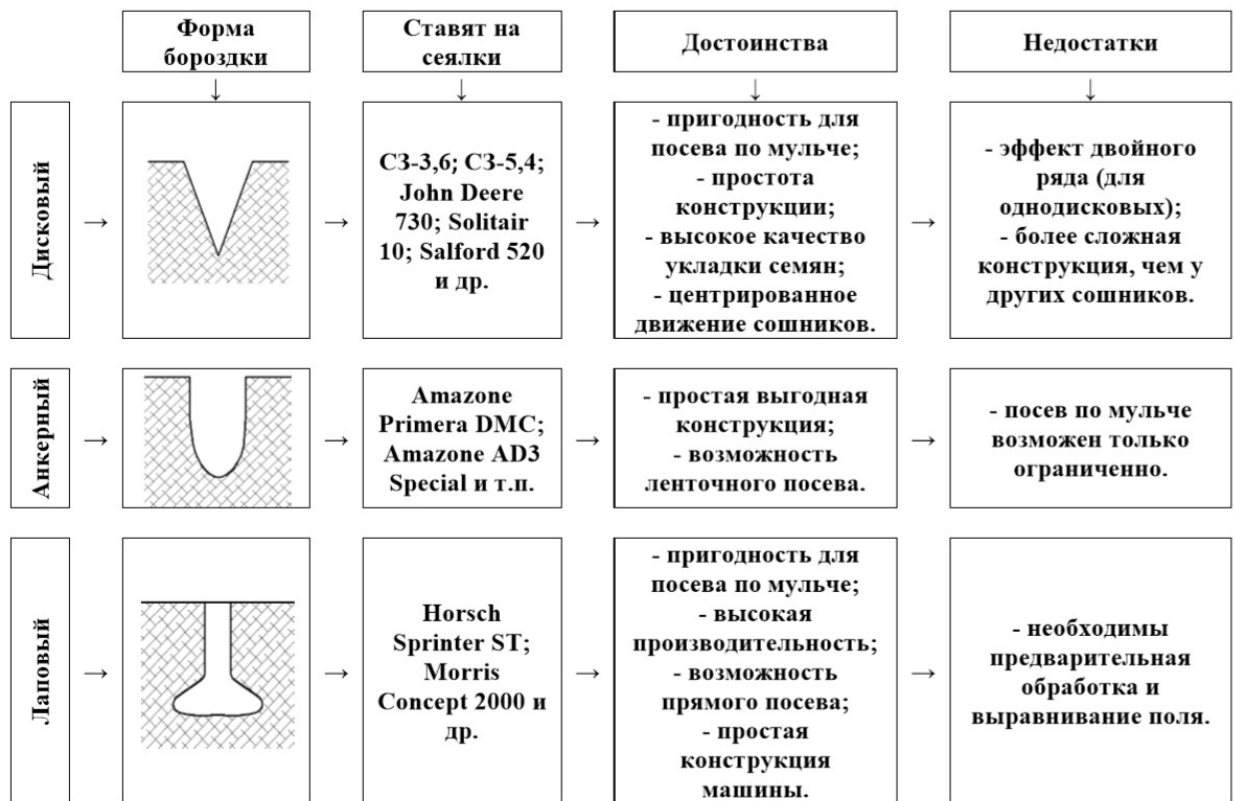


Рисунок 1.2 – Схема образования бороздки в зависимости от типа сошника

Посев с V-образной формой бороздки в основном производится дисковыми рабочими органами. Дисковые рабочие органы выпускаются как с двумя одинаковыми дисками, с дисками разного диаметра, с дисками со смещением друг относительно друга, так и в однодисковом варианте. Необходимо отметить, что для осуществления прямого посева дисковыми сошниками, перед ними часто

устанавливается рифленый прорезной диск, например, как на посевной секции сеялки ДОН-125 (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Посевная секция сеялки ДОН-125

Данные сошники отличает невысокое тяговое сопротивление и хорошее копирование неровностей почвы. Но на тяжелых почвах, они не удовлетворяют показатели по равномерности глубины хода. В условиях дефицита влаги их не рекомендуют использовать по причине укладки семенного материала в иссушенные слои почвы [11].

Бороздки U-образной формы образуются после прохода анкерного типа сошников, которые в свою очередь, набирают все большую востребованность (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Анкерный посевной комплекс AGRATOR ANCER-12200

От других типов сошников, анкерные отличаются более высокой устойчивостью хода в условиях тяжёлых почв, возможность посева на большую глубину в засушливых условиях.

Для предотвращения забивания растительными остатками при большой урожайности предшествующей культуры, и образования ровных бороздок, посевные секции дополнительно могут комплектоваться прорезными дисками (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Секция посевного комплекса AGRATOR ANCER  
с прорезным диском

К посевным машинам с анкерным рабочим органом, выполняющие при посеве бороздки U-образной формы, можно отнести: ПК Кузбасс-А, Flexi Coil5000, Amazone Primera DMC-6001.

Посев Т-образной бороздки осуществляется лаповыми сошниками при прямом посеве по необработанным фонам. Конструкция лапового сошника предназначена для полосного посева сельскохозяйственных культур полосой 18-20 см с междурядьем 19, 22,8, 25, 30 см с одновременной предпосевной культивацией, внесении гранулированных минеральных удобрений в один рядок с семенами. Одновременно с посевом семян производится подрезание сорных растений стрельчатыми лапами, что позволяет экономить ГСМ (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Лаповый сошник посевного комплекса КУЗБАСС

Лаповые рабочие органы устанавливаются в основном на сеялки СКП-2.1, СЗС-2.8, AGRATOR, Partner-9, Morris Concept 2000, Кузбасс-9.7.

Основным принципом почвозащитного земледелия является технология прямого посева, способная приостановить эрозионные и дефляционные процессы, избежать переуплотнения почв с соблюдением научно-обоснованного севооборота. Соответственно, к посевным машинам для выполнения прямого посева, дополнительно предъявляются требования по минимальному рыхлению и перемешиванию слоев почвы, сохранность стерни и мульчи [57,58].

В практике отечественного сельхозмашиностроения, темпы развития сошников для прямого посева, ниже, чем в других странах. На сегодняшний день, в современном сельскохозяйственном производстве нашей страны, приоритетным направлением развития заделывающих рабочих органов, может стать создание комбинированных рабочих органов для прямого посева, при совмещении операций обработки почвы, посева и разноуровневого внесения минеральных гранулированных удобрений [56,59,67,103].

#### **1.4 Патентный обзор комбинированных сошников**

Увеличение рентабельности зернового хозяйства при сохранении существующего уровня плодородия является основной целью засушливых регионов Западной Сибири. Зачастую почвы обладают низким уровнем плодородия, обусловленным комплексом неблагоприятных факторов, среди которых наиболее существенными являются водный дефицит и очень низкое содержание доступного растениям азота. Средняя урожайность зерна в массовых посевах пшеницы не превышает 14–18 ц/га с изменениями от 6 до 30 ц/га [73].

Для получения стабильных урожаев необходимо обеспечить растения минеральным питанием в соответствии с их потребностями на разных этапах роста и развития. В процессе вегетации растения используют удобрения только в том случае, если влажность посевного слоя почвы способствует образованию вторичной корневой системы, которая находится выше слоя удобрений. В случае недостаточной влажности посевного слоя корневая система развивается ниже слоя высеянных удобрений, и они не могут использоваться растениями в начальный период их развития.

Решение этой агрохимической задачи традиционно осуществляется в 2 приёма: в основное и припосевное внесение удобрений [89].

Под зерновые культуры в степной зоне рекомендуется вносить основное удобрение в дозе  $N_{40}P_{40}-N_{60}P_{40}K_{40}$  и при посеве с семенами –  $P_{10}$ . Более высокие дозы минеральных удобрений давали значимую прибавку лишь в относительно увлажнённые годы, а в сухие и острозасушливые годы эффект от удобрений отсутствовал вследствие изреживания посевов при высокой концентрации почвенного раствора и снижения коэффициента использования удобрений [54].

При этом основную дозу вносят разбросным методом под весеннюю вспашку, реже – локально сеялкой-культиватором перед посевом.

Одним из условий увеличения продуктивности зерновых культур является решение проблемы безопасного для растений внесения высоких доз минеральных удобрений в корнеобитаемый слой при снижении непроизводительных потерь удобрений. Для этого необходимо изменить тактику внесения удобрений, варьировать глубину размещения и дозы в зависимости от складывающихся почвенных и климатических условий [14,48,113].

В настоящее время для посева семян зерновых культур с одновременным раздельным внесением стартовой нормы минерального удобрения используются различные варианты комбинированных сошников, при работе которых, образуется почвенная прослойка между семенами и удобрением, для снижения риска химического ожога последним.

Рассмотрим некоторые конструкции комбинированных сошников для посева семян зерновых культур с одновременным раздельным внесением минеральных удобрений.

Известен комбинированный сошник (рисунок 1.7) ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия», задачами которого является более устойчивый ход по глубине, более равномерное распределение по площади внесения

семян и удобрений, возможность работы на тяжелых почвах, что приведет к повышению урожайности сельскохозяйственных культур и снижению затрат на производство [79].

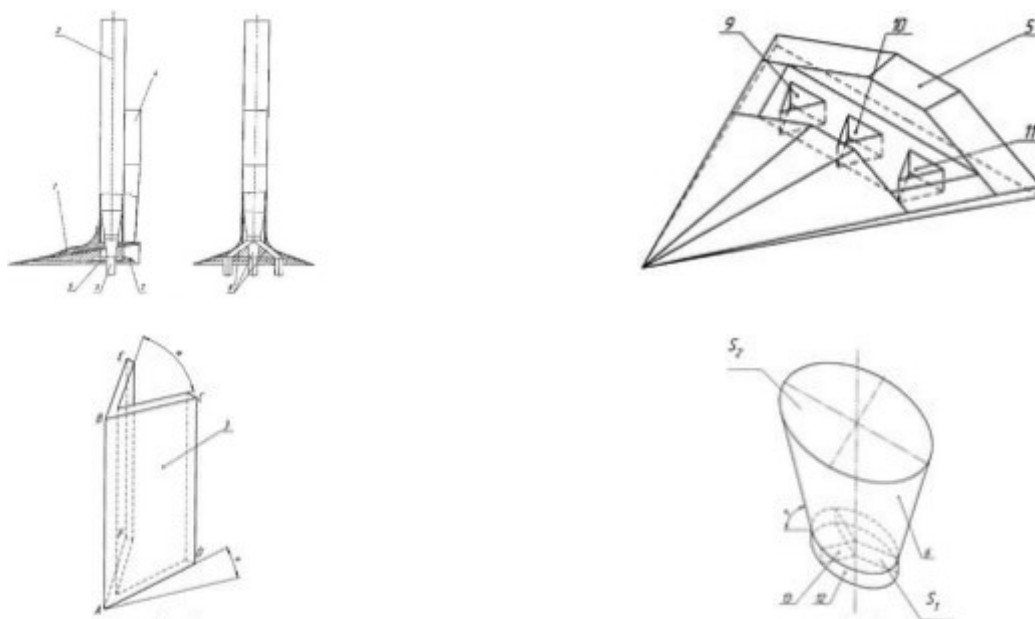


Рисунок 1.7 – Схема комбинированного сошника: 1 – стрелчатая лапа; 2 – стойка-тукопровод; 3 – пустотелые клинья; 4 – семяпровод; 5 – подошва; 6 – направитель; 7 – распределитель семян; 8 – подводящий канал; 9,10,11 – вертикальные отверстия; 12 – делитель потока туков; 13 – перемычка

При движении комбинированного сошника стрелчатая лапа 1 заходит в стерневой слой почвы и приподнимает его. Почвенный слой без фонтанирования и разрушения движется по стрелчатой лапе 1, при этом в подошве 5 установлены идентичные по форме пустотелые клинья 3. Пустотелые клинья 3 разрезают почвенный слой ниже плоскости резания стрелчатой лапы 1, образуя бороздки на глубину, большую на 3...5 см глубины заделки семян. Удобрения, поступая по стойке-тукопроводу 2, попадают в воронку-направитель 6, проходя которую концентрируются в нижнем основании воронки-направителя 6 и попадают на делитель потока туков 12, делятся перемычками 13 делителя потока туков 12 на три равных потока и, проходя по подводящим каналам 8, попадают через пустотелые клинья 3 в бороздки глубиной, большей глубины заделки семян. Затем подошва 5 заделывает удобрения и выравнивает дно борозды, образуя

уплотненное ложе для семян. Семена, поступающая по семяпроводу 4 в подлаповое пространство стрелчатой лапы 1, попадают на распределитель семян 7 и равномерно распределяются по дну борозды. При этом почва, продолжая перемещаться по стрелчатой лапе 1, плавно закрывает дно борозды слоем почвы.

Недостатки: возможно забивание туковыхходящих каналов почвой, нет возможности работать без стрелчатых лап.

В ФГБНУ «Аграрный научный центр Донской», авторами: Беспмятнова Н.М., Камбулов С.И., Колинко А.А., Добровольская С.Г. предложена конструкция сошника, защищённая патентом РФ № 2670590 (рисунок 1.8) [80].

Цель и назначение разработки: более равномерное распределение семян по глубине, повышение урожайности зерновых культур и снижение тягового сопротивления при осуществлении управляемого процесса уплотнения почвенного пласта.

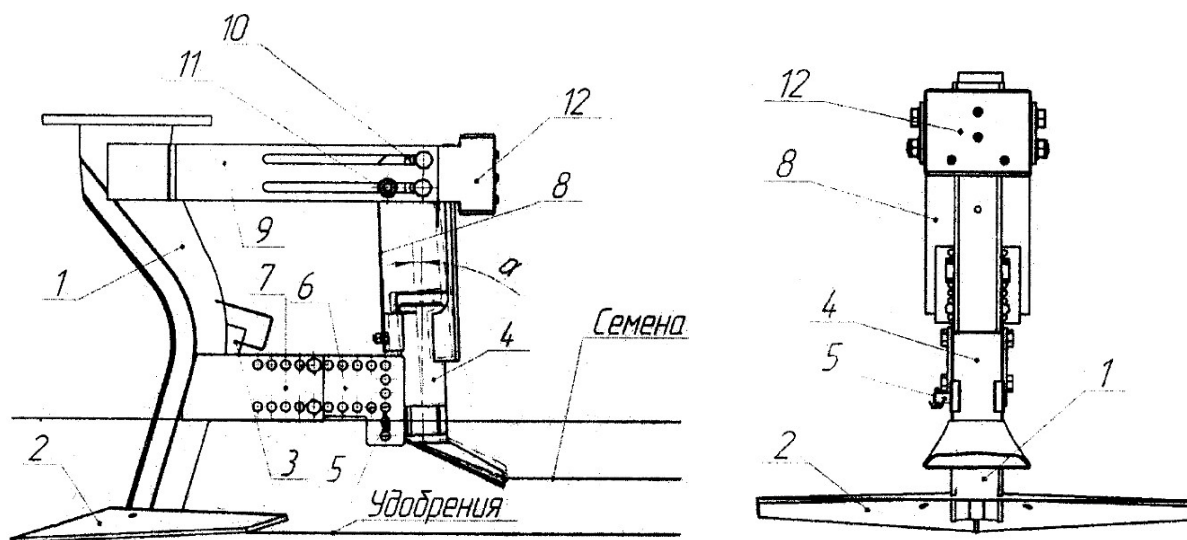


Рисунок 1.8 – Схема сошника для посева семян и внесения удобрений: 1 – стойка; 2 – рыхлительная лапа; 3 – тукопровод; 4 – семяукладыватель; 5 – ось; 6,7 – нижний кронштейн; 8 – рессорный элемент; 9 – верхний кронштейн; 10,11 – ограничители; 12 – электромагнит

Сошник для посева семян и внесения удобрений работает следующим образом. При заглублении сошника в почву рыхлительная лапа 2 раскрывает борозду, в которую через тукопровод 3, находящийся внутри стойки 1,

укладываются удобрения. По семяпроводу семена поступают в семяукладыватель 4 и распределяются в зоне посева семян. Вынужденные колебательные движения семяукладывателя 4, способствующие уплотнению почвенного пласта, осуществляются следующим образом. Электромагнит 12 получает управляющий сигнал, соответствующий типу и свойствам обрабатываемой почвы от управляющего устройства, находящегося в кабине трактора. При воздействии электромагнита 12 на семяукладыватель 4 электромагнитным полем, происходит поворот семяукладывателя 4 вокруг оси 5 на угол  $\alpha$ , величина которого регулируется перестановкой ограничителя 10 вдоль кронштейна стойки 9 в соответствующее той амплитуде, которая соответствует структуре почвы в момент посева. Возврату семяукладывателя 4 в исходное положение способствует рессора 8, жесткость которой регулируется перестановкой ограничителя 11, закрепленного на верхнем кронштейне стойки 9 болтовым соединением, в положение, соответствующее той или иной жесткости. Для почвы с одними показателями влажности, плотности, рыхлости, липкости, которые измеряются до посева, амплитуда, частота вибрации и мощность воздействия электромагнита на семяукладыватель 4 задаются одни, а для почвы с другими показателями - другие. Таким образом, при подборе режимов, соответствующих типу почвы, обеспечивается уплотнение почвенного пласта между семенами и удобрениями до заданных агротехническими требованиями пределов.

Вывод: сложность конструкции, повышенная металлоёмкость, отсутствует возможность произвести подпочвенно разбросной посев, высокое тяговое сопротивление, вследствие того, что стрелчатая лапа работает на большей глубине, чем производится посев.

На рисунке 1.9 представлена схема сошника, для разноуровневого высева семян и удобрений на которую получен патент № RU 161557 U1, разработанная Курдюмовым В.И. и Татаровым Г.Л., в ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П.А. Столыпина» [77].

Целью разработки является повышение качества посева за счет посева с одновременным внесением минеральных удобрений.

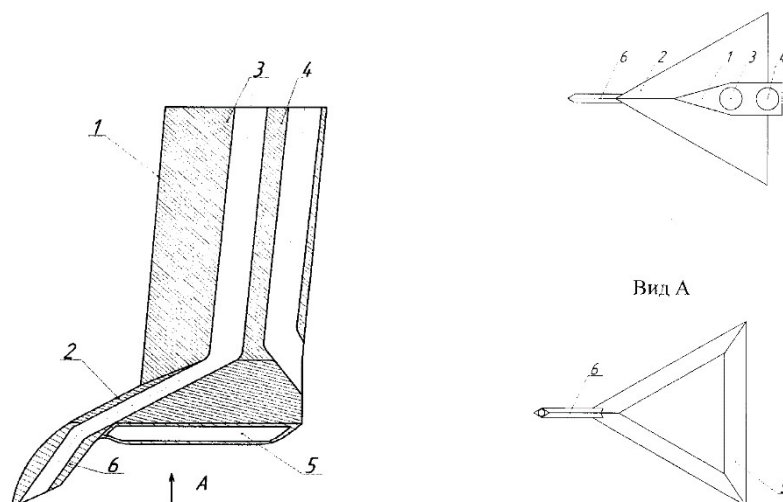


Рисунок 1.9 – Схема сошника для разноуровневого высева семян и удобрений:

1 – клиновидная стойка; 2 – лапа; 3 – канал для подачи удобрений;

4 – канал для подачи семян; 5 – пустотелый уплотнитель; 6 – нож

Работает данный сошник следующим образом. При движении сеялки сошник для разноуровневого высева семян и удобрений клиновидной стойкой 1 разрезает верхний слой почвы и сдвигает его в междурядье. Из туковысевающих и семявысевающих аппаратов через туко- и семяпроводы, в соответствующие каналы 3 и 4 сошника подаются удобрения и семена. Удобрения через внутреннюю полость ромбовидного ножа 6, соединенную с каналом 3 для подачи удобрений, укладываются в щель, выполненную в почве полым ромбовидным ножом 6. Уплотнитель 5 частично сдвигает почву, выравнивая выполненную полым ромбовидным ножом 6 щель с удобрениями, а затем уплотняет почву до требуемой плотности. Семена высеваются в почву через канал 4 для подачи семян выше линии расположения удобрений.

Вывод: возможно залипание почвой канала для подачи удобрений, невозможность выполнения подпочвенно-разбросного посева.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», предлагает конструкцию сошника для разноуровневого высева семян и удобрений. патент РФ № 186299 (рисунок 1.10) [78].

Цель и назначение разработки: повышение качества высева семян и удобрений на разную глубину в почву.

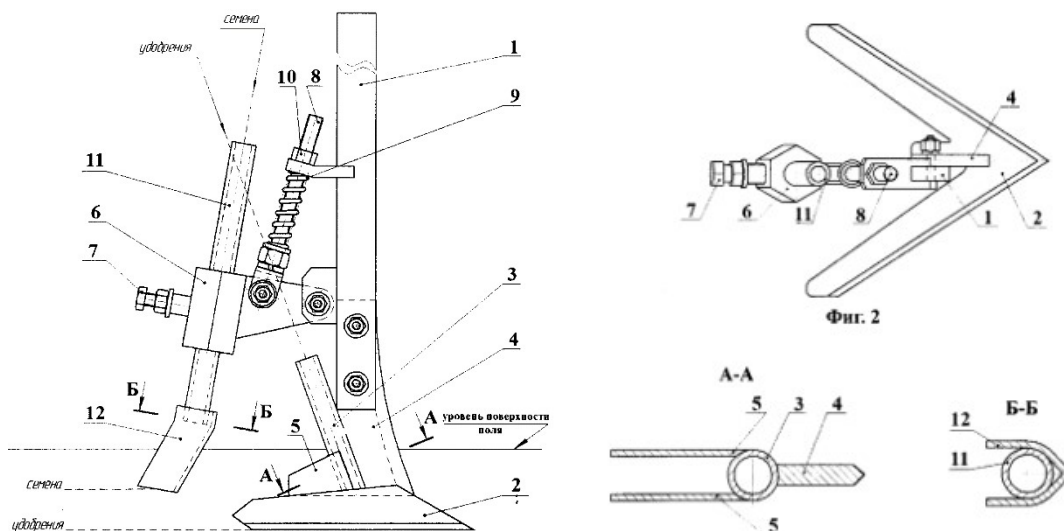


Рисунок 1.10 – Схема сошника для разноуровневого высева семян и удобрений:

- 1 – стойка; 2 – лапа; 3 – тукопровод; 4 – ножевидная стойка; 5 – почвоотводящее крыло; 6 – кронштейн; 7 – фиксатор; 8 – штанга; 9 – пружина; 10 – гайка;  
11 – семяпровод; 12 – клиновидный наконечник

Рабочий процесс происходит следующим образом. При движении сеялки, заостренные передние грани ножевидной стойки 4 сошника разрезают верхний слой почвы и сдвигают его в междурядье. Лапы 2 сошников рыхлят почву и подрезают сорные растения. Высевающие аппараты сеялки (на фиг. не указаны) через семяпроводы 11 и тукопроводы 3 направляют семена и удобрения к ним, выходные отверстия которых расположены на разной высоте, причем линия высева удобрений располагается ниже линии высеянных семян. Высеянные удобрения и семена присыпаются слоем почвы, сходящим с крыльев лап 2 и клиновидного наконечника 12.

К недостаткам такой конструкции сошника можно отнести неравномерный высев по глубине, сгуживание и залипание почвенно-растительными остатками отверстия клиновидного наконечника, что приводит к нарушению технологии посева зерновых с одновременным внесение минеральных удобрений.

Ими же предложена усовершенствованная конструкция сошника для

разноуровневого высева семян и удобрений, на которую получен патент на полезную модель № RU 2728477 (рисунок 1.11) [81].

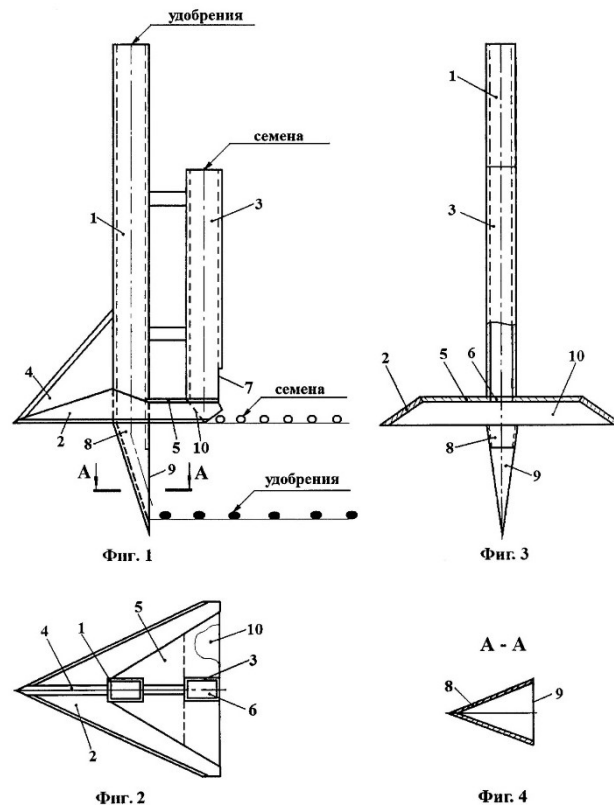


Рисунок 1.11 – Схема сошника для разноуровневого высева семян и удобрений:

- 1 – стойка; 2 – стрелчатая лапа; 3 – семяпровод; 4 – нож; 5 – пластина;  
 6 – горизонтальный паз; 7 – вертикальный паз; 8 – почвоуглубитель;  
 9 – выходное отверстие; 10 – разравниватель

Сошник для разноуровневого высева семян и удобрений работает следующим образом. При движении сеялки, стрелчатая лапа 2 рыхлит верхний слой почвы и подрезает сорные растения. Нож 4 дополнительно крошит слой почвы, приподнятый стрелчатой лапой 2, и исключает сгуживание почвы перед стойкой 1. Почвоуглубитель 8 в форме тетраэдра, острой гранью направленный в сторону направления движения сошника, формирует под стрелчатой лапой 2 бороздку. В нижней части почвоуглубителя 8 выполнено выходное отверстие 9 и направлено в сторону, противоположную направлению движения сошника. Разравниватель 10, установленный под семяпроводом 3 во внутреннем пространстве стрелчатой лапы 2, смещает почву от крайних точек крыльев стрелчатой лапы 2 к продольной оси симметрии стрелчатой лапы 2, тем самым,

засыпая бороздку с удобрениями и образует уплотненное ложе для укладки на него семян. Семена, выходящие из семяпровода 3, попадают на влажное уплотненное ложе, образованное стрелчатой лапой 2. Слой почвы, сходящий с крыльев стрелчатой лапы 2, движется по пластине 5 равномерно накрывает высеянные семена. Пластина 5, установленная между крыльями стрелчатой лапы 2, позволяет исключить моментальный сход подрезанного слоя почвы с крыльев стрелчатой лапы 2.

В реальных, полевых условиях большинство разработанных конструкций комбинированных сошников для посева семян зерновых культур и отдельного внесения минеральных удобрений, не обеспечивают необходимую почвенную прослойку между ними. В связи с этим, на сегодняшний день ведётся работа по созданию комбинированных сошников для разноуровневого посева и внесения минеральных удобрений с почвенной прослойкой, которые будут соответствовать современным агротехническим требованиям к посеву.

### **Выводы по главе, цель и задачи исследования**

Согласно почвенно-климатическим условиям и агротехническим требованиям, а также анализу посевных машин можно отметить, что перспективным направлением считается разработка посевных рабочих органов на базе культиваторных лап способных за один проход выполнять несколько технологических операций: подрезание сорняков, открытие борозды, образование семенного ложа, равномерное распределение семян, внесение удобрений.

Однако, существующие рабочие органы не в полной мере отвечают предъявляемым требованиям, а именно:

- вносят семена в один рядок с гранулами минеральных удобрений;
- высушивают посевной слой почвы, путем чрезмерного рыхления;
- имеют отклонения от заданной глубины заделки семян;
- сложность в изготовлении и металлоёмкость.

Все вышеперечисленное приводит к недобору урожая сельскохозяйственных культур, а внесение минеральных удобрений в один

почвенный горизонт с семенами сводит на нет эффективность от их внесения в засушливых условиях Западной Сибири.

Для качественного выполнения технологического процесса посева с одновременным внесением удобрений необходимы комбинированные сошники, простой и надежной конструкции, способные высевать семена и удобрения в разные почвенные горизонты.

Основываясь на вышеизложенном были поставлены следующие задачи:

1. Провести сравнительный анализ существующих рабочих органов для посева зерновых культур с одновременным внесением гранулированных минеральных удобрений.
2. Разработать модель процесса посева с одновременным внесением удобрений в разные горизонты почвы.
3. Обосновать основные параметры комбинированного сошника для посева с одновременным внесением гранулированных минеральных удобрений.
4. Определить технико-экономическую эффективность от применения основных результатов исследования.

## **2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО СОШНИКА**

### **2.1 Теоретические предпосылки для разработки сошников для посева и разноуровневого внесения минеральных удобрений**

Яровая пшеница по-прежнему является лидером среди продовольственных культур, под которую отводится большая часть пашни. Получение высоких урожаев пшеницы непосредственно связано с комплексной системой минерального питания растения. Усваивающая способность корневой системы пониженная, поэтому внесение полноценных основных удобрений играет ключевую роль в формировании урожайности [37,86,115,117,118].

Более 40 лет на длительном стационарном опытном поле НИИСХ Северо-Востока проводились опыты с возрастающими дозами минеральных удобрений, по изучению влияния удобрений на урожайность яровой пшеницы. Опытом установлено, что максимальная урожайность достигалась при внесении полного комплексного минерального удобрения NPK [1].

По рекомендациям агрохимических служб азотные удобрения необходимо вносить локально, одновременно с посевом, предпочтительно ниже уровня расположения семян с почвенной прослойкой между ними. Внесение удобрений при посеве в один рядок с семенами приводит к обжиганию проростков в химической агрессивной среде. Способ посева и внесение минеральных удобрений в первую очередь выбирают в зависимости от природно-климатических условий. Наибольший эффект от внесения удобрений можно получить соблюдая следующие требования: исключение контакта больших доз удобрений с семенным материалом, пространственное размещение минеральных удобрений относительно корней растения, размещение удобрений во влажные слои почвы. Вышеперечисленные требования невозможно выполнить без разработки технического средства, способного за один проход посевной машины, размещать семенной материал и минеральные удобрения на разную глубину (рисунок 2.1).

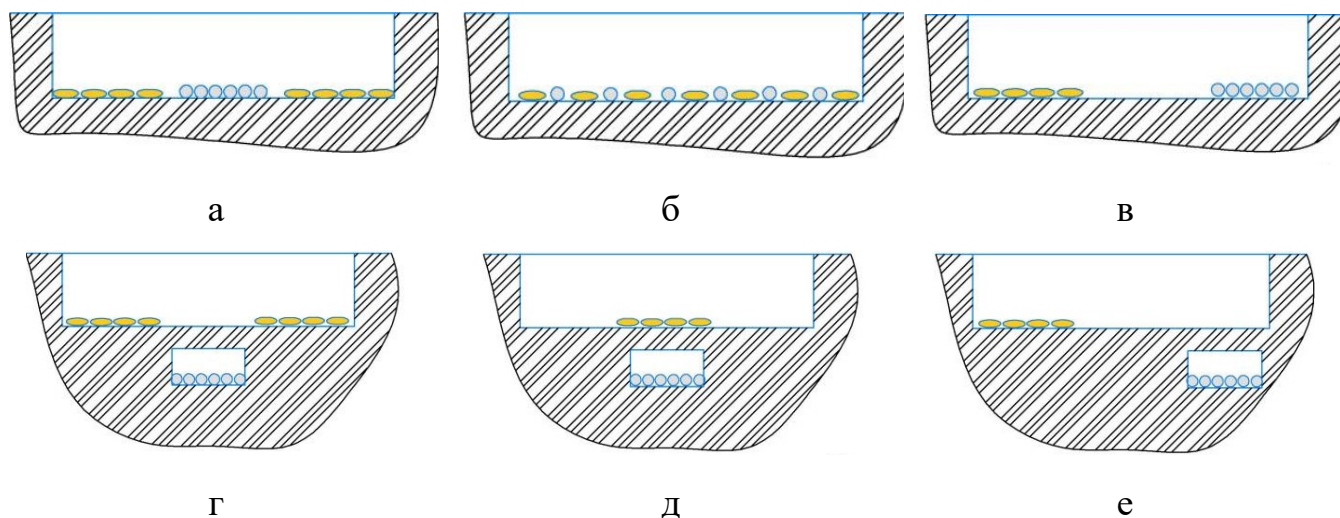


Рисунок 2.1 – Схемы размещения семян и удобрений при раздельном способе посева: а – внесение в один почвенный горизонт между рядами; б – внесение совместно в один почвенный горизонт; в – внесение в один почвенный горизонт с боку; г – внесение между рядами и вглубь; д – внесение под семенами и вглубь; е – внесение в сторону и вглубь

В исследованиях О.П. Лабурдов определял величину почвенной прослойки, при работе комбинированного сошника с разным диаметром дисков и размещении удобрений в стороне и ниже от уровня семян (рисунок 2.2) [52].

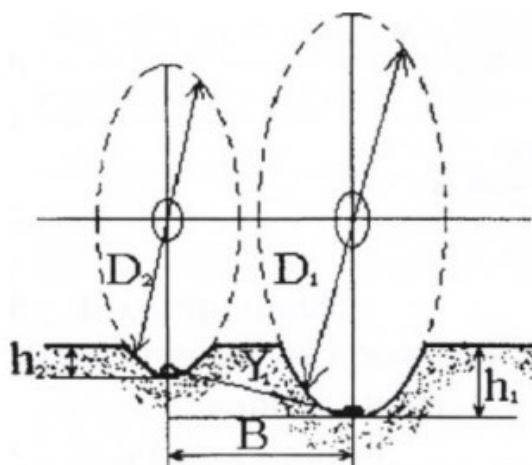


Рисунок 2.2 – Схема определения почвенной прослойки

Автор предлагает определить величину почвенной прослойки ( $y$ ), как критерий, оценивающий качество выполнения процесса, с помощью уравнения:

$$y = \sqrt{B^2 + (h_1 - h_2)^2}$$

где  $B$  – расстояние между центрами дисков;

$h_1$  и  $h_2$  – глубина хода тукового и семенного дисков.

Установлены пределы конструктивных параметров для пары дисковых комбинированных сошников: глубина хода сошников с учетом агротребований  $h = 1...12$  см; угол внутреннего трения почвы  $\varphi = 20...40^\circ$ ; диаметр диска  $D = 30...40$  см; угол атаки диска  $\alpha = 5...15^\circ$ . При таких параметрах гарантирована заделка высеваемого материала и минеральных удобрений за счет самоосыпания стенок бороздок [51].

Мухаметдиновым А.М. в Башкирском ГАУ разработан комбинированный рабочий орган, устанавливающийся на сеялку СЗС-2.1, способный работать по стерневому фону (рисунок 2.3) [67,70].

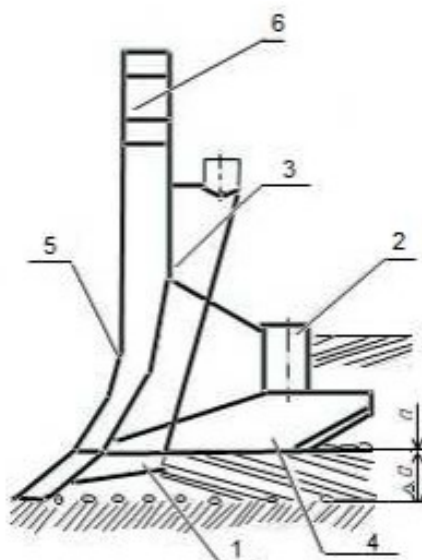


Рисунок 2.3 – Схема комбинированного рабочего органа

На основании уравнений динамики сплошной деформируемой среды с учетом силы реакции дна и стенок борозды автором разработана математическая модель процесса взаимодействия сошника с почвой. Определены начальные и граничные условия функционирования модели. Обоснована математическая модель процесса движения семян и параметры распределителя – угол раствора  $2\gamma_p = 76^\circ$  и угол наклона  $\beta_p = 73^\circ$ , высота распределителя в нижней части  $H_1 = 26$  мм, в верхней части  $H_2 = 46$  мм.

Раздельное внесение удобрений сбоку от семян с почвенной прослойкой между ними решает проблему накопления токсичности и нитратов, но семенной материал не в полной мере получает питание от внесения удобрений [23].

Наиболее эффективным способом, позволяющим рационально использовать минеральные удобрения будет являться посев зерновых культур с разноуровневым внесением удобрений ниже уровня семян.

Калабушевым А.Н. разработана конструкция дискового комбинированного сошника с U-образным загортачем для укладки и заделки семян зерновых культур и гранул минеральных удобрений при их разноуровневом внесении (рисунок 2.4).

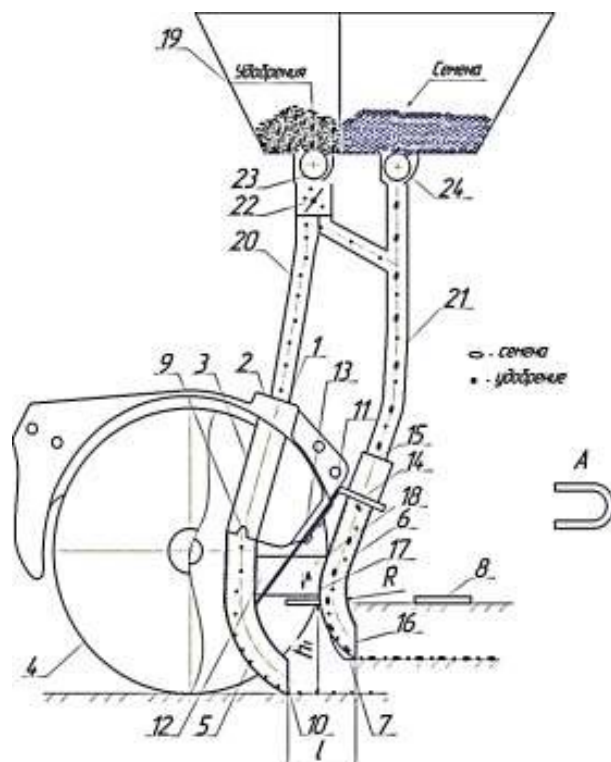


Рисунок 2.4 – Конструктивно-технологическая схема комбинированного сошника с U-образным загортачем для укладки и заделки семян зерновых культур и гранул минеральных удобрений при их разноуровневом внесении

Вследствие того, что при прохождении рабочего органа в почвенном слое с определенной скоростью движения, ложе, образованное туконаправителем, в течении какого-то времени остаётся открытым. Для определения длины открытой части борозды и расстояния, на котором должен устанавливаться семяправитель, автором разработана схема (рисунок 2.5) для расчета времени осыпания борозды.

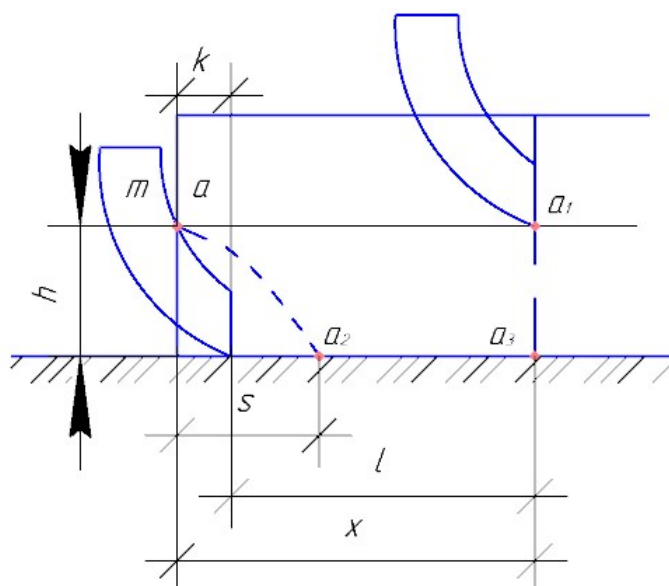


Рисунок 2.5 – Схема для расчета времени осыпания борозды:

$l$  – длина открытой части борозды;  $s$  – путь проходимой почвой за время осыпания;  $h$  – высота падения частицы почвы;  $k$  – расстояние начала движения частицы до выходного отверстия

В результате лабораторно-полевых исследований уточнены рациональные параметры комбинированного сошника: ширина уплотнителя ложа – 12,8...15,9 мм, расстояние между плоскостями выходных отверстий туконаправителя и семяпровода – 34,3...40,3 мм, расстояние от основания выходного отверстия туконаправителя до U-образного загортача – 45,5...55,5 мм [44].

Одним из главных недостатков вышеуказанных конструкций – невозможность подрезания сорняков на всей площади поля одновременно с посевом.

В засушливых условиях Западной Сибири посев зерновых культур в большей мере выполняется зернотуковыми сеялками-культиваторами. Основная часть сеялок и посевных комплексов оборудованы сошниками, конструкция которых осуществляет внесение минеральных удобрений совместно с высевом семян, в один рядок почвенного горизонта. При низкой влажности посевного слоя почвы это ведёт к неэффективности использования минеральных удобрений, и внесение их с малой нормой.

Исеновым К.Г. предложена конструкция сошника (рисунок 2.6) для раздельного внесения минеральных удобрений совместно с высевом семян

зерновых культур применительно к стерневой сеялки СЗС-2.1 и сеялке-культиватору СКП-2.1 [45].



Рисунок 2.6 – Модель сошника для раздельного внесения минеральных удобрений

В ходе проведённых лабораторно-полевых опытов, автором установлены следующие конструктивные параметры: диаметр семянаправителя 25мм, ход семянаправителя по вертикали 60 мм, ход семянаправителя по горизонтали 70 мм, расстояние от нижней точки лапы до нижней точки пластины 30 мм.

К недостаткам таких конструкций лаповых сошников можно отнести вынос влажных слоев почвы на поверхность поля, повышенное тяговое сопротивление, вследствие работы культиваторной лапы на глубине, превышающей глубину посева.

Поэтому необходимо разработать посевной рабочий орган, обеспечивающий плотное посевное ложе для укладки семян и гранул минеральных удобрений на заданную глубину посева, с минимальным выносом влажных слоев почвы на поверхность. От качества выполнения технологического процесса сева будет зависеть динамика всходов и дальнейшее развитие растений [108,119].

## 2.2 Описание предлагаемой конструкции комбинированного сошника

По результатам проведенного обзора современных технических решений сошников для посева с разноуровневым внесением минеральных гранулированных удобрений, по природно-климатическим условиям и соответственно технологии возделывания зерновых в Западной Сибири, в

наибольшей степени подходят лаповые сошники, способные за один проход выполнять несколько технологических операций [13,66,90].

При выборе посевной машины рассматриваются такие показатели как: универсальность, надежность работы с сохранением работоспособного состояния, простота технического обслуживания и доступность запасных частей, качество выполнения процесса посева. Универсальность заключается в возможности высева различных полевых культур, высева нескольких культур одновременно, а также внесения минеральных удобрений [114]. Качество посева, в большей степени зависит от успешного выполнения технологического процесса работы сошников при различных почвенных условиях.

Установка дополнительных сошников для осуществления разноуровневого внесения удобрений отдельно от семян сельскохозяйственных культур ухудшает способность сеялки работать по стерневому фону. Оборудование же зарубежными сошниками удорожает посевные машины.

Решением проблемы импортозамещения и разработка отечественных рабочих органов является приоритетной задачей инженеров-ученых. Нами предложена конструкция комбинированного сошника (приложение А) у которой стойка с долотом вынесена перед культиваторными лезвиями, прикреплённые по обеим ее сторонам (рисунок 2.7) [76].

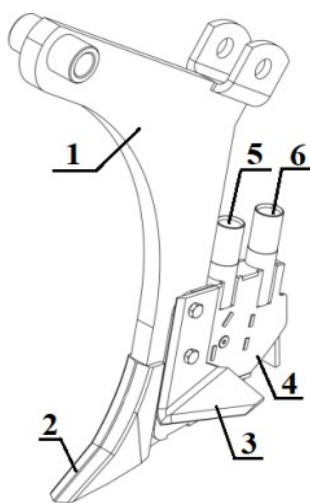


Рисунок 2.7 – Общий вид комбинированного сошника:

- 1 – стойка; 2 – долото; 3 – культиваторное лезвие; 4 – приемник-распределитель;  
5 – туконаправитель; 6 – семянаправитель

Комбинированный сошник работает следующим образом. При движении сошника в почве долото 2 производит вертикальный разрез уплотненного слоя почвы, образуя щель для прохода стойки 1. Прикрепленные с боковых сторон стойки культиваторные лезвия 3 находятся в режиме полусвободного резания и производят сплошное подрезание сорной растительности, частично взрыхляя поверхностный слой почвы на глубину посева. В это время, по туконаправителю 5 на дно борозы, образованное долотом 2 на глубину  $H$  поступают гранулированные минеральные удобрения (рисунок 2.8). Так как у предлагаемого комбинированного сошника стойка с долотом вынесена перед культиваторными лезвиями и перекрывает частично рабочую площадь, следовательно, снижается сопротивление в сравнении с традиционной компоновкой сошников со стрелчатыми лапами [19,106].



Рисунок 2.8 – Конструктивно-технологическая схема работы комбинированного сошника

За счет огибания почвой стойки, естественного осыпания со стенок борозды, и смещения семянаправителя на расстояние  $L_{сеп}$  минеральные удобрения и семенной материал заделываются влажным слоем почвы.

Конструктивно, семянаправитель устанавливается на глубину посева семян  $H_1$ . В процессе движения, между туконаправителем и семянаправителем образуется почвенная прослойка  $h_{пр}$ , разделяющая минеральные удобрения и семенной материал. Также, семянаправитель подготавливает ровное, уплотнённое посевное ложе.

Вышеперечисленное позволяет выполнять посев семян и внесение минеральных удобрений с почвенной прослойкой между ними.

### 2.3 Взаимодействие комбинированного сошника с почвой

Технологический процесс предлагаемой конструкции комбинированного сошника сопровождается деформацией почвы и огибанием ей стойки с определенным сопротивлением движению. Необходимо учитывать механические свойства почвы, форму и угол атаки стойки сошника, а также скорость движения [93,95,123]. Разберёмся в основных моментах такого явления.

При движении сошника через слой почвы возникает напряжение, вызывающее деформацию. Эта деформация приводит к перемещению почвы вокруг стойки. Угол наклона стойки по отношению к почве определяет, как будет происходить обтекание [32,120].

Взаимодействие между поверхностью сошника и почвой определяет силу сопротивления движению. Чем выше скорость, тем более турбулентным становится движение почвы вокруг сошника [42]. Скорость движения машинно-тракторного агрегата при проведении операции посева ограничивается агротехническими требованиями. Для посевных машин, оборудованных лаповыми сошниками рабочая скорость движения находится в диапазоне от 7 до 11 км/ч.

Таким образом, можно предложить следующую модель взаимодействия сошника и почвы, для описания силы сопротивления (2.1):

$$R = \mu N + cA + \gamma HB \sin(\alpha). \quad (2.1)$$

где:  $\mu$  – коэффициент трения;

$N$  – нормальная сила;

$c$  – сцепление почвы;

$A$  – площадь поверхности сошника;

$\gamma$  – удельный вес почвы;

$H$  – глубина хода сошника;

$B$  – ширина сошника;

$\alpha$  – угол атаки.

На сопротивление почвы движению сошника влияет ее плотность, влажность и структура, глубина хода сошника. Глубина хода комбинированного сошника для посева и разноуровневого внесения удобрений состоит из глубины посева семян и глубины внесения удобрений. Глубина посева семян зависит от культуры и влажности слоя почвы, в который будет осуществляться посев. В большинстве случаев глубина посева семян зерновых культур варьирует от 4 до 6 см. Глубина внесения удобрений устанавливается, таким образом, чтобы минеральные удобрения находились в более глубоких влажных слоях почвы, под семенами культур с почвенной прослойкой между ними 3–4 см.

Для создания математической модели расчета сопротивления сошника при движении в почве, необходимо учесть несколько факторов, включая физические свойства почвы, конструктивные параметры сошника и динамические параметры движения. Приведём основные элементы и уравнения, которые помогут в построении такой модели:

Основные параметры:

1. Сошник:

$B$  – ширина сошника, (м);

$H$  – глубина хода сошника, (м);

$\alpha$  – угол атаки сошника, (градусы).

2. Почва:

$\rho$  – плотность почвы, (кг/м<sup>3</sup>);

$c$  – сцепление почвы, (Па);

$\phi$  – угол внутреннего трения почвы, (градусы);

$\gamma$  – удельный вес почвы, (Н/м<sup>3</sup>);

$v$  – скорость движения сошника, (м/с).

Основные уравнения:

1. Сопротивление трения (2.2):

$$F_f = \mu N, \quad (2.2)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения между сошником и почвой;

$N$  – нормальная сила, действующая на сошник.

2. Нормальная сила (2.3):

$$N = BH\gamma \sin(\alpha). \quad (2.3)$$

3. Удельное давление (2.4):

$$q = c + \rho g H \tan(\phi). \quad (2.4)$$

4. Общее сопротивление движению сошника (2.5):

$$R = N + F_f. \quad (2.5)$$

5. Сопротивление, движению сошника, учитывая удельное давление (2.6):

$$R = BH(c + \gamma H \tan(\phi)) \cos(\alpha). \quad (2.6)$$

Полное сопротивление сошника (2.7):

$$R = BH(c + \gamma H \tan(\phi)) \cos(\alpha) + \mu BH\gamma \sin(\alpha). \quad (2.7)$$

Формула 2.7 позволяет рассчитать сопротивление сошника для различных параметров почвы и конструкции сошника.

Для определения рациональных параметров сошника выполним расчет на основе интегральных выражений, которые будут учитывать силы, действующие на сошник, а также энергию, затрачиваемую на движение через почву.

Составим интегральные уравнения для расчета основных параметров.

1. Сопротивление почвы движению сошника (2.8):

$$R = \int_0^H \rho g A \sin(\alpha) dh, \quad (2.8)$$

где  $R$  – сопротивление, (Н);

$\rho$  – плотность почвы, (кг/м<sup>3</sup>);

$g$  – ускорение свободного падения, (м/с<sup>2</sup>);

$A$  – площадь поперечного сечения сошника, (м<sup>2</sup>);

$\alpha$  – угол атаки, (градусы);

$H$  – глубина хода, (м).

2. Работа, затрачиваемая на движение сошника через почву (2.9):

$$W = \int_0^D R \, dx, \quad (2.9)$$

где  $W$  – работа, (Дж);

$R$  – сопротивление, (Н);

$D$  – пройденное расстояние, (м).

3. Рациональные параметры сошника:

Выполнив соответствующие подстановки, получим интегральные формулы для расчетов сопротивления и работы:

1. Расчет сопротивления (2.10):

$$R = \int_0^H \rho g B \sin(\alpha) \, dh = \rho g B \sin(\alpha) \int_0^H dh = \rho g B \sin(\alpha) \cdot H. \quad (2.10)$$

2 Расчет работы (2.11):

$$W = \int_0^D \rho g B H \sin(\alpha) \, dx = \rho g B H \sin(\alpha) \int_0^D dx = \rho g B H \sin(\alpha) \cdot D, \quad (2.11)$$

Для минимизации работы  $W$  необходимо найти частные производные по ширине  $B$  и глубине  $H$  сошника и приравнять их к нулю (2.12):

$$\frac{\partial W}{\partial B} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial W}{\partial H} = 0, \quad (2.12)$$

Найдем частные производные по  $B$  и  $H$  (2.13):

$$\frac{\partial W}{\partial B} = \rho g H \sin(\alpha) \cdot D = 0 \rightarrow D = 0 \quad (\text{нерационально}) \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial W}{\partial H} = \rho g B \sin(\alpha) \cdot D = 0 \rightarrow D = 0 \quad (\text{нерационально}).$$

Полученные уравнения 2.13 могут быть равны нулю только при условии, что сошник не перемещается. Следовательно, результаты не имеют практического смысла по определению рациональных параметров сошника. Поэтому необходимо учесть дополнительные условия, такие как максимальные и минимальные значения ширины и глубины работы сошника, параметры почвы и специфику полевых работ.

Несомненно, для получения точных значений рациональных параметров сошника необходимо учитывать конкретные характеристики почвы, а также

условия эксплуатации. Интегральные уравнения помогают создать математическую модель для расчета сопротивления и работы, но для практических решений необходимо учитывать множество факторов и вводить дополнительные ограничения и условия.

Для выполнения расчетов с применением дифференциальных уравнений, будем использовать основные физические принципы и уравнения движения сошника в почве.

В данном случае, дифференциальные уравнения помогут нам моделировать сопротивление почвы и силы, действующие на сошник.

1. Дифференциальное уравнение движения сошника 2.14:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -R. \quad (2.14)$$

где  $m$  – масса сошника, (кг);

$x(t)$  – положение сошника как функция времени, (м);

$R$  – сопротивление, (Н).

2. Сопротивление  $R$ , как функция глубины  $H$  и скорости  $v$ :

$$R = kHv^2. \quad (2.15)$$

где  $k$  – коэффициент сопротивления (Н·с<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>).

3. Решение для ускорения  $a(t)$ , 2.16:

$$a(t) = \frac{d^2x}{dt^2}. \quad (2.16)$$

Выполнив соответствующие подстановки получим ключевые уравнения.

1. Дифференциальное уравнение движения, 2.17:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kH \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 \quad (2.17)$$

2. Простое дифференциальное уравнение для скорости  $v$ , 2.18:

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{kH}{m} v^2 \quad (2.18)$$

Решим эти уравнения.

1. Решение дифференциального уравнения для скорости, 2.19:

$$\int v^{-2} dv = -\frac{kH}{m} \int dt \quad (2.19)$$

Интегрируя, получаем, 2.20:

$$-v^{-1} = -\frac{kH}{m}t + C \quad (2.20)$$

где  $C$  — константа интегрирования.

2. Решение для скорости, 2.21:

$$v(t) = \frac{m}{kHt + C} \quad (2.21)$$

Рациональные параметры сошника (глубина работы  $H$  и ширина захвата  $B$ ), могут быть описаны закономерностями, основанными на массе сошника  $m$ , коэффициенте сопротивления  $k$ , начальной скорости  $v_0$  и расстоянии  $D$ .

Глубина, 2.22:

$$H_{\text{опт}} = \min \left( \int_0^D kH \left( \frac{m}{kHt + C} \right)^2 dx \right) \quad (2.22)$$

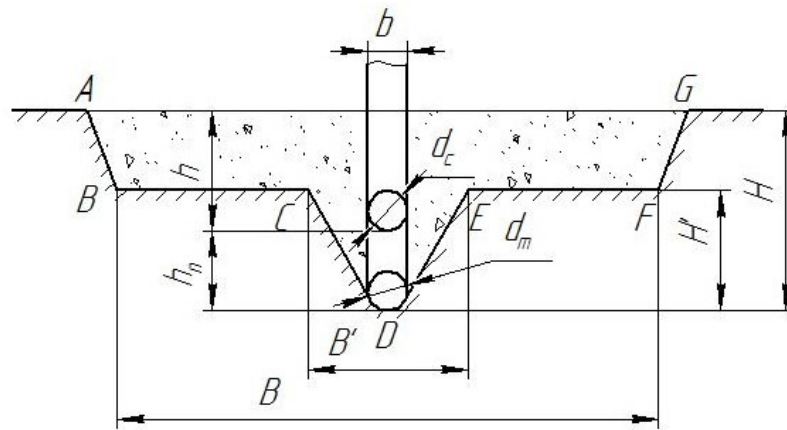
Ширина, 2.23:

$$B_{\text{опт}} = \min \left( \int_0^D kBH \left( \frac{m}{kHt + C} \right)^2 dx \right) \quad (2.23)$$

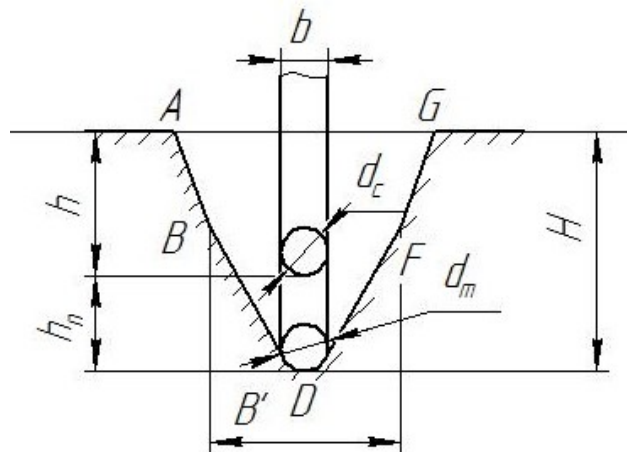
## 2.4 Осыпание почвы при разной форме борозды

Траектория движения почвенных частиц имеет ключевое значение при формировании почвенной прослойки. При взаимодействии сошника с почвой, почвенные частицы перемещаются по определенной траектории, которая зависит от скорости и направления движения сошника. Скорость движения сошника влияет на кинетическую энергию почвенных частиц, что, в свою очередь, определяет, как они как распределяются. Быстрое движение приводит к более интенсивному перемещению почвы. Конструктивные параметры сошника, такие как форма стойки и угол наклона создают разные потоки почвенных частиц, перемещающихся и распределяющихся при движении. Немаловажное значение оказывает и состояние почвы. Влажная и рыхлая почва перемещается легче, чем сухая и плотная [16].

При выполнении посева зерновых культур с одновременным внесением удобрений на глубину большую глубины высева семенного материала с использованием исследуемого комбинированного сошника происходит взаимодействие с почвой, которое может быть представлено схемой (рисунок 2.9).



а



б

Рисунок 2.9 – Схема взаимодействия комбинированного сошника с почвой:  
 а – с культиваторными лезвиями; б – без культиваторных лезвий;  $B$  – ширина захвата с культиваторными лезвиями;  $B'$  – ширина обработки без культиваторных лезвий;  $d_c$  – диаметр семянаправителя;  $d_m$  – диаметр туконаправителя;  
 $H$  – глубина внесения удобрений;  $H'$  – высота установки культиваторных лезвий;  
 $h$  – глубина посева;  $h_n$  – высота почвенной прослойки между удобрением и зерновкой; A, B, C, D, E, F, G – узловые точки

При движении машинотракторного агрегата по полю, когда машинист-тракторист переводит сеялку в рабочее положение, перед заглубляющимся сошником формируется уплотнённая почвенная зона, далее происходит ее перемещение перед сошником и за счет почвенного клина разрушается почвенный монолит.

Рассмотрим осыпание почвы в борозду в двух случаях:

1. Работа сошника осуществляется с прикрепленными к стойке культиваторными лезвиями, для уничтожения сорной растительности на поверхности поля (рисунок 2.9, а).

2. Работа сошника осуществляется стойкой без культиваторных лезвий, что позволяет обеспечивать технологию прямого посева без дополнительной обработки почвы (рисунок 2.9, б).

В первом случае почва, подрезанная и взрыхленная культиваторными лезвиями (фигура  $ABFG$ ), будет осыпаться за стойкой по образующим стенкам борозды ( $AB$ ,  $CD$ ,  $DE$ ,  $FG$ ). Как видно из рисунка 2.9а часть взрыхленной почвы остается на сформированных площадках культиваторными лезвиями (образующие  $BC$  и  $EF$ ), а оставшаяся часть падает на дно борозды, тем самым закрывая удобрения и семенной материал. Почва, закрывающая удобрения и семенной материал, находящаяся за стойкой перемещается в свободном падении с высоты  $H$  до дна борозды (точка  $D$ ), а часть осыпаться со скольжением по сформированным стенкам борозды ( $AB$ ,  $CD$ ,  $DE$ ,  $FG$ ).

Перемещение почвы можно описать классическим уравнением механики – свободное падение тела (рисунок 2.10, точка 1 и 3). В таком случае время закрытия борозды за стойкой (точка 1) можно записать формулой:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}}, \quad (2.24)$$

а там, где работало культиваторное лезвие (точка 3):

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot (H - H')}{g}}, \quad (2.25)$$

Для случая осыпания со скольжением по сформированным стенкам борозды ( $AB$ ,  $CD$ ,  $DE$ ,  $FG$ ) (рисунок 2.9 а) время закрытия борозды определим решая задачу механики – движение по наклонной плоскости (рисунок 2.10, точки 2, 2' и 4).

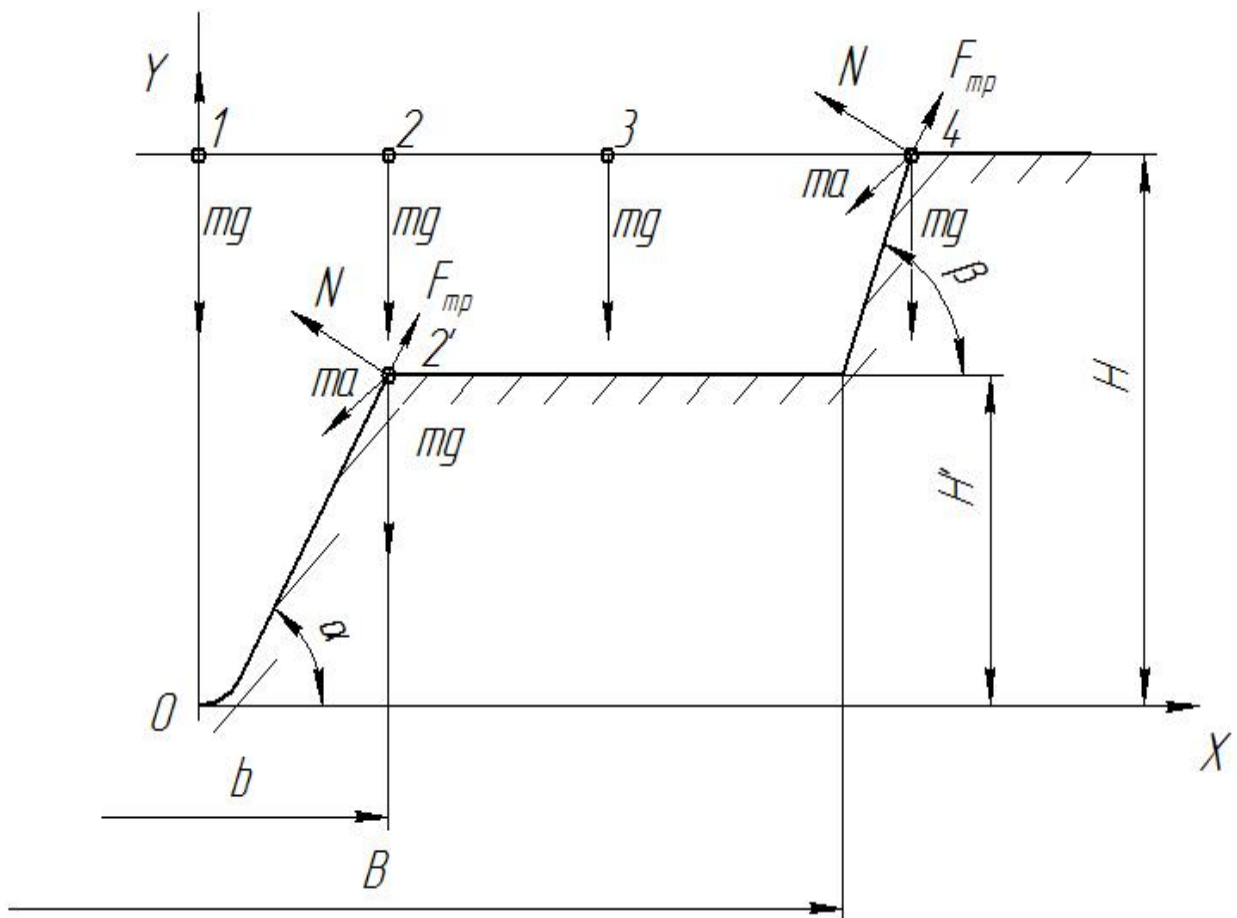


Рисунок 2.10 – Расчетная схема движение почвы по наклонной плоскости

Для определения движение частицы 2' по наклонной плоскости запишем уравнения проекции сил на оси координат  $XOY$  и момента относительно точки  $O$ .

$$OX : -ma \cos \alpha + F_{\text{тр}} \cos \alpha - N \sin \alpha = 0$$

$$OY : -ma \sin \alpha + F_{\text{тр}} \sin \alpha - mg + N \cos \alpha = 0$$

$$M_O : -\frac{1}{2}mgb + NS = 0$$

(2.26)

Частица движется равноускоренно по наклонной плоскости, при этом значение ускорений будет определяться:

$$a_x = a_y = g(f \cos \alpha - \sin \alpha) \quad (2.27)$$

При движении материальной точки (частицы почвы) в системе координат  $XOY$  (рисунок 2.11) из точки  $A$  в начало координат  $O$ .

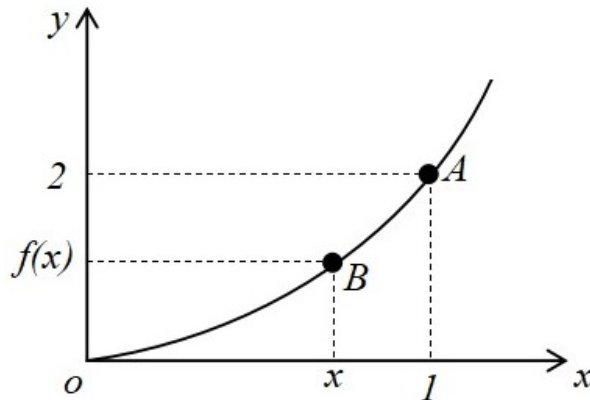


Рисунок 2.11 – Движение материальной точки в системе координат

В некоторый момент времени после начала движения частица проходит промежуточную точку  $B$  с значением абсцисс  $x$ .

Представим решение в общем виде (частица движется по траектории заданной функцией  $f(x)$ ) т.е. точки  $B$  ордината будет  $y=f(x)$ . На график будут наложены ограничения:

- график проходит через начало координат и точку  $(1; 2)$ ;
- функция  $f(x)$  дифференцируемая и имеет непрерывную производную.

Пусть частица в точке  $B$  движется со скоростью  $\vec{V}$  (рисунок 2.12).

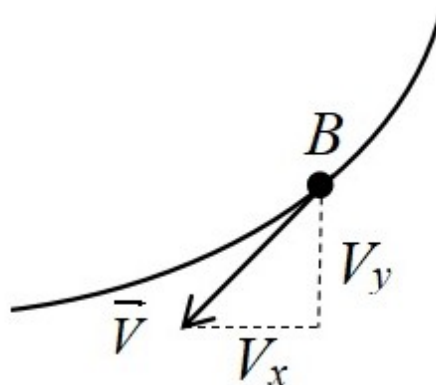


Рисунок 2.12 – Движение частицы почвы

Следовательно:

$$|V| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}, \quad (2.28)$$

т.к.  $y = f(x)$ , то

$$|V| = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{df}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}\right)^2} = \left|\frac{dx}{dt}\right| \cdot \sqrt{1 + (f')^2}, \quad (2.29)$$

где  $f' = \frac{df}{dx}$

Частица движется с право на лево. При этом  $x$  уменьшается, что говорит об отрицательном значении производной.

Тогда значение скорости можно записать:

$$|V| = -\frac{dx}{dt} \sqrt{1 + (f')^2}, \quad (2.30)$$

Запишем энергию частицы, которая складывается из кинетической и потенциальной:

$$E = \frac{m|V|^2}{2} + mg \cdot f(x) = mg \quad (2.31)$$

В начальный момент времени  $|V| = 0$ , следовательно и кинетическая энергия равна нулю, а высота  $f(x) = 1$ .

Сократим в уравнении 2.31 массу и выразим модуль скорости:

$$\begin{aligned} \frac{|V|^2}{2} + gf(x) &= g \\ |V| &= \sqrt{2g} \cdot \sqrt{1-f} \end{aligned} \quad (2.32)$$

Подставим значения 2.32 в 2.30 и получим дифференциальное уравнение первого порядка:

$$\begin{aligned} -\frac{dx}{dt} \sqrt{1 + (f')^2} &= \sqrt{2g} \cdot \sqrt{1-f} \\ \frac{-\sqrt{1 + (f')^2} dx}{\sqrt{1-f}} &= \sqrt{2g} dt \end{aligned} \quad (2.33)$$

Выполним интегрирование:

$$\begin{aligned}\sqrt{2g}t_0 &= f_1^0 \frac{-\sqrt{1+(f')^2} dx}{\sqrt{1-f}} \\ \sqrt{2g}t_0 &= f_0^1 \frac{\sqrt{1+(f')^2} dx}{\sqrt{1-f}}\end{aligned}\quad (2.34)$$

Получена общая формула (2.34) для нахождения осыпания почвы в зависимости от формы стенки борозды.

Применим полученную формулу для  $f(x)=x^2 \Rightarrow f'(x)=2x$

$$\sqrt{2g}t_1 = f_0^1 \frac{\sqrt{1+4x^2} dx}{\sqrt{1-x^2}}$$

Выполним замену:

$$x = \cos t$$

$$x = 1 \Rightarrow t = 0$$

$$x = 0 \Rightarrow t = \frac{\pi}{2}$$

$$\frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = \frac{-\sin t \cdot dt}{\sqrt{1-\cos^2 t}} = \sqrt{2g}t_1 = f_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1+4\cos^2 t} (-dt)$$

Заменим местами  $-dt$  пределы интегрирования:

$$\sqrt{2g}t_1 = f_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1+4\cos^2 t} \cdot dt$$

На основании законов тригонометрии выполним замену:

$$\cos^2 t = 1 - \sin^2 t$$

$$\sqrt{2g} \cdot t_1 = f_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{5-4\sin^2 t} dt = \sqrt{5} f_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1-\frac{4}{5}\sin^2 t} dt \quad (2.35)$$

Для получившегося интеграла существует функция:

$$E(k) = f_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1-k^2 \sin^2 t} dt - \text{полный эллиптический интеграл 2-го рода}$$

Получим выражение 2.35 в виде:

$$\sqrt{2g}t_1 = \sqrt{5}E\left(\frac{2}{\sqrt{5}}\right) = \frac{\pi\sqrt{5}}{2} \left[ 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{(2n-1)!!}{(2n)!!} \right)^2 \cdot \frac{1}{2n-1} \cdot \left( \frac{4}{5} \right)^n \right] \quad (2.36)$$

Может быть представлен в качестве ряда:

$$\frac{\pi}{2} \left[ 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{(2n-1)!!}{(2n)!!} \right)^2 \cdot \frac{k^{2n}}{2n-1} \right]$$

Ряд сходится когда:

$$|k| < 1$$

$$(2n-1)!! = 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \dots (2n-1)$$

$$(2n)!! = 2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8 \dots (2n)$$

$$t_1 = \frac{n\sqrt{5}}{2\sqrt{2g}} \left[ 1 - \frac{1}{4} \cdot \frac{4}{5} - \frac{3}{64} \cdot \left( \frac{4}{5} \right)^2 - \frac{5}{256} \left( \frac{4}{5} \right)^3 - \frac{175}{16384} \cdot \left( \frac{4}{5} \right)^4 - \dots \right]$$

Выполним приближенные вычисления при  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ,  $t_1 \approx 0,59 \text{ с}$

Движение по наклонной плоскости  $y=kx+b$  в нашем случае  $f(x)=x$

Получим:

$$\sqrt{2g}t_2 = \int_0^1 \frac{\sqrt{1+1^2}dx}{\sqrt{1-x}} = \sqrt{2} \left( -2\sqrt{1-x} \right) \Big|_0^1 = 2\sqrt{2}$$

$$t_2 = \frac{2}{\sqrt{g}} \approx 0,64 \text{ с}$$

Таким образом время осыпания почвенных частиц при работе комбинированного сошника без культиваторных лезвий составило  $t_1=0,59 \text{ с}$ , а с установленными культиваторными лезвиями  $t_2=0,64 \text{ с}$ .

## 2.5 Формирование почвенной прослойки

Почвенная прослойка, сформированная в процессе прохода комбинированного сошника в почвенном слое, оказывает дальнейшее влияние минеральных удобрений на рост и развитие растений в начальный критический период. Величина почвенной прослойки  $h_{\text{просл}}$  напрямую зависит от конструктивных особенностей месторасположения семянаправителя по длине  $l_{\text{сем}}$  относительно туконаправителя и высоте расположения  $h_{\text{сем}}$  в комбинированном сошнике.

Рассмотрим несколько вариантов математического описания формирования почвенной прослойки.

### Вариант 1.

Технологический процесс посева с внесением удобрений можно описать через силу тяжести, трение и динамику движения частиц. При движении в семя и тукопроводе семена и удобрения падают под действием силы тяжести, отклоняясь потоком воздуха, который в них создаётся. Величина почвенной прослойки ( $h_{просл}$ ) будет зависеть от начальной скорости семян и удобрений, угла их падения и сопротивления среды [65].

Смоделируем процесс движения следующим образом:

1. Предположим, что семена и удобрения выходят из семя и туконаправителя с одинаковой скоростью  $V_0$ ;

2. Предположим, угол вылета семян и удобрений  $\theta$  одинаковый и известен;

3. Предположим, что сопротивление среды пропорционально скорости частиц  $R = -kv$ , где  $k$  – коэффициент сопротивления;

4. Расстояние  $L_{сем}$  и высота  $H_{сем}$  между туконаправителем и семянаправителем задаются и могут быть изменены.

С учётом вышеизложенного, величину почвенной прослойки  $h_{просл}$  можно определить, решая уравнения движения:

для удобрений (2.37);

$$y_{уд}(t) = H_{сем} - \frac{1}{2}gt^2 + v_0 \sin(\theta)t - \frac{1}{2}kv_0^2t^2 \quad (2.37)$$

для семян (2.38);

$$y_{сем}(t) = 0 - \frac{1}{2}gt^2 + v_0 \sin(\theta)t - \frac{1}{2}kv_0^2t^2 \quad (2.38)$$

Разница по высоте между точкой нахождения удобрений и семян после падения на почву  $h_{просл}$  (2.39):

$$h_{просл} = y_{уд}(t_{сем}) - y_{сем}(t_{сем}) \quad (2.39)$$

Полученную систему уравнений можно упростить. Итоговая зависимость может выглядеть так:

$$h_{\text{просл}} = H_{\text{сем}} - (v_0 \sin(\theta))^2 \frac{1}{2gk} (e^{-kt} - 1) \quad (2.40)$$

где

$$t = \sqrt{\frac{2H_{\text{сем}}}{g}} \quad (2.41)$$

Получение более точного результата можно достичь учитывая начальные условия и параметры  $v_0$ ,  $\theta$  и  $k$ .

### **Вариант 2.**

Величина почвенной прослойки  $h_{\text{просл}}$  может зависеть от следующих параметров:

1. Расстояние между туко и семянаправителем по длине –  $L_{\text{сем}}$ ;
2. Расстояние между туко и семянаправителем по высоте –  $H_{\text{сем}}$ ;
3. Скорость движения семян  $V_{\text{сем}}$  и удобрений  $V_{\text{уд}}$ .

Формула для нахождения величины почвенной прослойки (2.42):

$$h_{\text{просл}} = k \frac{L_{\text{сем}} \cdot H_{\text{сем}}}{V_{\text{сем}} - V_{\text{уд}}} \quad (2.42)$$

где  $k$  – это коэффициент, зависящий от характеристик почвы и угла наклона туко и семянаправителей.

Исходя из имеющихся теоретических данных и проведя расчет (приложение Б), можно заметить, что при расстоянии между туконаправителем и семянаправителем  $L_{\text{сем}}$  более 12 см, величина почвенной прослойки  $h_{\text{просл}}$  становится равной высоте установки семянаправителя  $H_{\text{сем}}$  относительно туконаправителя. Это может быть связано с тем, что при увеличении расстояния между семянаправителем  $L_{\text{сем}}$  и туконаправителем почва успевает осыпаться за туконаправителем в необходимом количестве. При этом минеральные удобрения размешенные туконаправителем, засыпаются почвенной прослойкой, после чего на сформированную прослойку укладываются семена.

При меньших расстояниях  $L_{сем}$  и высотах  $H_{сем}$ , почва не успевает осыпаться, следовательно это приводит к меньшим значениям величины почвенной прослойки или ее отсутствию  $h_{просл}$  (рисунок 2.13).

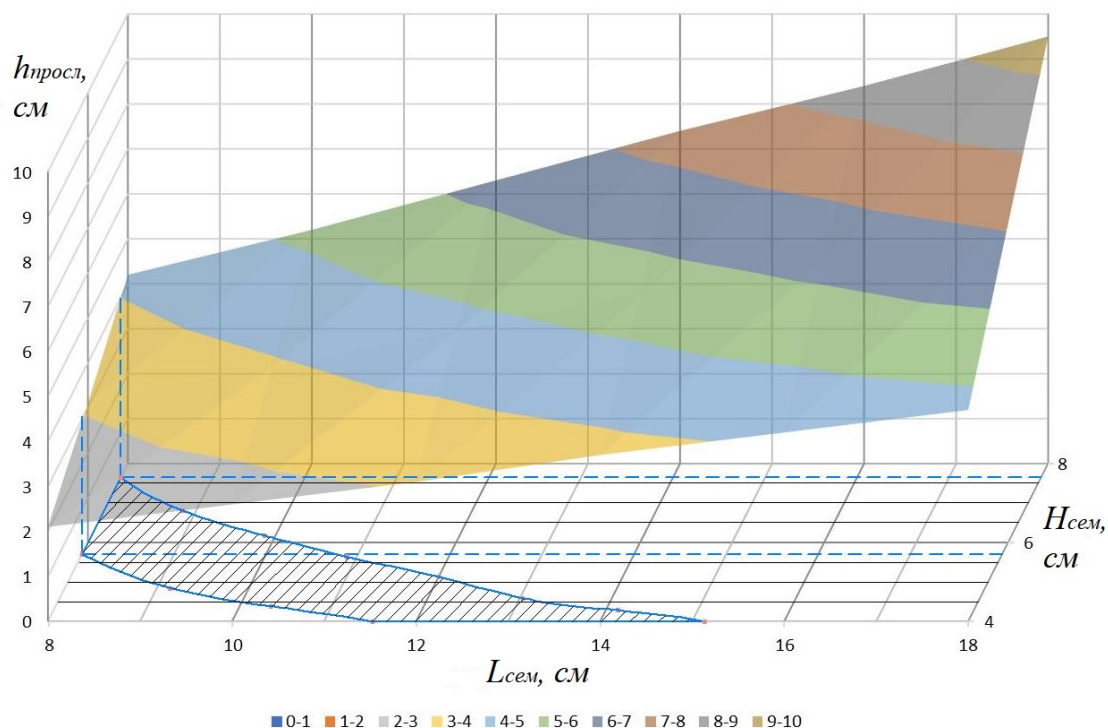


Рисунок 2.13 – Зависимость формирования почвенной прослойки:  $h_{просл} = f(L_{сем}; H_{сем})$

Представленная зависимость демонстрирует увеличение толщины почвенной прослойки с увеличением расстояния расположения семянаправителя, а также как и высота его установки. При изменении данных параметров можно получить ожидаемую почвенную прослойку при работе разработанного комбинированного сошника [76].

Оптимальной величиной почвенной прослойки для посева зерновых культур является толщина 3-4 см, соответственно в предлагаемой конструкции комбинированного сошника можно использовать сочетания расположения семянаправителя по длине и высоте:

$$L_{сем} = 8 \text{ см при } H_{сем} = 5,8...7,8 \text{ см};$$

$$L_{сем} = 10 \text{ см при } H_{сем} = 4,5...6,1 \text{ см};$$

$$L_{сем} = 12 \text{ см при } H_{сем} = 4...5,2 \text{ см}.$$

### Вариант 3.

Расчет основывается на ранее полученных данных выполненных в вариантах 1 и 2.

Составим уравнение зависимости  $h_{\text{просл}}$  от  $L_{\text{сем}}$  и  $H_{\text{сем}}$ . Для этого можно использовать метод множественной регрессии. Пусть уравнение имеет вид (2.43):

$$h_{\text{просл}} = a + b \cdot L_{\text{сем}} + c \cdot H_{\text{сем}} \quad (2.43)$$

Воспользуемся матричным методом при определении коэффициентов  $(a, b, c)$  (2.44):

$$[H] = [X][B] \quad (2.44)$$

Где:

$[H]$  – вектор значений  $h_{\text{просл}}$ ;

$[X]$  – матрица значений независимых переменных, включающая единичный столбец для коэффициента  $a$ ;

$[B]$  — вектор коэффициентов  $(a, b, c)$ .

Решаем уравнение для нахождения вектора коэффициентов  $B$  (2.45):

$$B = (X^T X)^{-1} X^T H \quad (2.45)$$

Подставив значения, полученные в ходе лабораторно-полевых исследований, определим значения коэффициентов  $(a, b, c)$ .

Для более точного нахождения коэффициентов  $a, b, c$  в уравнении зависимости (2.37), возможно использование метода наименьших квадратов. Это можно сделать с помощью программного обеспечения для математических вычислений, например, с использованием высокоуровневого языка программирования Python, при этом предварительно установив компоненты (прил. 3).

Расчет может не учитывать всех нюансов движения почвенных частиц, но он даст общее представление о зависимостях. Для получения уточненных данных почвенной прослойки ( $h_{\text{просл}}$ ) потребуется проведение лабораторно полевых экспериментов, с установкой задаваемых параметров расположения семянаправителя по длине ( $L_{\text{сем}}$ ) и высоте ( $H_{\text{сем}}$ ).

Для этого был разработан экспериментальный комбинированный сошник, который позволял устанавливать вышеуказанные параметры для проверки теоретических изысканий.

### Выводы по главе

Из анализа технических средств для посева и разноуровневого внесения минеральных удобрений разработана контруктивно-технологическая схема комбинированного сошника и предложена конструкция (патент на полезную модель № 204018). Отличительной особенностью данной конструкции является выполнение прямого посева без предварительной обработки почвы, при этом культиваторные лезвия расположены за стойкой имеют меньший угол вхождения в почву, и выполняют свой технологический процесс на глубину посева семян, что в совокупности снижает тяговое сопротивление и уменьшает иссушение почвы. Стойка сошника работает на глубину внесения минеральных удобрений. Приемник-распределитель семян и удобрений вытянут в горизонтальной плоскости, что способствует распределению удобрений и семян в разные почвенные горизонты с почвенной прослойкой между ними.

По результатам теоретических расчетов время на осыпание почвенных частиц при работе комбинированного сошника без культиваторных лезвий составило  $t_1=0,59$  с, а с установленными культиваторными лезвиями  $t_2=0,64$  с.

Теоретически рассчитанными расстояниями для формирования почвенной прослойки в 3-4 см, предполагаются следующие комбинации установки семянаправителя относительно туконаправителя:

$$L_{сем} = 8 \text{ см, при } H_{сем} = 5,8...7,8 \text{ см;}$$

$$L_{сем} = 10 \text{ см, при } H_{сем} = 4,5...6,1 \text{ см;}$$

$$L_{сем} = 12 \text{ см, при } H_{сем} = 4...5,2 \text{ см.}$$

## **3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **3.1 Программа экспериментальных исследований**

Расположение минеральных удобрений с почвенной прослойкой между семенами, при различной норме их внесения одновременно с посевом зерновых культур является одним из ключевых факторов, в последствии влияющим на полевую всхожесть семян и урожайность. Для обеспечения такого способа посева необходимо разрабатывать и создавать универсальные комбинированные сошники [105].

Экспериментальные исследования подразумевают определение величины почвенной прослойки в зависимости от установки по горизонтальной и вертикальной плоскости семянаправителя относительно туконаправителя. Основываясь на принятой научной гипотезе, для решения поставленных задач составлена программа экспериментальных исследований, в которую входило:

1. Изготовление экспериментального комбинированного сошника;
2. Создание экспериментальной установки на основе сеяки-культиватора СКП-2.1;
3. Планирование многофакторного эксперимента;
4. Подбор и подготовка приборов и оборудования для экспериментальных исследований;
5. Проведение полевого производственного эксперимента по изучению эффективности экспериментального комбинированного сошника;
6. Статистическая обработка результатов эксперимента, включая использование языков программирования.

Исследования проводились на опытных полях ФГБНУ «Омского аграрного научного центра», в соответствии с действующими ГОСТами и методиками планирования многофакторных экспериментов. Использовались общепринятые и частные методики, сравнительный анализ, оборудование для скоростной съемки. Обработка полученных данных выполнялась в MsExcel, Python и других

аналитических программах, обеспечивающих точные расчеты.

### 3.2 Конструкция экспериментального комбинированного сошника

Для проведения лабораторно-полевых исследований и получения оценочных показателей влияния координаты удаления семянаправителя по длине ( $L_{сем}$ ) и высоты расположения ( $H_{сем}$ ) от туконаправителя на формирование почвенной прослойки ( $h_{просл}$ ) был разработан и изготовлен экспериментальный комбинированный сошник (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Экспериментальный комбинированный сошник

Экспериментальный сошник представляет собой цельнометаллическую стойку, шириной 0,02 м, с тыльной части которой прикреплен туконаправитель. За туконаправителем устанавливается семянаправитель имеющий возможность перемещаться как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. К боковым сторонам стойки при помощи болтового соединения крепятся культиваторные лезвия. Рабочая ширина захвата сошника - 0,27 м.

### 3.3. Методика выполнения отсеивающего эксперимента

Отсеивающий эксперимент проводится с целью выявления факторов, оказывающих наибольшее влияние на оптимизируемую величину [2,20].

Для проведения отсеивающего эксперимента выбран ортогональный насыщенный план Плакетта-Бермана с матрицей специальной конструкции (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Матрица планирования эксперимента

| Фактор<br>№ | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> | X <sub>6</sub> | X <sub>7</sub> |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1           | 1              | 1              | 1              | 1              | -1             | 1              | -1             |
| 2           | 1              | -1             | 1              | 1              | 1              | -1             | 1              |
| 3           | 1              | -1             | -1             | 1              | 1              | 1              | -1             |
| 4           | 1              | 1              | -1             | -1             | 1              | 1              | 1              |
| 5           | 1              | -1             | 1              | -1             | -1             | 1              | 1              |
| 6           | 1              | 1              | -1             | 1              | -1             | -1             | 1              |
| 7           | 1              | 1              | 1              | -1             | 1              | -1             | -1             |
| 8           | 1              | -1             | -1             | -1             | -1             | -1             | -1             |

Для определения дисперсии оценок факторов к исследуемым факторам добавлены два фиктивных (X<sub>6</sub>, X<sub>7</sub>). Благодаря ортогональности плана коэффициенты регрессии рассчитываются независимо друг от друга. Каждый опыт проводится в трехкратной повторности. Результатом проведения отсеивающего эксперимента является получение линейной модели вида [97,98]:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{k_d} b_i x_i, \quad (3.1)$$

где  $k_d$  – число действительных факторов модели (без фиктивных).

Расчет коэффициентов регрессии ведется по формуле [97,98,99]:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{i_u} y_u}{N}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, k, \quad (3.2)$$

где  $N$  – число опытов модели,  $N = 8$ .

Остаточная дисперсия рассчитывается из выражения [2]:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{j=1}^{N-k-1} b_j^2}{N-k-1}, \quad (3.3)$$

где  $b_j$  – коэффициент регрессии при  $j$ -ом фиктивном факторе (всего таких факторов  $N - k - 1$ ).

Для проверки статистической значимости коэффициентов рассчитывается дисперсия коэффициента [2]:

$$S_{b_i} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}}. \quad (3.4)$$

Значимость коэффициентов регрессии определяется по  $t$  – критерию, причем статистически значимыми являются коэффициенты, удовлетворяющие условию:

$$|b_i| \geq t_{кр} \cdot S_{b_i}. \quad (3.5)$$

Затем необходимо проверить гипотезу об адекватности модели. Проверка полученной линейной модели на адекватность осуществляется по критерию Фишера. Данное значение определяется по формуле:

$$F_{f_2; f_1}^{расч} = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2}, \quad (3.6)$$

где  $f_2$  – знаменатель, определяемый как:

$$f_2 = N - k', \quad (3.7)$$

где  $k'$  – число оставленных коэффициентов уравнения (включая  $b_0$ );

$N$  – число опытов плана;

$f_1$  – числитель, определяемый как:

$$f_1 = N(n - 1), \quad (3.8)$$

$n$  – число повторностей каждого опыта;

$S_{неад}^2$  – дисперсия неадекватности;

$$S_{неад}^2 = \frac{SS_{неад}}{f_2}, \quad (3.9)$$

$$SS_{head} = n \sum_{u=1}^N \left( y_{u_{расч}} - \bar{y}_{u_{эксн}} \right)^2, \quad (3.10)$$

Где  $y_{и\text{ расч}}$  и  $y_{и\text{ эксп}}$  – значения отклика в  $и$ -ом опыте, соответственно рассчитанное по уравнению регрессии и определенное экспериментально.

Гипотеза об адекватности уравнения может быть принята тогда, когда полученное в результате расчетов значение критерия Фишера не превышает табличной величины для выбранного уровня значимости, то есть, когда  $F_{\text{табл}} \geq F_{\text{расч}}$ .

### 3.4. Методика выполнения поискового опыта по определению длины закрытия борозды

Для описания закономерностей закрытия борозды проводится поисковый опыт, согласно методике планирования многофакторного эксперимента.

Планируемый эксперимент позволяет сократить число опытов и дает возможность выявить влияние трех факторов оказывающих влияние на изменение длины закрытия борозды, таких как поступательная скорость движения машинотракторного агрегата, толщина стойки, глубина хода сошника. В качестве модели выбран симметричный ортогональный композиционный план второго порядка с матрицей планирования эксперимента, представленной в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Матрица планируемого эксперимента

[illegible]

Путём применения планируемого эксперимента предусмотрено получить модель [33,60,75,98]:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2 \quad (3.11)$$

Для исключения систематических ошибок, вызванных внешними условиями при проведении эксперимента, проводилась рандомизация опытов по таблице случайных чисел. Число повторностей каждого опыта при проведении планируемого эксперимента рассчитывается по формуле (3.12) для вероятности 0,95 [35,60,75]

$$n = \frac{S_y^2}{0,05\tau^2} \quad (3.12)$$

где  $S_y$  – среднее квадратическое отклонение;

$\tau$  – величина, составляющая для данного случая 5% от  $\bar{y}$ ;

$\bar{y}$  – среднее арифметическое.

По результатам расчетов число повторностей каждого опыта принято четыре.

Для каждого опыта рассчитывается дисперсия:

$$S_{y_u}^2 = \frac{\sum_{g=1}^n (y_{ug} - \bar{y}_u)^2}{(n-1)} \quad (3.13)$$

где  $y_{ug}$  – результат  $g$ -ой повторности;

$\bar{y}_u$  – среднее арифметическое  $u$ -ой повторности;

Для определения возможности проведения регрессионного анализа рассчитывается однородность дисперсий параллельных опытов по критерию Кохрена [33]:

$$G^{PACH} = \frac{S_{y_u}^2 \max}{\sum_{u=1}^N S_{y_u}^2} \quad (3.14)$$

где  $S_{y_u}^2 \max$  – наибольшая в ряду дисперсия.

Расчетное значение критерия  $G_{\text{расч}}$  сравниваем со значением критерия Кохрена, взятым из таблицы [15] в зависимости от уровня значимости, числа степеней свободы  $f = n-1$  и числа опытов. Ряд дисперсий считается однородным, если  $G_{\text{расч}} < G_{\text{табл}}$  [33].

Дисперсия воспроизводимости рассчитывается по формуле:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^N S_{y_u}^2}{N} \quad (3.15)$$

где  $N$  – число независимых опытов.

Проведение эксперимента с использованием ортогонального симметричного композиционного плана предусматривает получение вначале модели процесса вида [75]:

$$y = b'_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i \neq j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 \quad (3.16)$$

Оценки коэффициентов модели 3.6 определяют независимо друг от друга по формулам [75]:

$$\begin{aligned} b'_0 &= \frac{\sum_{u=1}^N n_u \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N n_u}, & b_i &= \frac{\sum_{u=1}^N n_u x_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N n_u x_{iu}^2}, \\ b_{ij} &= \frac{\sum_{u=1}^N n_u (x_i x_j)_u \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N n_u (x_i x_j)_u^2}, & b_{ii} &= \frac{\sum_{u=1}^N n_u x'_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N n_u x'^2_{iu}}, \end{aligned} \quad (3.17)$$

где  $u$  – порядковый номер опыта.

Дисперсии оценок коэффициентов рассчитывают по формулам:

$$\begin{aligned} S_{b'_0}^2 &= \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N n_u}, & S_{b_i}^2 &= \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N n_u x_{iu}^2}, \\ S_{b_{ij}}^2 &= \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N n_u (x_i x_j)_u^2}, & S_{b_{ii}}^2 &= \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N n_u x'^2_{iu}}. \end{aligned} \quad (3.18)$$

После расчета коэффициентов уравнения регрессии, проводится их проверка на статистическую значимость. Доверительный интервал рассчитывается по формуле:

$$\Delta b_i = t_{\alpha; f_1} S_{b_i} \quad (3.19)$$

где  $t$  – критерий Стьюдента, берется из таблиц [15] в зависимости от уровня значимости и числа степеней свободы  $f_1$ ;

$S_{b_i}$  – среднеквадратическая ошибка в определении коэффициентов регрессии.

Затем определяется значимость коэффициентов. Коэффициент считается статистически значимым, когда его абсолютная величина больше доверительного интервала или равна ему:

$$|b_i| \geq \Delta b_i \quad (3.20)$$

При ортогональном планировании статистически не значимые коэффициенты из модели могут быть исключены, при этом пересчет остальных коэффициентов не требуется.

После расчета коэффициентов и проверки их статистической значимости от модели 3.16 переходят к модели 3.11, рассчитав значение  $b_0$ :

$$b_0 = b'_0 - \lambda_2 \sum_{i=1}^k b_{ii} \quad (3.21)$$

$$\lambda_2 = N^{-1} \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \quad (3.22)$$

Поскольку коэффициенты  $b'_0$  и  $b_{ii}$  оценены независимо друг от друга, дисперсия  $S_{b_0}^2$  определяется по закону накопления ошибок:

$$S_{b_0}^2 = S_{b'_0}^2 + \lambda_2^2 \sum_{i=1}^k S_{b_{ii}}^2 \quad (3.23)$$

Проверку полученной модели на адекватность производим с помощью критерия Фишера.

### 3.5 Методика определения почвенной прослойки

Согласно сформулированной научной гипотезы о необходимости наличия почвенной прослойки между семенным материалом и гранулами минеральных удобрений, необходимо уточнить месторасположение конструктивных элементов комбинированного сошника, влияющих на ее формирование.

Из проведенных ранее теоретических исследований, следует, что на формирование почвенной прослойки, влияют такие конструктивные элементы комбинированного сошника, как расположение семянаправителя относительно туконаправителя.

Для этого, на экспериментальном комбинированном сошнике, семянаправитель изготовили таким образом, чтобы он имел перемещение относительно туконаправителя в горизонтальной и вертикальной плоскости с фиксацией в установленном положении (рисунок 3.2).

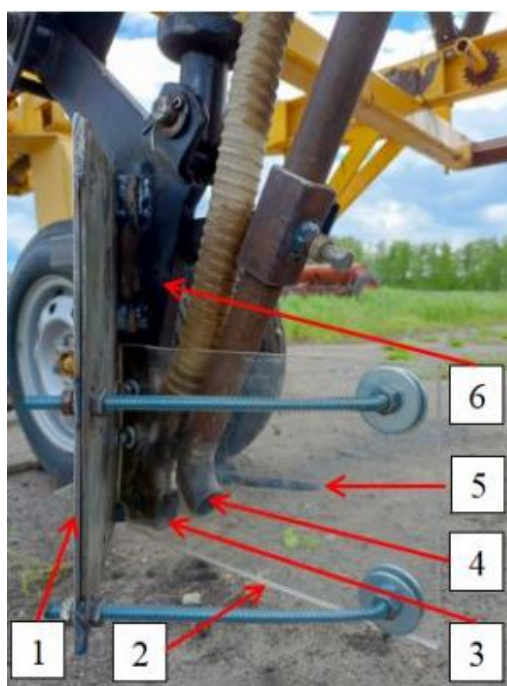


Рисунок 3.2 – Экспериментальный комбинированный сошник для определения почвенной прослойки: 1 – разгребающая пластина;  
2 – органическое стекло; 3 – туконаправитель; 4 – семянаправитель;  
5 – культиваторное лезвие; 6 – стойка сошника

Видео фиксацию формирования почвенной прослойки при разных положениях семянаправителя относительно туконаправителя производили

скоростной камерой, закрепленной на раме экспериментальной сеялки СКП-2,1. Также было изготовлено разгребающее устройство и установлено на экспериментальный комбинированный сошник вместо левого культиваторного лезвия. Разгребающее устройство позволяло сдвигать в сторону слой почвы, набегающий с левой стороны стойки экспериментального комбинированного сошника, на глубину ее хода, тем самым обеспечивая открытый доступ к выходным отверстиям туко и семя направителей.

Для наблюдения за движением почвы, гранул минеральных удобрений и посевного материала с левой стороны стойки также устанавливалось органическое стекло, плотно прижатое к левым боковым граням туко и семя направителей. На органическое стекло наносились линии-метки со шкалой деления 20х20 мм.

Раздельное движение посевного материала и гранул минеральных удобрений из бункера сеялки СКП-2.1 обеспечивалось воронкой-делителем (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Воронка-делитель:

- 1 – семяпровод; 2 – тукопровод; 3 – семенная воронка;  
4 – туковая воронка; 5 – бункер сеялки СКП-2.1

В качестве семенного материала использовалась яровая мягкая пшеница Омская 36, в качестве гранул минеральных удобрений - аммиачная селитра. Исследование проводилось в трехкратной повторности.

После получения полевых результатов опыта необходимо провести анализ регрессионной модели и оценить ее статистические показатели, такие как коэффициенты регрессии, стандартные ошибки, значения t-статистики и -значения. Это позволило понять, насколько значимы найденные коэффициенты.

### **3.6 Выбор места агротехнического опыта**

На основании проведённых лабораторно-полевых экспериментов выявлены основные зависимости взаимодействия экспериментального комбинированного сошника с почвой, установлены рациональные параметры и режимы его работы.

Так как, программой исследования предполагается проведение агротехнического полевого опыта в естественных условиях, необходимо выбрать место проведения полевого опыта, разработать схему посева опытных делянок.

Для проведения полевых исследований работы экспериментальных комбинированных сошников на основании ГОСТ 3018-52, местом проведения было выбрано опытное поле ФГБНУ «Омского аграрного научного центра». При подготовке почвы и выбора делянок для посева пользовались методикой полевых опытов [25].

Краткое описание участка проведения исследования:

1. Уклон поля не превышает 3°;
2. Тип почвы - чернозём выщелоченный;
3. Толщина пахотного горизонта не менее 25 см;

Участок опытного поля разбивался на делянки (рисунок 3.4) согласно ширине захвата сеялки-культиватора СКП-2.1 и движения машинотракторного агрегата. Длина делянки 25 м, ширина 2,1м. Общая площадь делянки 52,5 м<sup>2</sup>, количество делянок в одной повторности шесть штук. Общая площадь опытного участка составляла 1 га. Посев опытных делянок проводился в один день, одной сеялкой со сменой рабочих органов.

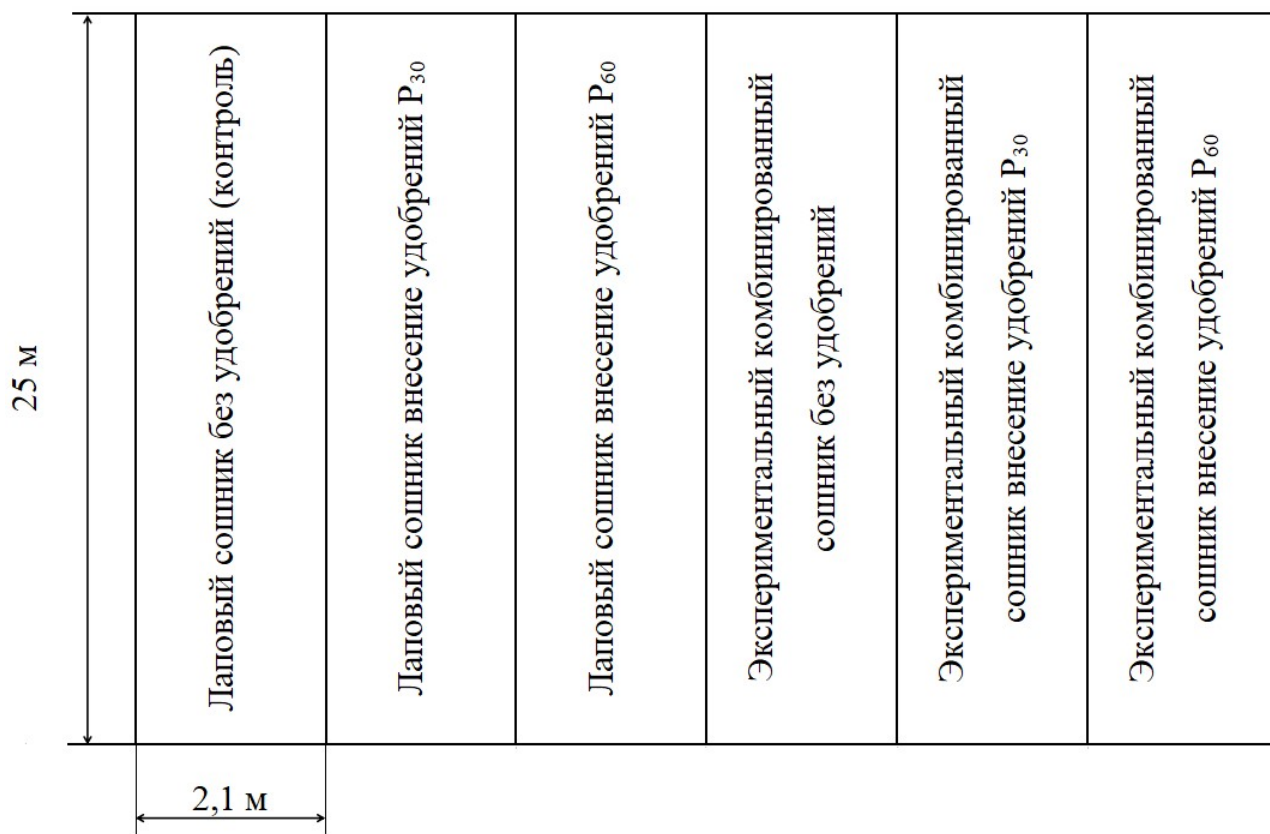


Рисунок 3.4 – Схема расположения делянок одной повторности

Повторность опыта трехкратная.

Необходимо соблюдение равенства всех условий, кроме изучаемого (принцип единственного различия).

Во время проведения полевых исследований в соответствии с ГОСТ 20915 учитывались следующие показатели: рельеф местности; тип почвы и ее механический состав, а также влажность и твердость [24,31]. Кроме того, при проведении полевого опыта определялись следующие показатели: полевая всхожесть, фактическая глубина заделки семян (по этиолированной части растений), урожайность зерна по вариантам.

### 3.7 Методика определения твердости и влажности почвы

Характеристика почвы играет большую роль в рабочем процессе почвообрабатывающих и посевных орудий.

В наших полевых исследованиях твердость почвы определялась почвенным

твердомером конструкции Ю.Ю. Ревякина в местах определения влажности на глубину до 15 см (рисунок 3.5, а).

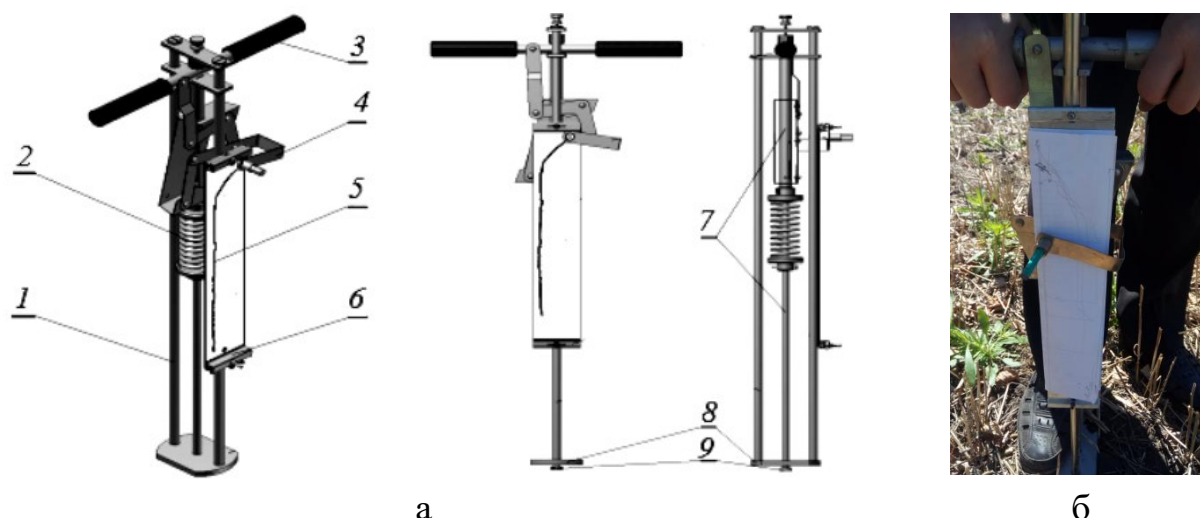


Рисунок 3.5. – а – Статический твердомер А.Н. Ревякина;  
б – процесс определение твердости почвы

Процесс записи диаграммы твёрдости почвы статическим твердомером производился следующим образом: на панели 5 твердомера крепится миллиметровая бумага 5 и проводится линия нулевой отметки. Установив сменный наконечник 9 на телескопическую штангу 7 необходимо прибор поставить вертикально на верхний слой почвы, уперев на основание 8. Прикладывая усилие на рукоятки 3, с помощью системы рычагов возвратно-поступательно перемещается записывающее устройство 4, оставляя диаграмму на миллиметровой бумаге 5. В исходное положение записывающее устройство перемещается под действием сжатия пружины 2.

На рисунке 3.5 б показан процесс определения твердости почвы твердомером конструкции Ревякина А.Н. Твердость почвы  $P$  в килограммах на квадратный сантиметр определяли по формуле (3.24):

$$P = \frac{h_{\text{cp}} \cdot q}{S} \quad (3.24)$$

где  $h_{\text{cp}}$  – величина средней ординаты диаграммы твердости, см;  
 $q$  – масштаб пружины, кг/см;  
 $S$  – площадь поперечного сечения плунжера, см.

Среднюю ординату в мм находили планиметрированием диаграммы и подсчитывали по формуле (3.25):

$$h_{\text{ср}} = \frac{F}{l} \quad (3.25)$$

где  $F$  – площадь диаграммы, мм<sup>2</sup>;

$l$  – длина диаграммы, мм.

При определении запасов продуктивной влаги (рисунок 3.6) в почвенном слое использовали следующее оборудование: цилиндрический бур для отбора почвенных проб на заданную глубину; чистик, для извлечения пробы почвы из цилиндрической части бура; алюминиевые бюксы с кейсом для переноса почвенных проб; весы, для взвешивания проб до и после сушки, сушильный шкаф, для высушивания проб.



Рисунок 3.6 – Отбор почвенных проб на влажность

Технологический процесс отбора почвенной пробы осуществлялся следующим образом: для отбора пробы почвы бур заглубляли на заданную глубину по горизонтам верхнего посевного слоя почвы (0-10 см, 10-20 см), путём поворота его за ручку походу часовой стрелки до погружения на нужную глубину. Глубину погружения бура контролировали по рискам, нанесённым на внешней стороне обечайки бура. Извлечённую почву, находящуюся в полости бура, с помощью чистика счищали в бюксы. Плотно

закрытые боксы помещали в кейс и доставляли в лабораторию, где проводилось взвешивание и высушивание образцов в сушильном шкафу.

### 3.8 Методика определения полевой всхожести семян

Полевая всхожесть семян зависит от качества посевного материала, нормы высева, способа и качества выполнения посева, нормы внесения минеральных удобрений, а так же воздействия внешних факторов [112, 116, 121, 122]. Норма высева выбирается исходя из зональных особенностей, особенностей сорта и срока посева.

При появлении первых всходов, специально изготовленная рамка накладывалась на три параллельно идущих рядка посева каждой из опытных делянок (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Подсчет числа всходов

С помощью специальных колышков отмечались границы накладывания рамки, для последующих наблюдений. Число всходов подсчитывалось до момента прекращения нарастающего эффекта. Все собранные данные записывались в полевой журнал. По общему числу взошедших растений определялась полевая всхожесть  $\Pi_6$  по формуле (3.26) [25].

$$\Pi_6 = \frac{n_1}{n} \times 100, \% \quad (3.26)$$

где  $n_1$  – количество взошедших растений, шт/м<sup>2</sup> ;

$n$  – количество фактически высеянных зёрен, шт/м<sup>2</sup>.

По полученным данным строился график, который отображал число растений и полевую всхожесть по вариантам посева.

### 3.9 Методика определения глубины заделки семян

Величина полевой всхожести различных сельскохозяйственных культур в значительной мере зависит от глубины их заделки, поэтому равномерность глубины заделки является одним из важнейших показателей качества посева.

Согласно агротехническим требованиям не менее 80 % семян от заданной глубины заделки должны находиться в пределах  $\pm 1$  см [25]. Фактическую глубину заделки семян определяют при появлении не менее 75% всходов растений. Согласно ОСТ 105.1.-2000 глубину заделки семян можно определить по одному из трех способов [62]:

1. Прибором для послойного снятия почвы на глубину посева;
2. Измерением этиолированной части растения;
3. Непосредственным нахождением (раскопками) семян в рядке.

В исследовании использовался метод измерения этиолированной части растения. Для этого, после появления 2-3 листьев, с каждого ряда сошников, находящихся вне следа трактора, рандомно выкапывали подземную часть растений. Затем, с помощью мерной линейки измеряли расстояние от верхней точки надземной части до центра зерна с точностью до 1 мм (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Измерение этиолированной части растения

По полученным данным вычислили статистические характеристики:

средняя фактическая глубина заделки семян, ее неравномерность (коэффициент вариации), среднеквадратическое отклонение.

### 3.10 Методика определения урожайности

Один из основных критериев определяющим эффективность разработки экспериментальных комбинированных сошников для посева и разноуровневого внесения минеральных удобрений является качество и количество урожая в засушливых условиях Западной Сибири. Полевой опыт проводился с использованием в качестве посевного материала яровой мягкой пшеницы Омская 36. Норма высева семян 200 кг/га. Норма внесения гранулированных минеральных удобрений устанавливалась исходя из схемы полевого опыта п.3.5. Уборка учётных делянок производилась селекционным комбайном «WINTERSTEIGER» (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Селекционный комбайн «WINTERSTEIGER»

Конструкция данного комбайна позволяла вести обмолот каждой учетной делянки в отдельный мешок.

Учёт урожая производился сплошным методом, то есть взвешивался весь урожай с каждой учётной делянки сразу после уборки. После взвешивания для определения влажности и засорённости в мешочки отбиралась средняя проба, предусмотренная стандартом и выраженная в процентах к сырой навеске.

Урожай семян зерновых культур определяют по формуле (3.27) [31,82]:

$$x = \frac{Y(100 - B) \cdot (100 - C)}{(100 - B_1) \cdot 100} \quad (3.27)$$

где  $x$  - урожай при 14 % -ной влажности (ц/га);

$U$  - урожай без поправки на влажность (ц/га);

$B$  - влажность семян при взвешивании (%);

$B_1$  - стандартная влажность (%);

$C$  - засорённость зёрен (%)

Составлена программа экспериментальных исследований, которая включила в себя общеизвестные методики, а также авторскую методику по определению длины закрытия борозды и почвенной прослойки.

### **Выводы по главе**

Для подтверждения теоретических изысканий разработана программа и представлены методики экспериментальных исследований комбинированного сошника для посева и разноуровневого внесения минеральных удобрений, подобрано необходимое оборудование, приборы, место проведения исследований.

Для проведения лабораторно-полевых экспериментов изготовлен экспериментальный комбинированный сошник для посева и разноуровневого внесения минеральных удобрений. Создана экспериментальная установка на базе сеялки-культиватора СКП-2.1.

## 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4.1 Результаты отсеивающего эксперимента

Отсеивающий эксперимент проводился с использованием плана Плакетта-Бермана [2,25,33]. Анализ литературных источников, результаты теоретических и экспериментальных исследований показали, что на процесс посева влияет множество факторов, основными из которых являются:

$V$  – поступательная скорость движения ( $X_1$ );

$B$  – толщина стойки ( $X_2$ );

$H$  – глубина хода комбинированного сошника ( $X_3$ );

$l$  – расстояние между туконопрошителем и семяпрошителем по ходу движения агрегата ( $X_4$ );

$\rho$  – плотность почвы ( $X_5$ ).

Все перечисленные факторы отвечают требованиям управляемости, операционности, совместимости и независимости. Подробное их исследование потребовало бы большего количества опытов. Отсеивающий эксперимент позволяет выделить только те факторы, которые наиболее существенно влияют на величину критерия оптимизации. Результаты предшествующих экспериментов позволили выбрать уровни и интервалы варьирования факторов при проведении отсеивающего эксперимента.

Каждый из действительных факторов варьировался на двух уровнях (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Уровни варьирования факторов

| Факторы                     | Поступательная<br>скорость движения,<br>$V$ , км/ч | Толщина стойки, $B$ ,<br>мм | Глубина хода<br>комбинированного<br>сошника, $H$ , см | Расстояние между<br>туконопрошителем и<br>семяпрошителем<br>по ходу движения<br>агрегата $l$ , мм | Плотность почвы $\rho$ ,<br>г/см <sup>3</sup> | Фиктивный<br>фактор | Фиктивный<br>фактор |
|-----------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Кодированное<br>обозначение | $X_1$                                              | $X_2$                       | $X_3$                                                 | $X_4$                                                                                             | $X_5$                                         | $X_6$               | $X_7$               |
| Верхний уровень (+1)        | 40                                                 | 10                          | 11                                                    | 180                                                                                               | 1,4                                           | -                   | -                   |
| Нижний уровень (-1)         | 30                                                 | 6                           | 7                                                     | 0                                                                                                 | 1,0                                           | -                   | -                   |

Для определения дисперсии оценок факторов к исследуемым были добавлены два фиктивных ( $X_6$ ,  $X_7$ ). При этом предполагалось, что доминирующее значение имеют линейные факторы. Благодаря ортогональности плана коэффициенты регрессии рассчитываются независимо друг от друга. Полученные результаты экспериментов сведены в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты отсеивающего эксперимента

| Фактор<br>Параметр                     | $X_1$    | $X_2$    | $X_3$   | $X_4$        | $X_5$        | $X_6$        | $X_7$        |
|----------------------------------------|----------|----------|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Коэффициент<br>$b_i$                   | 45,76478 | 7,446366 | -12,609 | -1,75696     | -2,94583     | 0,214771     | 1,180014     |
| Доверительный<br>интервал $\Delta b_i$ | 6,479    |          |         |              |              |              |              |
| Значимость<br>коэффициента             | значим   | значим   | значим  | не<br>значим | не<br>значим | не<br>значим | не<br>значим |

Из таблицы 4.2 видно, что статистически значимыми по критерию Стьюдента на 5%-ном уровне являются: толщина стойки, глубина хода комбинированного сошника и поступательная скорость движения агрегата. Полученная модель, является адекватной на 5%-ном уровне значимости: ( $F_{\text{расч}} = 1,36 < F_{\text{табл}} = 2,62$ ) [60,75].

#### 4.2 Результаты поискового опыта по определению длины закрытия борозды

Поисковый эксперимент проводился с установленной стойкой экспериментального комбинированного сошника на раму экспериментальной сеялки-культиватора СКП-2.1 в агрегате с трактором МТЗ-82.1.

На стойке 1 комбинированного сошника (рисунок 4.1) закрепляли мерную линейку 2, по которой определялись значения начала и конца осыпания почвы в борозду. С помощью скоростной камеры 3, закрепленной на раме сеялки, производили видеофиксацию процесса движения почвы и значений на мерной линейки 2, при задаваемых факторах работы сошника ( $V$ ,  $b$ ,  $h$ ). с определением расстояния начала осыпания почвы в борозду за стойкой комбинированного сошника и завершения процесса осыпания почвы в борозду.

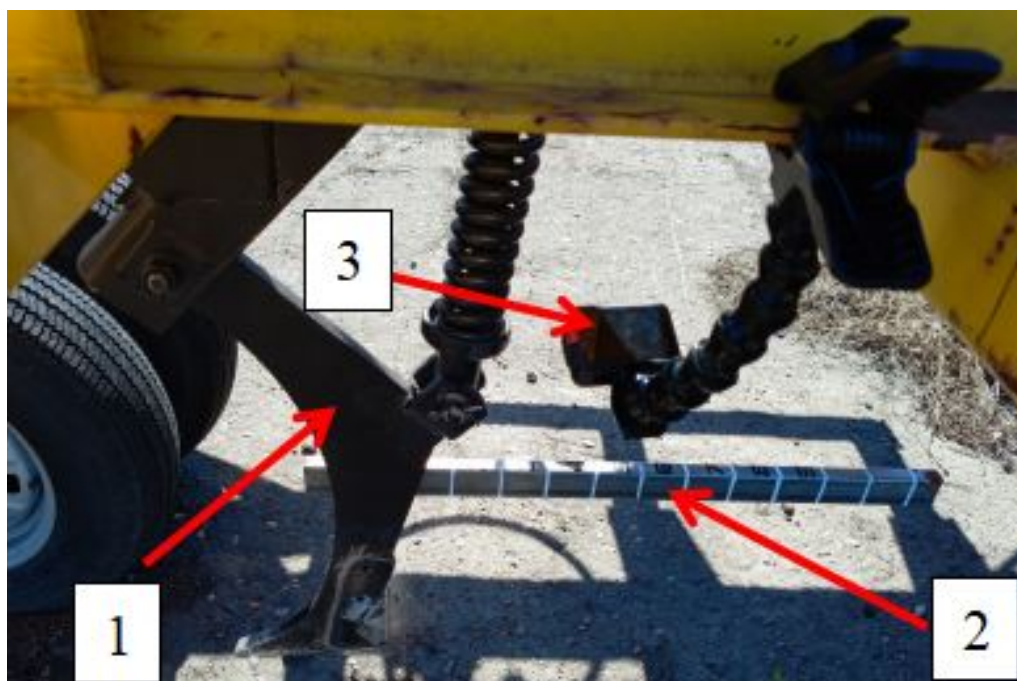


Рисунок 4.1 – Стойка комбинированного сошника:

1 – стойка комбинированного сошника; 2 – мерная линейка;

3 – скоростная камера

Исследования расстояния начала и конца осыпания почвы в борозду проводились в трехкратной повторности с демонтированными туконаправителем и семянаправителем.

Для сокращения количества опытов, поисковый эксперимент был выполнен согласно методики планирования многофакторного эксперимента (глава 3.4).

Уровни варьирования факторов представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Варьирование факторов многофакторного эксперимента по определению длины закрытия борозды

| Факторы<br>Уровни<br>варьирования | Поступательная<br>скорость движения,<br>$V$ , км/ч | Толщина стойки,<br>$b$ , мм | Глубина хода<br>комбинированного<br>сошника, $h$ , см |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|
| +1                                | 11                                                 | 40                          | 10                                                    |
| 0                                 | 9                                                  | 35                          | 8                                                     |
| -1                                | 7                                                  | 30                          | 6                                                     |

В соответствии с разработанной методикой проведены измерения расстояния от стойки до начального ( $L_{нач.}$ ) осыпания почвы и расстояния от стойки до завершения ( $L_{кон.}$ ) осыпания (закрытие почвой борозды) (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Определение длин начала и конца закрытия борозды

Полученные значения в результате поискового опыта представлены в таблице приложение В.

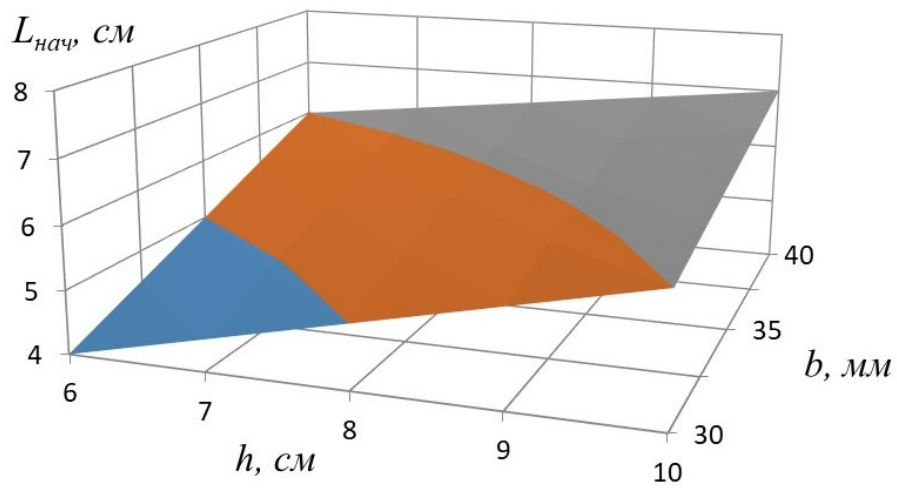
На основании анализа данных получены уравнения регрессий, описывающие начало закрытия борозды и конец закрытия борозды:

$$L_{нач} = 4,5V + 1,1375b + 5,645h - 0,1125Vb - 0,625Vh - 0,15625bh + 0,01875Vbh - 41 \quad (4.1)$$

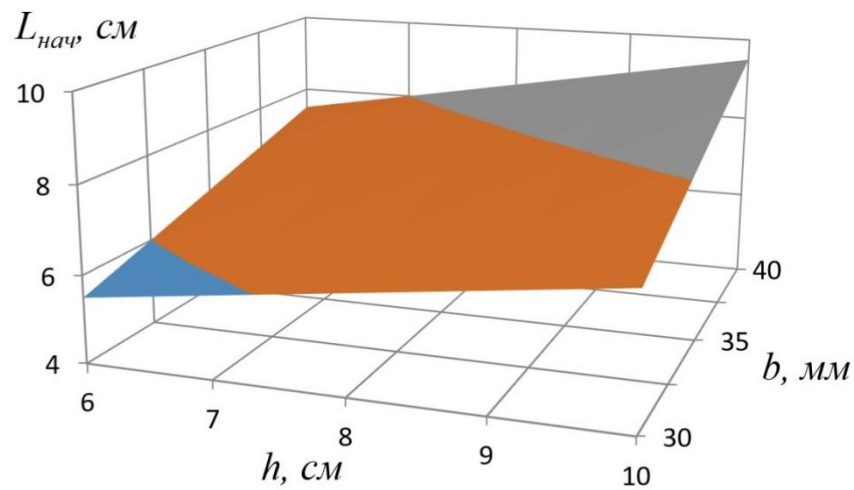
$$L_{кон} = 19,25V + 4,35b + 18,375h - 0,45Vb - 1,875Vh - 0,45bh + 0,05Vbh - 168,25 \quad (4.2)$$

Уравнения регрессии (4.1-4.2) удовлетворяют требованиям и признаны адекватным на 5 % уровне ( $F_{расч}=2,01 < F_{табл}=2,05$ ) [60,75].

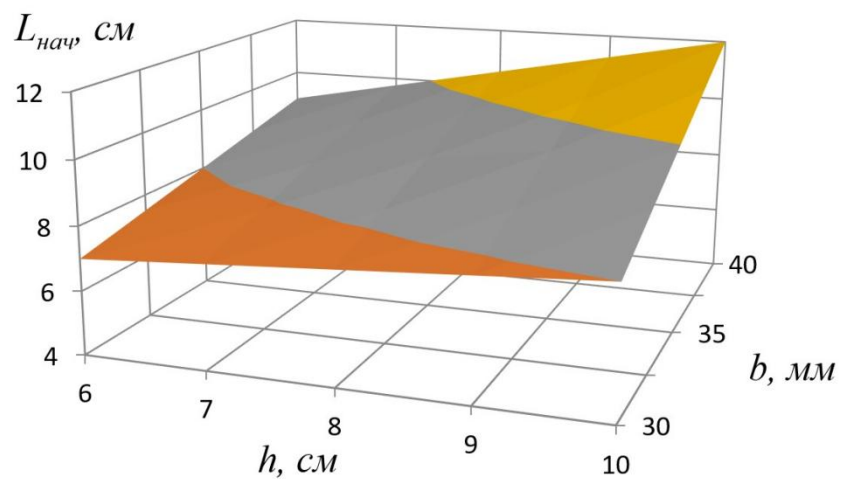
На расстояние смещения от сошника начала закрытия и конца закрытия борозды в порядке ранжирования факторов от более значимого к менее значимому будут оказывать влияние скорость агрегата  $V$ , глубина посева  $h$  и ширина стойки  $b$ . На основании реализации поискового опыта по определению длины закрытия борозды во время работы экспериментального комбинированного сошника были построены поверхности отклика. На рисунках 4.3-4.5 показаны расстояния на котором в процессе работы происходило начало осыпание почвы за стойкой сошника при разных исследуемых факторов. Поверхности отклика конца закрытия борозды  $L_{кон}$  представлены в приложении Г.



а

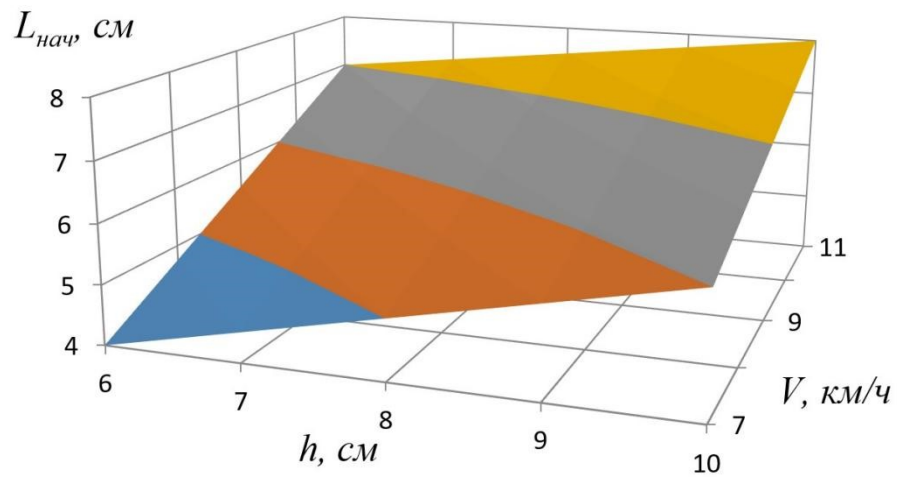


б

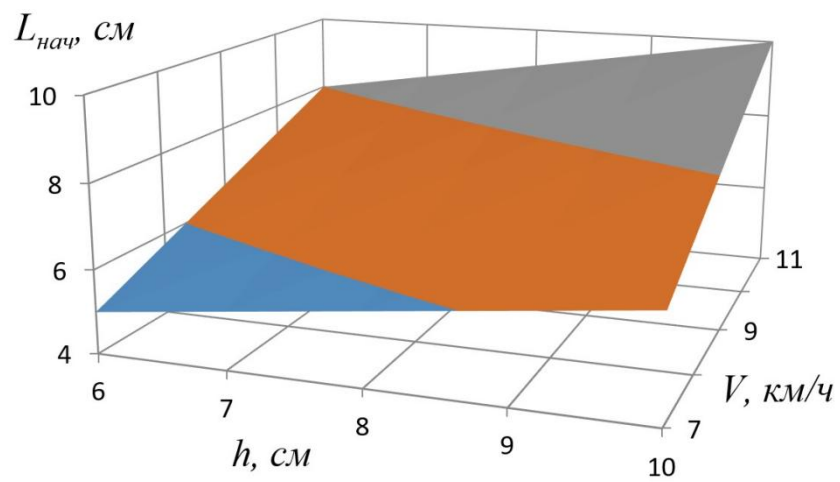


в

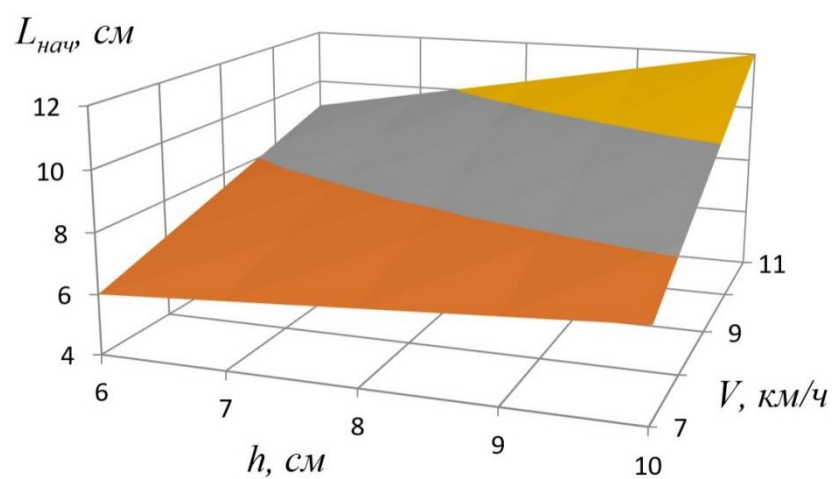
Рисунок 4.3 – Поверхности отклика  $L_{нач} = f(b, h)$  при постоянной скорости движения МТА: а – 7 км/ч, б – 9 км/ч, в – 11 км/ч



а



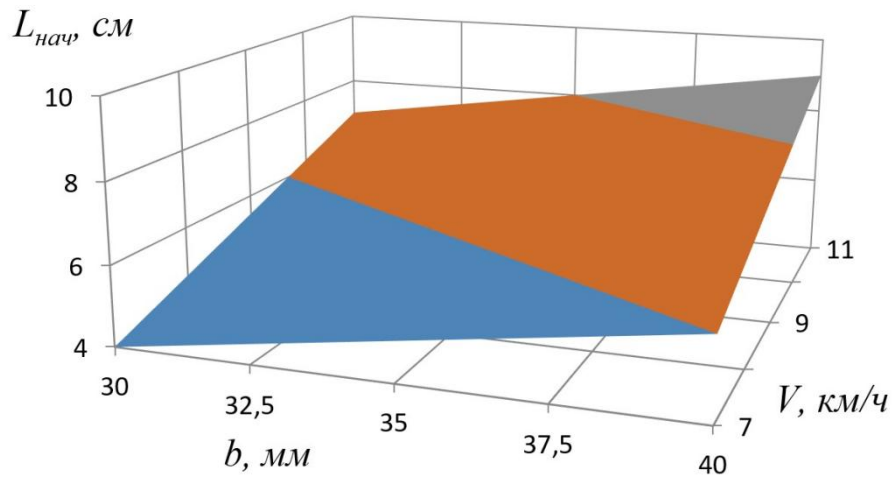
б



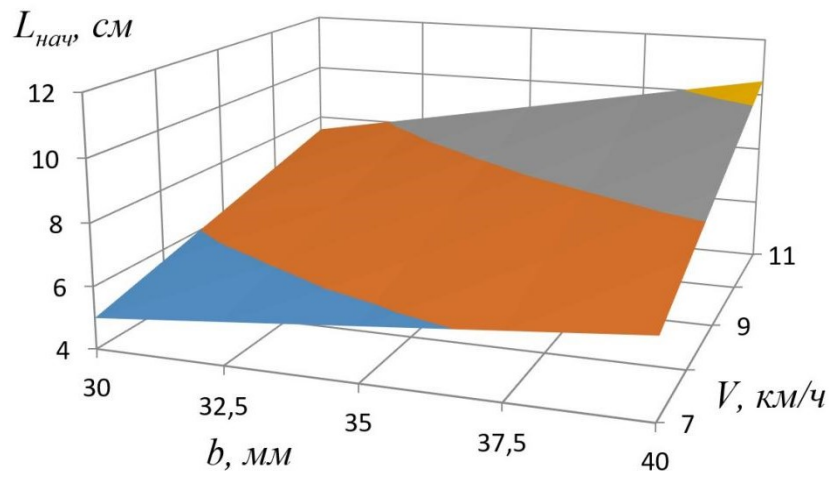
в

Рисунок 4.4 – Поверхности отклика  $L_{нач} = f(V, h)$  при постоянной ширине стойки:

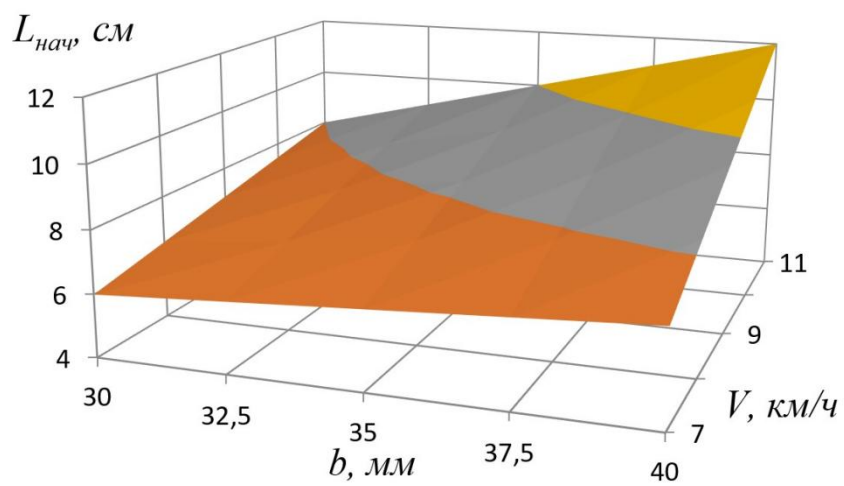
а – 30 мм, б – 35 мм, в – 40 мм



а



б



в

Рисунок 4.5 – Поверхности отклика  $L_{нач} = f(V, b)$  при постоянной глубине посева:

а – 6 см, б – 8 см, в – 10 см

При увеличении двух факторов наблюдается увеличение искомой величины, начало закрытия и конца закрытия борозды, то есть увеличение расстояния от стойки сошника до начала осыпания почвы и полного закрытия борозды. При минимальных значениях факторов начало осыпания почвы начинается на расстоянии 4 см, полное закрытие наступает при 16 см. В случае максимального значения факторов начало осыпания почвы – 12 см, а закрытие – 37 см.

Для определения длины закрытия борозды  $\Delta L$ , воспользовались разностью

$$\Delta L = L_{\text{кон.}} - L_{\text{нач.}}, \quad (4.3)$$

где  $L_{\text{нач.}}$  – расстояние от стойки до начала осыпания почвы, см;

$L_{\text{кон.}}$  – расстояние от стойки до завершения осыпания почвы, см.

и представили уравнение регрессии

$$\Delta L = 14,75V + 3,2125b + 12,75h - 0,3375Vb - 1,25Vh - 0,29375bh + 0,03125Vbh - 127,25, \quad (4.4)$$

которое удовлетворяет требованиям и признано адекватным на 5 % уровне ( $F_{\text{расч}}=2,01 < F_{\text{табл}}=2,05$ ) [60,75].

Анализируя полученное уравнение можно отметить:

1. С увеличением скорости  $V$ , ширины  $b$  стойки и глубины  $h$  посева оптимизируемая величина возрастает (так как коэффициенты при этих факторах положительные), причем наибольшее влияние оказывает скорость движения агрегата, затем глубина посева при выбранных уровнях варьирования.

2. На длину закрытия борозды, кроме основных факторов оказывают влияние их сочетания:  $Vb$ ,  $Vh$ ,  $bh$  – ведут к сокращению длины закрытия борозды, так как значение коэффициентов отрицательное; а сочетание  $Vbh$  приводит к увеличению длины закрытия борозды.

3. Наибольшее влияние среди сочетания факторов на закрытие длины борозды будет оказывать  $Vh$ , далее  $Vb$  и  $bh$ .

4. Сокращение или увеличение длины закрытия борозды приводит к прямой зависимости времени осыпания почвы.

Результаты при минимальных, средних и максимальных значениях варьируемых факторов представлены в приложении Д.

Можно отметить, что при минимальных значениях  $V$ ,  $b$ ,  $h$  длина начала осыпания ( $L_{нач.}$ ) почвы в борозду за стойкой происходит на расстоянии 4 см, а при максимальных значениях – 12 см. Следовательно, туконаправитель должен находиться непосредственно за стойкой сошника. При таком расположении почва сможет осыпаться на дно борозды, полностью закрывая гранулы минеральных удобрений, формируя почвенную прослойку, между ими и высеваемыми семенами.

Необходимо помнить, что согласно агротехническим требованиям скорость при посеве лаповыми сошниками не должна превышать 8...9 км/ч [12].

Длина завершения осыпания ( $L_{кон.}$ ) почвой борозды при минимальных значениях  $V$ ,  $b$ ,  $h$  составляет 16 см, а при максимальных – 37 см. Соответственно, необходимо учитывать геометрические параметры семянаправителя и его установку производить до значений завершения осыпания почвы в борозду.

Найденные расстояния в поисковом лабораторно-полевом опыте определили критические точки установки туконаправителя и семянаправителя при различных режимах работы комбинированного сошника. Туконаправитель должен быть расположен непосредственно в тыльной части стойки комбинированного сошника. Семянаправитель устанавливается на расстоянии между началом и концом закрытия борозды почвой, для гарантированного формирования почвенной прослойки во время процесса посева.

### 4.3 Результаты определения почвенной прослойки

В процессе проведения полевых исследований экспериментально определена толщина почвенной прослойки  $h_{просл.}$ , сформированной комбинированным сошником в зависимости от задаваемых параметров установки семянаправителя сошника –  $L_{сем}$ ,  $H_{сем}$  (рисунок 4.6).



а



б

Рисунок 4.6 – Выполнение замеров: а – формирование почвенной прослойки;  
б – сформированная почвенная прослойка

В таблице 4.4 представлены значения по результатам полевых экспериментов, которые выполнялись в 3-х кратной повторности.

Таблица 4.4 – Величина почвенной прослойки

| Длина установки<br>семянправителя<br>$L_{сем}$ , см    | 8 |   |     | 10  |   |   | 12  |   |   | 14 |   |   | 16 |   |   | 18 |   |   |
|--------------------------------------------------------|---|---|-----|-----|---|---|-----|---|---|----|---|---|----|---|---|----|---|---|
| Высота установки<br>семянправителя<br>$H_{сем}$ , см   | 4 | 6 | 8   | 4   | 6 | 8 | 4   | 6 | 8 | 4  | 6 | 8 | 4  | 6 | 8 | 4  | 6 | 8 |
| Величина<br>почвенной<br>прослойки<br>$h_{просл}$ , см | 1 | 3 | 5,5 | 1,5 | 4 | 6 | 2,5 | 5 | 7 | 4  | 6 | 8 | 4  | 6 | 8 | 4  | 6 | 8 |

Подставив величину  $h_{просл}$  из таблицы 4.4 в код (приложение Е) получили точные значения коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$ , где:  $const = a$ ;  $l_{сем} = b$ ;  $h_{сем} = c$ :

$const - -5.672619$

$l_{сем} - 0.285714$

$h_{сем} - 1.187500$

В конечном итоге уравнение приняло вид (4.5):

$$h_{просл} = -5.7 + 0.3 \cdot L_{сем} + 1.2 \cdot h_{сем} \quad (4.5)$$

На основании экспериментальных исследований получена поверхность отклика с оптимальными расстояниями для формирования почвенной прослойки (рисунок 4.7).

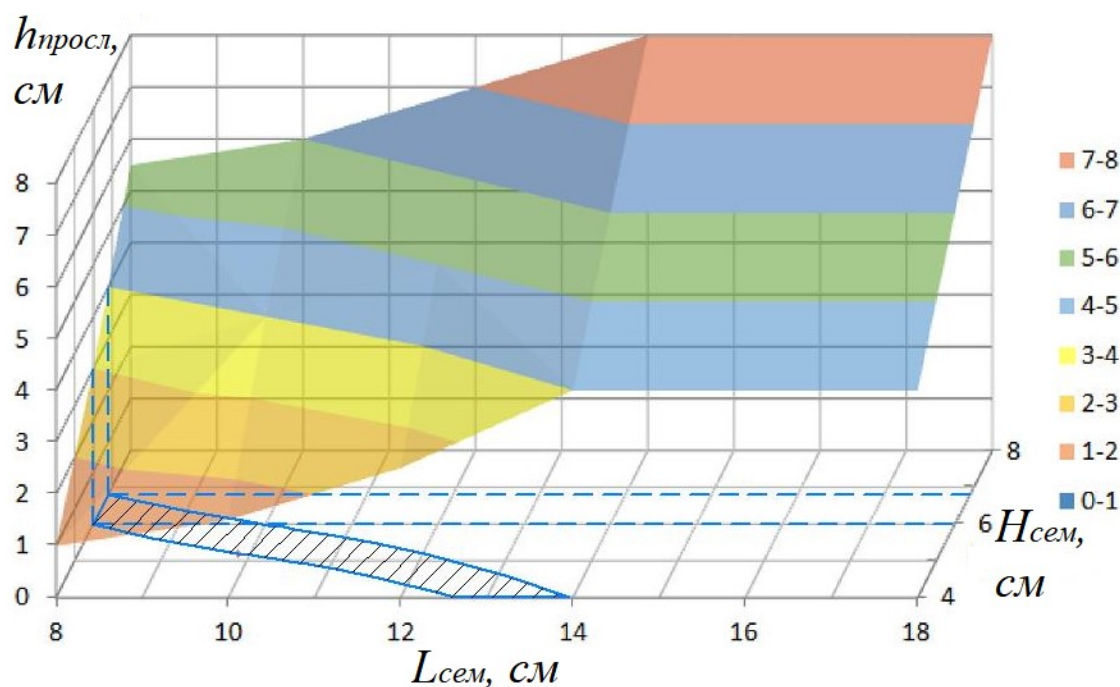


Рисунок 4.7 – Зависимость формирования почвенной прослойки:  $h_{просл} = f(L_{сем}; H_{сем})$

Представленная зависимость демонстрирует увеличение толщины почвенной прослойки с увеличением расстояния расположения семянаправителя, а также как и высота его установки, что соответствует теоретической зависимости представленной на рисунке 2.13. При изменении данных параметров и оптимальном значении почвенной прослойки для посева зерновых культур толщиной 3-4 см, определили следующие параметры (расположения семянаправителя по длине и высоте):

$L_{сем} = 8$  см, при  $H_{сем} = 6...6,8$  см;

$L_{сем} = 10$  см, при  $H_{сем} = 5,1...6$  см;

$L_{сем} = 12$  см, при  $H_{сем} = 4,4...5,2$  см.

Проведя регрессионный анализ с использованием специализированной программы статистической обработки эмпирических данных, получили значения коэффициентов и их стандартные ошибки.

Расчёт - статистики для каждого коэффициента:

$$t = \frac{\text{коэффициент}}{\text{стандартная ошибка}}$$

Определим  $p$  – значения для проверки гипотезы о значимости каждого коэффициента (обычно при уровне значимости 0,05).

Рассмотрим  $R^2$  и скорректированный  $R^2$  (коэффициент детерминации), который показывает, какая доля вариации зависимой переменной объясняется независимыми переменными.

Анализ в программе Python, как и прежде осуществим с использованием библиотеки statsmodels (приложение Ж).

Отметим попутно тот факт, что стандартные ошибки предполагают, что ковариационная матрица ошибок указана правильно.

Проинтерпретируем полученные результаты.

Коэффициенты  $a$  и  $b$  считаются статистически значимыми, если  $p$  – значения меньше 0,05. Высокий  $R^2$  и скорректированный  $R^2$  указывают на хорошую объяснительную способность модели.

На основании данных приведем и проанализируем основные результаты регрессионного анализа:

$R^2 = 0,888$ : Это означает, что 88,8% вариации в толщине почвенной прослойки ( $h_{\text{просл}}$ ) объясняются переменными  $L_{\text{сем}}$  и  $H_{\text{сем}}$ . Это указывает на высокую объяснительную способность модели.

Adj.  $R^2 = 0,873$ : Это скорректированное значение  $R^2$ , которое также указывает на высокую степень объяснительной способности модели, учитывая количество предикторов.

Коэффициенты регрессии и их значимость:

Константа (const):

Коэффициент: -5,6726;

Стандартная ошибка: 1,070;

$t$ -статистика: -5,300;

$p$ -значение: 0,0001 (значимо при уровне 0,05).

Это значение указывает на фиксированное смещение во всех прогнозах толщины почвенной прослойки.

$l_{\text{сем}}$  (коэффициент: 0,2857):

Стандартная ошибка: 0,058;

$t$ -статистика: 4,909;

$p$ -значение: 0,0001 (значимо при уровне 0,05)

Это значение означает, что с увеличением  $L_{\text{сем}}$  на 1 см, толщина почвенной прослойки увеличивается на 0,2857 см, при условии, что  $H_{\text{сем}}$  остаётся постоянной.

$h_{\text{сем}}$  (коэффициент: 1,1875):

Стандартная ошибка: 0,122;

$t$ -статистика: 9,755;

$p$ -значение: 0,0001 (значимо при уровне 0,05).

Это значение указывает на то, что с увеличением  $h_{\text{сем}}$  на 1 см, толщина почвенной прослойки увеличивается на 1,1875 см, при условии, что  $l_{\text{сем}}$  остаётся постоянной.

Дополнительные показатели:

Durbin-Watson: 1,400: Это значение показывает наличие автокорреляции остатков. Значение близко к 2 указывает на отсутствие автокорреляции.

Omnibus и Jarque-Bera тесты: Эти тесты показывают наличие отклонений от нормальности распределения остатков. Значения, близкие к 0,05, указывают на возможные отклонения.

Полученные результаты показывают, что оба параметра  $L_{\text{сем}}$  и  $H_{\text{сем}}$  значимо влияют на толщину почвенной прослойки. Модель имеет высокую объяснительную способность, хотя могут быть отклонения от нормальности распределения остатков. На данные отклонения могут оказывать влияния физического состояния почвы на момент проведения исследований.

#### 4.4 Результаты определения твердости и влажности почвы

Согласно методике проведения экспериментальных исследований перед закладкой полевого опыта была определена влажность почвы и ее твердость на глубину до 20 см. Данные показатели учитывались при проведении посевных работ, данные замеров сведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты влажности и твердости почвы по слоям

| Глубина отбора<br>пробы почвы,<br>см | Влажность, % |      |      |      |      | Твердость, МПа |      |      |      |      |
|--------------------------------------|--------------|------|------|------|------|----------------|------|------|------|------|
|                                      | повторность  |      |      |      |      | повторность    |      |      |      |      |
|                                      | 1            | 2    | 3    | 4    | 5    | 1              | 2    | 3    | 4    | 5    |
| 0...10                               | 9,9          | 12,1 | 10,6 | 11,5 | 12,2 | 0,21           | 0,23 | 0,19 | 0,27 | 0,25 |
| 10...20                              | 13,6         | 14,3 | 13,4 | 13,9 | 14,1 | 0,69           | 0,71 | 0,64 | 0,82 | 0,77 |
| Ср. знач                             | 12,6         |      |      |      |      | 0,48           |      |      |      |      |

В результате отбора проб почвы определили, что среднее значение влажности почвы чернозема выщелоченного составило 15,2 %, при этом среднее значение твердости почвы – 0,48 МПа.

#### 4.5 Результаты определения глубины заделки семян

Согласно методики проводились исследования по определению глубины заделки семян яровой мягкой пшеницы Омская 36 (рисунок 4.8). По полученным данным вычисляли: средняя фактическая глубина заделки семян, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации.

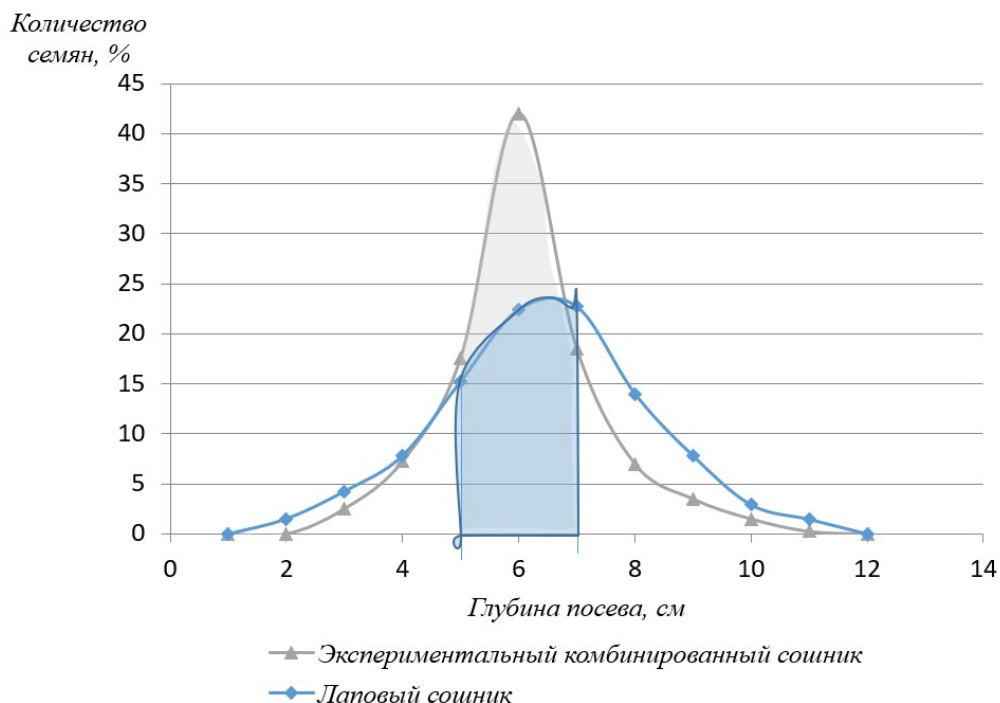


Рисунок 4.8 – Глубина заделки семян в почвенном слое

График глубины заделки семян в почвенном слое отчётливо показывает, что посев экспериментальными комбинированными сошниками выполнен качественнее, чем лаповыми.

Результаты, полученные при измерении этиолированной части растений, представлены в таблицах 4.6 и 4.7.

Таблица 4.6 – Глубина заделки семян пшеницы

| Показатели                                   | Лаповый сошник | Экспериментальный комбинированный сошник |
|----------------------------------------------|----------------|------------------------------------------|
| Установочная глубина заделки, см             | 6              | 6                                        |
| Минимальная глубина заделки, см              | 3              | 4,5                                      |
| Максимальная глубина заделки, см             | 10,9           | 8,8                                      |
| Средняя глубина заделки семян $\bar{x}$ , см | 8,18           | 6,13                                     |
| Стандартное отклонение $\sigma$ , см         | 1,71           | 0,87                                     |
| Коэффициент вариации $V$ , %                 | 20,9           | 14,1                                     |

Таблица 4.7 – Доля семян в почвенных слоях

| Слой почвы, см                   | Количество семян в слоях, %              |                |
|----------------------------------|------------------------------------------|----------------|
|                                  | Экспериментальный комбинированный сошник | Лаповый сошник |
| 1                                | 0                                        | 0              |
| 2                                | 0                                        | 1,5            |
| 3                                | 2,5                                      | 4,25           |
| 4                                | 7,25                                     | 7,8            |
| 5                                | 17,5                                     | 15,2           |
| 6                                | 42                                       | 22,4           |
| 7                                | 18,5                                     | 22,7           |
| 8                                | 7                                        | 14             |
| 9                                | 3,5                                      | 7,8            |
| 10                               | 1,5                                      | 2,9            |
| 11                               | 0,25                                     | 1,45           |
| 12                               | 0                                        | 0              |
| Процент семян в слое 5...7 см, % | 78                                       | 60,3           |

Установлено, что процент семян находившемся в заданном слое  $6 \pm 1$  см у экспериментальных комбинированных сошников составил 78%, против 60,3% у лаповых сошников.

#### 4.6 Результаты полевой всхожести семян

Полевая всхожесть - интегральный показатель качества посевного

материала, а также уровня ведения агротехники. Непосредственное влияние на полевую всхожесть семян оказывают внешние факторы, такие как: температура воздуха и почвы на глубине посева, влажность и качество подготовки почвы, наличие сорняков и растительных остатков, норма и способ внесения минеральных удобрений.

Для проверки теоретических предположений о влиянии нормы и способа внесения минеральных удобрений на полевую всхожесть при посеве семян, нами были проведены полевые исследования при помощи сеялки-культиватора СКП-2.1 с установленным на нее комплектом лаповых сошников и комплектом экспериментальных комбинированных сошников.

Полевые исследования были проведены на опытном поле ФГБНУ «Омского АНЦ». Посев производился на делянках размером 25х2,1 м в трехкратной повторности с применением сеялки-культиватора СКП-2.1 в агрегате с трактором МТЗ-82 (рисунок 4.9). Посев проводился яровой мягкой пшеницей Омская 36 с нормой высева 200 кг/га, норма внесения минеральных удобрений 0, Р<sub>30</sub>, Р<sub>60</sub>. Установочная глубина посева 6 см.



Рисунок 4.9 –Трактор МТЗ-82 в агрегате с экспериментальной сеялкой-культиватором СКП-2.1

Погодные условия вегетационного периода были контрастные и в целом - засушливые. Осадки выпадали не равномерно и носили ливневый характер. В

целом полевой сезон можно охарактеризовать как засушливый и жаркий. Особенно жаркими и засушливыми были май, июнь, первая и третья декады июля и первая половина августа.

В начальный период роста, корневая система слишком слаба, что бы самостоятельно брать из почвы все необходимые элементы питания. В связи с этим, посев производят одновременно с внесением минеральных удобрений, для обеспечения питанием растения в первое время после посева. В качестве посевного материала использовалась яровая мягкая пшеница Омская 36. Норма высева на всех делянках была одинаковая. В качестве минерального удобрения использовался нитроаммофос ( $N_{12\%}$ ,  $P_2O_5$  52%), который вносился одновременно с посевом.

На рисунке 4.10 показаны всходы пшеницы при посеве лаповыми и экспериментальными комбинированными сошниками.

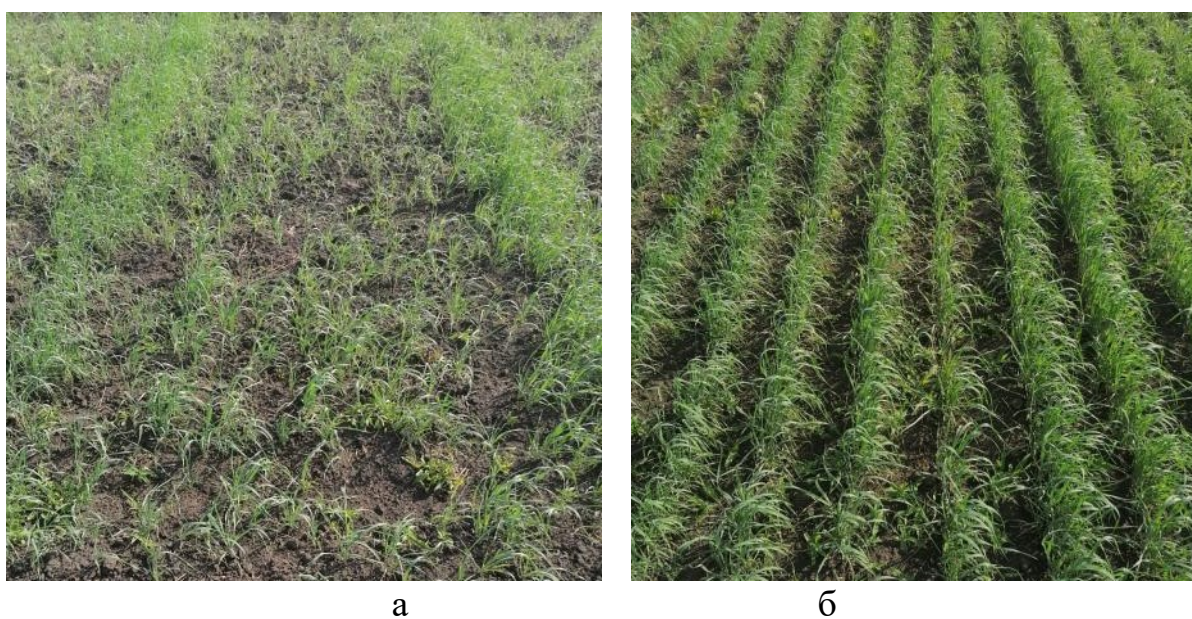


Рисунок 4.10 – Всходы яровой мягкой пшеницы Омская 36:

а – посев лаповыми сошниками;

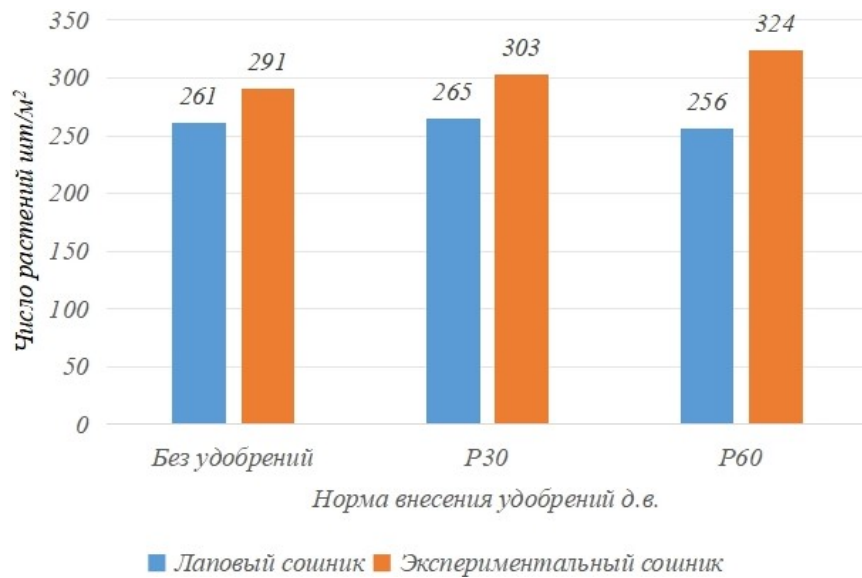
б – посев экспериментальными комбинированными сошниками

Можно отметить, что при посеве лаповыми сошника всходы были изреженными, в сравнении с вариантом посева экспериментальными комбинированными сошниками.

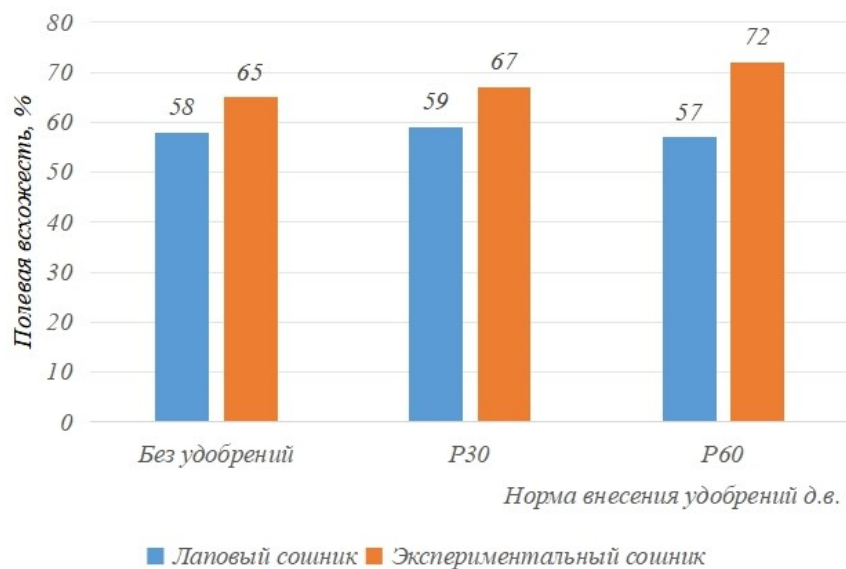
Изначально, засушливые и жаркие погодными условиями мая-июня,

оказали негативное влияние на рост и развитие растений.

Общую тенденцию изменения числа растений на опытных делянках по нормам внесения минеральных удобрений и установленным сошникам можно проследить по графику (рисунок 4.11).



а



б

Рисунок 4.11 – Оценка полевой всхожести: а – число растений; б – полевая всхожесть по вариантам посева

Из графика видно, что на делянках где посев проведён экспериментальными комбинированными сошниками, число растений выше, даже на варианте без внесения минеральных удобрений. Это связано с конструктивными особенностями комбинированного сошника, где стойка выполнена в виде анкера, что позволяет сделать ровное уплотнённое ложе, как для гранул минеральных удобрений, так и для семян сельскохозяйственных культур. На делянках, где посев и внесение минеральных удобрений проводился экспериментальными комбинированными сошниками, по мере увеличения нормы внесения удобрений увеличивалось и число и растений. Варианты, посеянные лаповым сошником насчитывали меньшее число растений.

Полевая всхожесть при посеве лаповыми сошниками, по всем вариантам низкая, незначительное увеличение было при внесении  $P_{30}$  относительно контрольного варианта. Столь низкую полевую всхожесть можно связать как с высоким коэффициентом вариации семян по глубине посева, так и с близким расположением гранул минеральных удобрений относительно семян.

Постепенное увеличение полевой всхожести при посеве комбинированными сошниками до 72% наблюдается по мере увеличения нормы внесения минеральных удобрений, что говорит об эффективном разложении гранул удобрений в более влажных слоях почвы, отдельно от семян.

#### **4.7 Результаты урожайности семян**

Урожайность сельскохозяйственных культур существенным образом зависит от нормы и качественного внесения минеральных удобрений. Исследованиями ВНИИ агрохимии установлено, что от некачественного внесения малых норм минеральных удобрений снижение урожайности колеблется незначительно. По мере увеличения норм внесения минеральных удобрений, при их некачественном внесении, недобор урожайности может составлять 14-15 % (0,6-0,7 т/га) [55]. Кроме того, некачественное и неравномерное распределение минеральных удобрений в почвенном слое

ухудшает технологические и биологические свойства урожая, что непосредственно снижает их окупаемость.

Показатели качества посевного материала яровой мягкой пшеницы Омская 36 представлена в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Показатели яровой мягкой пшеницы Омская 36

| Показатель              | Значение |
|-------------------------|----------|
| Масса 1000 шт. семян, г | 36-43    |
| Всхожесть, %            | 97       |
| Чистота, %              | 98       |
| Норма высева, кг/га     | 200      |

На рисунке 4.12 представлена графически урожайность зерна яровой мягкой пшеницы Омская 36 в зависимости от установленных сошников.

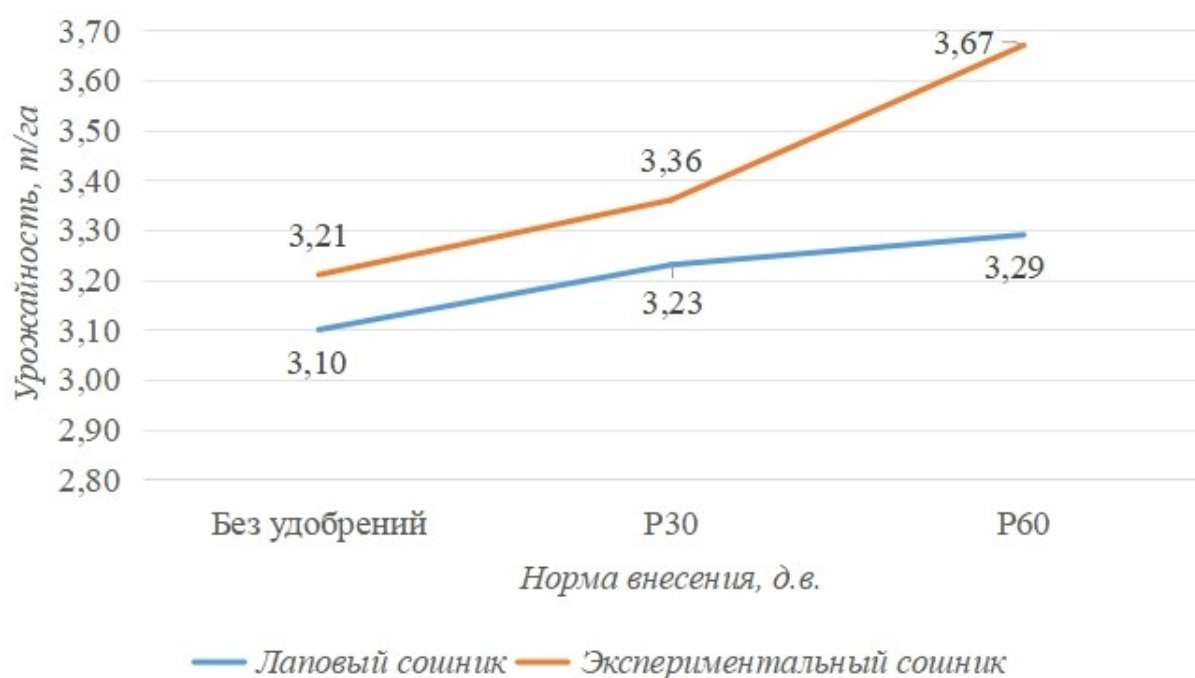


Рисунок 4.12 – Урожайность зерна

Анализируя график урожайности яровой мягкой пшеницы Омская 36 видно, что без применения минеральных удобрений, урожайность остаётся практически неизменной. Разница в урожайности между смежными вариантами, без внесения удобрений 0,11 т/га, при внесении Р<sub>30</sub> разница увеличилась до 0,13 т/га. Максимальный урожай зерна был получен при внесении Р<sub>60</sub> на сеялке СКП-2.1, оборудованной лаповыми сошниками составил 3,29 т/га, на экспериментальной с

комбинированными сошниками составила 3,29 т/га. Таким образом, прибавка урожая зерна составила 0,38 т/га.

#### 4.8 Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований

В результате теоретических и экспериментальных исследований получены зависимости параметров установки семянаправителя относительно туконаправителя, характеризующие работу комбинированного сошника.

Сопоставление теоретических исследований и результатов полевых опытов, по определению величины почвенной прослойки между минеральными удобрениями и семенами, при различных параметрах установки семянаправителя приведены на рисунке 4.13.

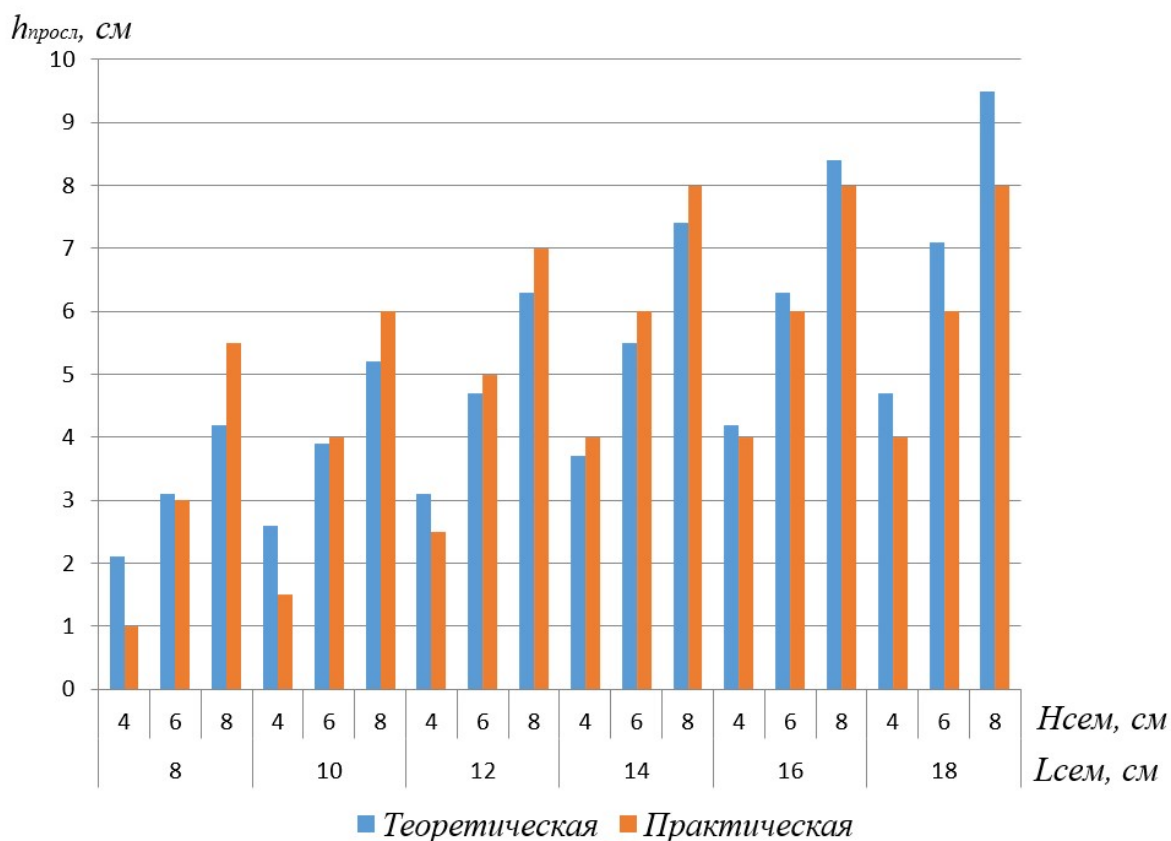


Рисунок 4.13 – Сопоставление теоретических и практических результатов величины почвенной прослойки при значениях:

$$H_{сем} = (4, 6, 8) \text{ см.}, \text{ и } L_{сем} = (8, 10, 12, 14, 16, 18) \text{ см}$$

При сопоставлении теоретических и экспериментальных результатов видно,

что они согласуются между собой. Теоретические и практические результаты подчиняются единой закономерности, а их расхождение значений не превышает значение ошибки опыта  $\pm 5\%$ .

### Выводы по главе

По результатам проведенных экспериментальных исследований получены следующие зависимости:

- уточнены координаты точек длины закрытия борозды: при минимальных значениях  $V, b, h - L_{нач.} = 4$  см.,  $L_{кон.} = 16$  см., при максимальных значениях  $V, b, h - L_{нач.} = 12$  см.,  $L_{кон.} = 37$  см.;

- определены оптимальные расстояния для формирования почвенной прослойки в 3-4 см:

$L_{сем} = 8$  см, при  $H_{сем} = 6...6,8$  см;

$L_{сем} = 10$  см, при  $H_{сем} = 5,1...6,0$  см;

$L_{сем} = 12$  см, при  $H_{сем} = 4,4...5,2$  см;

- выявлено, что процент семян расположенных в заданном слое  $6 \pm 1$  см у экспериментальных комбинированных сошников составил 78%, полевая всхожесть 72%, урожайность зерна на делянках, засеянных экспериментальными сошниками, без внесения удобрений составила 3,21 т/га, при  $P_{30} - 3,36$  т/га,  $P_{60} - 3,67$  ц/га, на контрольных делянках при посеве серийным сошником 3,10, 3,23, 3,29 т/га соответственно;

- теоретические и экспериментальные результаты подчиняются единой закономерности, а их расхождение значений не превышает значение ошибки опыта  $\pm 5\%$ .

## 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЯЛКИ СКП-2.1 С КОМБИНИРОВАННЫМИ СОШНИКАМИ

Оценка экономической эффективности является заключительным этапом комплексной оценки внедрения разрабатываемых машин. Она предусматривает определение влияния разрабатываемых средств механизации на улучшение конечных показателей таких как увеличение прибыли за счет повышения урожайности, сокращение эксплуатационных затрат, затрат труда, то есть снижение себестоимости продукции сельхозпроизводства.

На основе полученных результатов производственных исследований выполняли экономическую оценку эффективности внедрения разработанных экспериментальных комбинированных сошников для посева и разноуровневого внесения минеральных удобрений. Это позволяет оценить влияние предлагаемой конструкции сошника на урожайность возделываемых культур и выявить эффективность от внедрения разработки.

Расчет экономической эффективности использования разрабатываемых комбинированных сошников установленных на сеялку-культиватор СКП-2.1 проводился согласно литературным источникам [21,63,64].

Проведённые производственные исследования позволили определить показатели, на основе которых выполнялся расчёт экономической эффективности (таблице 5.1).

Таблица 5.1 – Показатели для расчета экономической эффективности

| Показатели             | Серийная сеялка СКП-2.1 | Сеялка СКП-2.1 с комбинированными сошниками |
|------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|
| Площадь участка, га    | 1                       | 1                                           |
| Урожайность, т/га      | 3,29                    | 3,67                                        |
| Прирост урожайности, % | -                       | 10,4                                        |

Как видно урожайность яровой мягкой пшеницы Омская 36, посеянной экспериментальными комбинированными сошниками, увеличилась на 10,4 % в сравнении с посевом серийной сеялкой.

Цены на сельскохозяйственную технику и горюче-смазочные материалы выбраны на период 2024 года. Нормативные и зональные загрузки тракторов и сеялок определялись по нормативно-справочным материалам для экономической оценки сельскохозяйственной техники.

### 5.1 Расчет прямых эксплуатационных затрат

Исходными данными для определения расчетной экономической эффективности использования сеялки СКП-2.1 с установленными комбинированными сошниками послужили предварительные расчетные характеристики разрабатываемых экспериментальных комбинированных сошников. Экономическая эффективность экспериментальных комбинированных сошников, установленных на сеялке-культиваторе СКП-2.1, оценивалась сравнением приведенных затрат и увеличением выхода продукции [36,50].

Производительность за час чистого рабочего времени:

$$W_q = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \quad (5.1)$$

где  $V_p$  – рабочая скорость – 9 км/ч;

$B_p$  – рабочая ширина захвата сеялки – 2,05.

$$W_q = 0,1 \cdot 2,05 \cdot 9 = 1,85 \text{ га/час}$$

Производительность за час сменного времени:

$$W = W_q \cdot K_{ИР} \quad (5.2)$$

где  $K_{ИР}$  – коэффициент использования рабочего времени, при посеве  $K_{ИР} = 0,8$

$$W = 2,05 \cdot 0,8 = 1,64 \text{ га/час.}$$

Годовая выработка сеялки:

$$W_r = W \cdot T \quad (5.3)$$

где  $T$  – годовая загрузка в часах, для Омской области  $T = 140$ .

$$W_r = 1,64 \cdot 140 = 229,6 \text{ га}$$

Согласно подсчетам завода ООО «Ом-Сельмаш» при внедрении в производство комбинированного сошника (приложение 3) на изготовление комплекта сошников и их установку на серийную сеялку СКП-2.1 затраты составят 298000 тыс. руб. Цена базовой сеялки СКП-2.1, произведённой на

территории Омской области 273000 тыс. руб.

Прямые эксплуатационные затраты:

$$S = 3 + \Gamma + T_p + A + X \quad (5.4)$$

где  $\Gamma$  – стоимость горюче-смазочных материалов;

$T_p$  – затраты на текущий ремонт и технические уходы;

$A$  – амортизационные отчисления (на капитальный ремонт и реновацию);

$X$  – затраты на хранение машин.

Заработная плата обслуживающему персоналу одинакова по серийной и экспериментальной сеялкам (обслуживается одним трактористом по шестому разряду).

$$3 = \frac{\sum N_i 3_i}{W} \quad (5.5)$$

где  $N_i$  – количество обслуживающего персонала каждого  $i$ -того тарифного разряда – 1 механизатор;

$3_i$  – часовая тарифная ставка  $i$ -того разряда;

$3_6 = 773,45$  руб.

Стоимость горюче-смазочных материалов, приходящаяся на единицу работы, также одинакова по базовой и экспериментальной сеялкам:

$$\Gamma = \frac{N_{ДВ} \cdot q \cdot Ц_T}{W} \quad (5.6)$$

где  $N_{ДВ}$  – мощность, расходуемая на одну сеялку;  $N_{ДВ} = 21,8$  л.с.;

$q$  – удельный расход топлива на эффективную л.с.ч. можно принять равным 0,25 кг/э.л.с.ч.;

$Ц_T$  – комплексная цена топлива, принимаем равной 58 руб/кг.

Затраты на текущий ремонт и технические уходы:

$$T_p = \frac{B \cdot r}{100 \cdot W \cdot T} \quad (5.7)$$

где  $r$  – норма отчислений на текущий ремонт и технические уходы,  $r = 25\%$ .

Амортизационные отчисления:

$$A = \frac{B \cdot a}{100 \cdot W \cdot T} \quad (5.8)$$

где  $a$  – норма амортизационных отчислений,  $a = 14,2\%$ .

Затраты на хранение определим по формуле:

$$X = \frac{B \cdot x}{100 \cdot W \cdot T} \quad (5.9)$$

где  $x$  – норма отчислений на хранение для сеялки, хранящейся на открытой площадке,  $x = 2,12 \%$ .

Удельные капитальные вложения определим по формуле:

$$K = \frac{B}{W_{\Gamma}} \quad (5.10)$$

Таблица 5.2 – Составляющие прямых эксплуатационных затрат разрабатываемой и серийной сеялки на 1 га посевной площади

| Составляющие затрат, руб/га            | Серийная сеялка СКП-2.1 | Сеялка СКП-2.1 с комбинированными сошниками |
|----------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|
| Заработная плата                       | 471,62                  | 471,62                                      |
| Амортизационные отчисления             | 333,93                  | 349,38                                      |
| Затраты на ТО, ремонт и хранение       | 173,54                  | 181,16                                      |
| Затраты на топливо-смазочные материалы | 316,1                   | 316,1                                       |
| Сумма эксплуатационных затрат          | 1295,19                 | 1318,27                                     |

Сумма эксплуатационных затрат экспериментальной сеялки-культиватора СКП-2.1 с установленными комбинированными сошниками увеличилась на 1,8% в сравнении с серийной сеялкой. В расчёт принимались данные по состоянию цен на период 2024 года.

## 5.2 Расчет годового экономического эффекта

Величина годового экономического эффекта от применения предлагаемой конструкции комбинированных сошников установленных на сеялке-культиваторе СКП-2.1 определялся как, разность приведенных затрат по базовой и экспериментальной сеялкам плюс денежная выручка от реализации дополнительной продукции.

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = W_{\Gamma} [(S_0 - S_1) + E_H (K_{0уд} - K_{1уд}) + \mathcal{U}_{\phi}] \quad (5.11)$$

где  $E_H$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, для сельскохозяйственной техники,  $E_H = 0,15$ ;

$\mathcal{U}_{\phi}$  – денежная выручка от реализации дополнительной продукции.

Приведенные затраты и удельные капитальные вложения по базовой и экспериментальной сеялкам имеют небольшую разницу и годовой экономический эффект от применения сеялки с установленными экспериментальными комбинированными сошниками достигается за счет прироста урожайности возделываемой культуры.

$$Ц_{\phi} = \Delta U \cdot Ц_{\Pi} \quad (5.12)$$

где  $\Delta U$  – прирост урожайности, по итогам опыта,  $\Delta U = 0,38$  т/га;

$Ц_{\Pi}$  – закупочная цена 1 т пшеницы,  $Ц_{\Pi} = 14500$  руб.

Тогда:

$$\mathcal{E}_r = 229,6 \cdot [0,38 \cdot 14500] = 1265096 \quad (5.13)$$

Таблица 5.3 – Экономические показатели эффективности использования разрабатываемой и серийной сеялок

| Составляющие затрат, руб/га                                               | Серийная сеялка СКП-2.1 | Сеялка СКП-2.1 с комбинированными сошниками |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|
| Балансовая стоимость, руб                                                 | 273000                  | 298000                                      |
| Рабочая скорость агрегата, км/ч                                           | 9                       | 9                                           |
| Часовая норма выработки, га/ч                                             | 1,64                    | 1,64                                        |
| Удельные капиталовложения, руб/га                                         | 1189,02                 | 1297,9                                      |
| Годовой экономический эффект при нормативной годовой загрузке 140 ч., руб | -                       | 1265096                                     |
| Экономический эффект на 1 га площади посева, руб                          | -                       | 5510                                        |

Удельные капиталовложения сеялки оборудованной комбинированными сошниками больше на 108,8 руб/га. Экономический эффект с 1 га площади посева сеялкой, оборудованной комбинированными сошниками составил 5510 руб/га, а годовой экономический эффект при нормативной годовой загрузке сеялки 140 ч., составил 1265096 руб.

### Выводы по главе

Расчет экономической эффективности показал, что сумма эксплуатационных затрат сеялки СКП-2.1 оборудованной комбинированными сошниками выше на 1,8%, удельные капиталовложения больше на 108,8 руб/га в сравнении с серийной сеялкой СКП-2.1. Однако, с учетом стоимости

дополнительной продукции с 1 га посева получили экономический эффект равный 5510 руб/га. Годовой экономический эффект при нормативной годовой загрузке сеялки 140 ч., составил 1265096 руб на одну сеялку оборудованную комбинированными сошниками для посева и разноуровневого внесения минеральных удобрений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведён анализ существующих технологий посева и конструкций сошников. Выявлено, что зачастую внесение удобрений происходит в один почвенный горизонт с семенами, что оказывает отрицательное влияние на всхожесть и урожайность.

2. Разработана модель процесса посева комбинированным сошником и технологическая схема посева с одновременным внесением удобрений в разные горизонты почвы, выявлены закономерности формирования почвенной прослойки в зависимости от взаимного расположения семянаправителя и туконаправителя:

$L_{сем} = 8$  см, при  $H_{сем} = 5,8...7,8$  см;

$L_{сем} = 10$  см, при  $H_{сем} = 4,5...6,1$  см;

$L_{сем} = 12$  см, при  $H_{сем} = 4...5,2$  см.

3. Теоретически установлено время осыпания почвенных частиц в борозду при выполнении процесса посева комбинированным сошником: без культиваторных лезвий  $t_1 = 0,59$  с, и с установленными культиваторными лезвиями  $t_2 = 0,64$  с.

4. Получены уравнения регрессии, описывающие координаты начала и конца закрытия борозды, длину закрытия борозды от поступательной скорости движения,  $V$ , км/ч; толщины стойки,  $b$ , мм, глубины хода комбинированного сошника,  $h$ , см. При минимальных значениях  $V$ ,  $b$ ,  $h - L_{нач.} = 4$  см.,  $L_{кон.} = 16$  см., при максимальных значениях  $V$ ,  $b$ ,  $h - L_{нач.} = 12$  см.,  $L_{кон.} = 37$  см.

5. Экспериментально определены оптимальные расстояния от взаимного расположения семянаправителя и туконаправителя комбинированного сошника, обеспечивающие формирование почвенной прослойки 3-4 см между удобрениями и семенами.

6. Теоретические и практические результаты подчиняются единой закономерности, их расхождение значений не превышает значение ошибки опыта  $\pm 5\%$ .

7. Производственные испытания позволили установить эффективность сеялки с экспериментальными комбинированными сошниками при посеве яровой пшеницы, прибавка урожая зерна составила 10,4 %, экономический эффект с 1 га получен 5510 руб.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абашев В.Д. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы Свеча / В.Д. Абашев, Ф.А. Попов, Е.Н. Носкова, С.Н. Жук // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – № 2(57). – С. 35–40.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий: научное издание / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – 2-е изд. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
3. Адуов М.А. Научно-технологические основы создания технических средств высева семян зерновых культур и внесения минеральных удобрений (на примере северной зоны Казахстана): дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Адуов Мубарак Адуович. – Алматы, 2008. – 224 с.
4. Адуов М.А. Сеялка прямого посева с комбинированными сошниками / М.А. Адуов, С.А. Нукушева // Инновация – путь к новому этапу развития АПК : материалы международной научно-практической конференции. – Астана, 2013. – Т. 3 – С. 3–6.
5. Астафьев В.Л. Оценка способов накопления и сохранения влаги на стерневых фонах / В.Л. Астафьев, А.И. Дерепаскин, Ю.В. Полищук, П.Г. Иванченко // Материалы Международной научно-практической конференции, Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева. – 2016. – Т. 1. – С. 66–70.
6. Астафьев В.Л. Сравнение способов посева пшеницы в различных условиях Северного Казахстана / В.Л. Астафьев // Достижения науки – агропромышленному производству : материалы LIV Международной научно-практической конференции. – Челябинск, 2015. – С. 8–16.
7. Астафьев В.Л. Технологическое обоснование основных агроприёмов и технических средств для накопления и сохранения влаги зимних осадков в Северном Казахстане / В.Л. Астафьев // Научно-техническое обеспечение агропромышленного комплекса в реализации Государственной программы развития сельского хозяйства до 2020 года : сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции, посвящённой 75-летию Курганской государственной сельскохозяйственной академии имени Т.С. Мальцева / под общей редакцией С.Ф. Сухановой. – 2019. – С. 211–217.

8. Астафьев В.Л. Эффективный способ накопления влаги зимних осадков и технические средства для его осуществления / В.Л. Астафьев, П.Г. Иванченко, С.Л. Малыгин // АПК России. – 2016. – Т. 75, № 1. – С. 59-64.

9. Астахов В.С. Механико-технологические основы посева сельскохозяйственных культур сеялками с пневматическими системами группового дозирования : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Астахов Василий Сергеевич. – Горки, 2007. – 377 с.

10. Астахов В.С. Посевная техника: анализ и перспективы развития / В.С. Астахов // Тракторы и сельхозмашины. – 1999. – № 1. – С. 6–13.

11. Бейкер С.Дж. Технология и посев. Наука и практика / С.Дж. Бейкер, К.Е. Сакстон, В.Р. Ритчи. – ЦМИ, 2002. – 264 с.

12. Беляев В.И. Влияние рабочей скорости движения посевного комплекса Amity на показатели качества посева яровой пшеницы и урожай / В.И. Беляев, И.И. Наливкин, Ю.С. Зыга // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 8 (70). – С. 68–72.

13. Беляев В.И. Перспективы применения технологий прямого посева в Алтайском крае / В.И. Беляев, А.А. Хижников, Д.А. Яковлев // Аграрная наука — сельскому хозяйству : сборник материалов в 2 книгах : XIV Международная научно-практическая конференция (7–8 февраля 2019 г.). – Барнаул : РИО Алтайского ГАУ, 2019. – Кн. 2. – С. 12–15.

14. Билтуев А.С. Влияние разноглубинного внесения минеральных удобрений на продуктивность пшеницы в различных почвенно-климатических условиях сухой степи Забайкалья / А.С. Билтуев, Л.В. Будажапов, С.В. Хутакова [и др.] // Агрохимия. – 2015. – № 10. – С. 18–24.

15. Большев Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. – Москва: Наука, 1965. – 464 с.

16. Браулик Р.А. Результаты лабораторных исследований сошника для разноуровневого высева семян и удобрений / Р.А. Браулик, С.Ю. Пономарев, Е.В. Демчук // Новая наука: От идеи к результату. – 2016. – № 1–2. – С. 129–132.

17. Бузенков Г.М. Машины для посева сельскохозяйственных культур / Г.М. Бузенков, С.А. Ма. – Москва : Машиностроение, 1976. – 272 с.
18. Варава А.Н. Влияние неравномерности высева зерновых культур на распределение семян и урожай в Южном Казахстане / А.Н. Варава // Точный посев зерновых и пропашных культур. – Москва : ВИСХОМ, 1984. – С. 40–42.
19. Васильковский С.М. Сопротивление почвы движению культиваторной лапы / С.М. Васильковский // Техника в сельском хозяйстве. – 1996. – № 3. – С. 17–20.
20. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – Москва : Колос, 1973. – 199 с.
21. Волкова Н.А. Экономическое обоснование инженерно-технических решений в выпускных квалификационных работах: учебное пособие / Н.А. Волкова, О.А. Столярова. – Пенза: РИО ПГСХА, 2012. – 108 с.
22. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие / В.Е. Гмурман. – Москва: Высшая школа, 1972. – 368 с.
23. Горбачев С.П. Новая технология заделки семян / С.П. Горбачев, Н.Е. Руденко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2012. – № 12. – С. 16–17.
24. ГОСТ 28714-2007. Машины для внесения твёрдых минеральных удобрений. Методы испытаний / Межгосударственный стандарт. – Введ. 2009-01-01.
25. ГОСТ 31345-2017. Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытаний / Межгосударственный стандарт. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 58 с. – Введ. 2019-06-01.
26. Демчук Е.В. Новая технология посева зерновых двухленточным сошником / Е.В. Демчук, А.В. Евченко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 11. – С. 23–24.
27. Демчук Е.В. Сравнительный анализ агротехнических характеристик посевных комплексов, оборудованных лаповыми сошниками / Е.В. Демчук, В.В. Мяло, А.А. Кем [и др.] // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2016. – № 3(6). – С. 13.
28. Демчук Е.В. Сравнительный анализ эксплуатационных характеристик посевных комплексов в условиях Западной Сибири / Е.В. Демчук, В.В. Мяло, А.А.

Кем [и др.] // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2017. – № 2(26). – С. 99–105.

29. Докин Б.Д. Альтернативные варианты технологий и технических средств для производства зерна в условиях Сибири / Б.Д. Докин, Н.М. Иванов, О.В. Ёлкин, М.С. Чекусов // Достижения науки и техники в АПК. – 2015. – № 1. – С. 101–105.

30. Домрачев В.А. Разработки инженерной науки Сибири для АПК / В.А. Домрачев, А.А. Кем // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2013. – № 2(26). – С. 77–79.

31. Доспехов Б.А. Методика опытного дела / Б.А. Доспехов. – Москва: Колос, 1985. – 233 с.

32. Дьяков В.П. Сопротивление почвы деформации клином / В.П. Дьяков // Техника в сельском хозяйстве. – 1988. – № 3. – С. 26–28.

33. Евдокимов Ю.А. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа / Ю.А. Евдокимов, В.И. Колесников, А.И. Тетерин. – Москва: Наука, 1980. – 228 с.

34. Евченко А.В. Посевные машины : монография / А.В. Евченко, И.Д. Кобяков; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Тарский филиал ФГОУ ВПО «Омский государственный аграрный университет». – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2006. – 126 с.

35. Ермаков С.М. Математическая теория планирования эксперимента / С.М. Ермаков, В.З. Бродский, А.А. Жиглявский, В.П. Козлов; под ред. С.М. Ермакова. – Москва: Наука, 1983. – 392 с.

36. Жалнин Э.В. К дискуссии о методике оценки экономической эффективности сельскохозяйственной техники / Э.В. Жалнин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 3. – С. 3–9.

37. Завалин А.А. Азотное питание и прогноз качества зерновых культур / А.А. Завалин, А.В. Пасынков ; Российская академия сельскохозяйственных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого. – Москва : Изд-во ВНИИА, 2007. – 208 с.

38. Зволинский Н.В. Развитие конструкций зерновых сеялок прямого посева / Н.В. Зволинский, Н.И. Любушко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – № 7. – С. 16–20.

39. Змеевский В.Т. Зависимость урожая от неравномерности и нормы высева семян зерновых культур в Краснодарском крае / В.Т. Змеевский // Точный посев зерновых и пропашных культур. – Москва: ВИСХОМ, 1984. – С. 35–40.

40. Зональные агротехнические требования к технологиям возделывания зерновых культур в Омской области: первая версия / Омский государственный аграрный университет. – Омск: изд-во ОмГАУ, 2002. – 20 с.

41. Ивженко С.А. К вопросу бессошниковой заделки семян в почву : автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.20.01 / Ивженко Станислав Андреевич; Саратовский сельскохозяйственный институт. – Саратов, 1963. – 18 с.

42. Ивженко С.А. Обоснование траектории движения частиц почвы, сходящей с крыла стрелчатой лапы / С.А. Ивженко, Б.И. Шихсаидов, Т.С. Байбулатов // Техника в сельском хозяйстве. – 2002. – № 4. – С. 32–33.

43. Казанков Л.Б. Методические рекомендации сравнительной оценки зерновых сеялок в полевых опытах / Л.Б. Казанков, В.Т. Фогель // Постановка полевых опытов для сравнительной оценки новых почвообрабатывающих машин. – Целиноград, 1977. – С. 28–44.

44. Калабушев А.Н. Разработка комбинированного сошника для укладки и заделки семян зерновых культур и гранул минеральных удобрений при их разноуровневом внесении: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.20.01 / Калабушев Андрей Николаевич. – Пенза, 2019. – 167 с.

45. Капов С.Н. Модернизация конструкции сошника / С.Н. Капов, М.А. Адуов, К.Г. Исенов // Вестник АПК Ставрополя. – 2017. – № 2(26). – С. 6–9.

46. Кардашевский С.В. Высевающие устройства посевных машин: теоретические основы и модели исследования равномерности распределения семян / С.В. Кардашевский. – Москва : Машиностроение, 1973. – 175 с.

47. Каскулов М.Х. Исследование и обоснование параметров лап сошников сеялок-культиваторов для работы на повышенных скоростях / М.Х. Каскулов // Труды

Всесоюзного научно-исследовательского института сельскохозяйственного машиностроения имени В. П. Горячкина. – 1973. – Вып. 75: Исследования технологических процессов и рабочих органов посевных машин. – С. 118–124.

48. Кем А.А. Влияние работы комбинированного сошника на качество и урожайность зерна / А.А. Кем, М.С. Чекусов, А.Н. Шмидт // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – № 6. – С. 72–77.

49. Ковриков И.Т. Основы разработки широкозахватных стерневых сеялок / И.Т. Ковриков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. – № 6. – С. 41–44.

50. Кудряшова Е.Г. Экономика сельского хозяйства / Е.Г. Кудряшова, Ф.Ф. Байрушина // Проблемы внедрения результатов инновационных разработок: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа: ООО «ОМЕГА САЙНС», 2016. – С. 66–69.

51. Лабурдов О.П. Определение почвенной прослойки и бороздообразование комбинированными сошниками / О.П. Лабурдов, В.М. Кузюр, С.И. Будко, А.А. Сысоев // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 5(87). – С. 55–59.

52. Лабурдов О.П. Повышение эффективности припосевного внесения минеральных удобрений комбинированными сошниками с разновеликими дисками : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.20.01 / Лабурдов Олег Петрович; РУП «Белорусский научно-исследовательский институт льна», Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – Горки, 2002. – 168 с.

53. Лаврухин П.В. Направление создания новой генерации посевных машин / П.В. Лаврухин // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – № 2(42). – С. 33–39.

54. Лапухин Т.П. Система применения удобрений в полевых севооборотах на каштановых почвах сухой степи Забайкалья: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук: 06.01.04 / Лапухин Тимофей Петрович. – Барнаул, 2000. – 32 с.

55. Личман Г.И. Оценка влияния качества внесения удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур / Г.И. Личман, А.А. Личман // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. – № 5. – С. 16–21.

56. Любушко Н.И. Зерновые сеялки на рубеже XXI века / Н.И. Любушко, В.К. Эволинский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – № 2. – С. 4–7.

57. Любушко Н.И. Посевные машины, применяемые в Канаде и США для почвозащитных технологий / Н.И. Любушко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1990. – № 7. – С. 44–45.

58. Любчик В.А. Прямой посев: проблемы и решения / В.А. Любчик // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – № 4. – С. 14–16.

59. Ма С.А. Стратегия развития механизации посева в XXI веке / С.А. Ма // Научные труды ВИМ. – Москва, 2000. – Т. 131: Механизация обработки почвы, посева применения удобрений. – С. 6–8.

60. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Москва: Наука, 1980. – 168 с.

61. Мищенко Л.Н. Диагностика и классификация почв Западной Сибири: учебное пособие / Л.Н. Мищенко, А.И. Семенкин, В.И. Убогов. – Омск: Омский государственный аграрный университет, 2002. – 67 с.

62. Моисейченко В.Ф. Основы научных исследований в агрономии / В.Ф. Моисейченко, М.Ф. Трифонова, А.Х. Заверюха, В.Е. Ещенко. – Москва: Колос, 1996. – 336 с.

63. Морозов Ю.Л. Методические основы формирования типовых требований на базовые машинные операции в растениеводстве и животноводстве / Ю.Л. Морозов, В.М. Андрианов // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2005. – № 77. – С. 20–27.

64. Морозов Ю.Л. Типовые требования к базовым машинным операциям при использовании их в технологических процессах производства продукции растениеводства / Ю.Л. Морозов, В.М. Андрианов; Российская академия сельскохозяйственных наук, Северо-Западный научно-методический центр,

Государственный научный институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – Санкт-Петербург: ГНУ СЗНИИМЭСХ, 2004. – 170 с.

65. Мударисов С.Г. Обзор параметров и моделей контактов для моделирования семян и гранулированных удобрений методами дискретных элементов / С.Г. Мударисов, А.М. Мухаметдинов, И.М. Фархутдинов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 197. – С. 58–85.

66. Мударисов С.Г. Обоснование конструктивно-технологических параметров комбинированного сошника экспериментальной сеялки для разноглубинного высева семян и удобрений и его энергетических показателей / С.Г. Мударисов, И.М. Фархутдинов, И.Ф. Гареев, В.Х. Имангулов // Пермский аграрный вестник. – 2025. – № 2(50). – С. 4–12.

67. Мударисов С.Г. Рабочий орган для разноуровневого внесения удобрений и посева семян / С.Г. Мударисов, Р.И. Аминов, И.М. Фархутдинов, А.М. Мухаметдинов // Сельский механизатор. – 2019. – № 5. – С. 8–9.

68. Мударисов С.Г. Результаты полевых экспериментов по энергетической и качественной оценке секции сеялки для посева по нулевой технологии / С.Г. Мударисов, И.М. Фархутдинов, Р.Ф. Юсупов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2(38). – С. 80–84.

69. Мухаметдинов А.М. Анализ современных технических средств для посева по почвозащитной технологии / А.М. Мухаметдинов, Р.И. Аминов // Совершенствование конструкции, эксплуатации и технического сервиса автотракторной и сельскохозяйственной техники: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 120-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки БАССР, профессора Александра Петровича Ланге, Уфа, 24–25 ноября 2016 года. – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2016. – С. 240–246.

70. Мухаметдинов А.М. Разработка комбинированного сошника для разноглубинного внесения удобрений и посева семян: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на

соискание ученой степени кандидата технических наук / Мухаметдинов Айрат Мидхатович. – Уфа, 2012. – 159 с.

71. Назаров Н.Н. Посевной рабочий орган для реализации бороздкового ленточного посева зерновых / Н.Н. Назаров, Н.С. Яковлев, В.И. Мяленко // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 5(252). – С. 56–63.

72. Назаров Н.Н. Технологическое и техническое обеспечение возделывания зерновых культур с внесением бактериальных удобрений: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Назаров Николай Николаевич. – Новосибирск, 2020. – 361 с.

73. Научное земледелие Сибири: события и люди: к 100-летию основания отдела земледелия СибНИИСХоза / В. С. Бойко, Л. В. Юшкевич, Н. А. Воронкова [и др.]; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр» (ФГБНУ «Омский АНЦ»). – Омск: ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», 2024. – 124 с.

74. Несмиян А.Ю. Тенденции и перспективы развития отечественной техники для посева зерновых культур / А.Ю. Несмиян, Ю.С. Ценч // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12, № 3. – С. 45–52.

75. Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – Москва: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с.

76. Патент на полезную модель № 204018 U1 Российская Федерация, МПК A01C 7/20. Сошник для разноуровневого посева семян и внесения удобрений: № 2021103251: заявл. 09.02.2021: опубл. 04.05.2021 / А. А. Кем, А. Н. Шмидт, М. С. Чекусов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Омский аграрный научный центр".

77. Патент на полезную модель № RU 161557 U1 Российская Федерация, МПК A01C 7/00. Сошник для разноуровневого высева семян и удобрений: № 2015137137/13, заявл. 2015.08.31: опубл. 2016.04.27 / В.И. Курдюмов, Г.Л.

Татаров; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П.А. Столыпина».

78. Патент на полезную модель № RU 186299 U1 Российская Федерация, МПК A01C 7/20. Сошник для разноуровневого высева семян и удобрений: № 2018128617, заявл. 2018.08.03: опубл. 2019.01.15 / Е.С. Зыкин, В.Е. Гаврилова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина».

79. Патент на полезную модель № RU 2538402C1 Российская Федерация, МПК A01C 7/20. Комбинированный сошник: № 2013135045/13: заявл. 2013.07.25: опубл. 2015.01.10 / Н.П. Ларюшин, В.Н. Кувайцев, А.В. Бучма, В.В. Шумаев, Т.А. Кирюхин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия».

80. Патент на полезную модель № RU 2670590 C1 Российская Федерация, МПК A01C 7/20. Сошник для посева семян и внесения удобрений: № 2017137890: заявл. 2017.10.30: опубл. 2018.10.23 / Н.М. Беспамятнова, С.И. Камбулов, А.А. Колинко, С.Г. Добровольская; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Аграрный научный центр «Донской».

81. Патент на полезную модель № RU 2728477 C1 Российская Федерация, МПК A01C 7/20. Сошник для разноуровневого высева семян и удобрений: № 2020101230, заявл. 2020.01.10: опубл. 2020.07.29 / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, С.А. Лазуткина, С.П. Албутов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина».

82. Планирование, программирование и прогнозирование урожая сельскохозяйственных культур / Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук имени В. И. Ленина. – Москва: ВАСХНИЛ, 1975. – 158 с.

83. Припоров Е.В. Параметры процесса распределения гранулированных минеральных удобрений и семян риса горизонтальным однодисковым центробежным аппаратом: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Припоров Евгений Владимирович. – Краснодар, 2003. – 143 с.

84. Прокопьев С.Н. Повышение эффективности посева зерновых совершенствованием сошниковой системы сеялки: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Прокопьев Сергей Николаевич. – Улан-Удэ, 2004. – 162 с.

85. Пущинская О.В. Обоснование параметров двухдискового сошника зерновой сеялки для равномерной заделки семян по глубине: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.06.01 / Пущинская Ольга Владимировна. – Москва, 1984. – 20 с.

86. Рабинович Г.Ю. Возделывание яровой пшеницы с применением различных схем удобрений / Г.Ю. Рабинович, Ю.Д. Смирнова, Н.А. Лукичева // Использование мелиорированных земель – современное состояние и перспективы развития мелиоративного земледелия: материалы Международной научно-практической конференции, ФГБНУ ВНИИМЗ. – Тверь: ФГБНУ ВНИИМЗ, 2015. – С. 33–37.

87. Раднаев Д.Н. Методологические основы разработки технологий и технических средств посева при возделывании зерновых культур в условиях Забайкалья: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Раднаев Даба Нимаевич. – Улан-Удэ, 2013. – 376 с.

88. Раднаев Д.Н. Обоснование технологии и параметров рабочего органа для посева зерновых в условиях сухостепной зоны Забайкалья: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Раднаев Даба Нимаевич. – Улан-Удэ: Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, 2002. – 229 с.

89. Рустембаев А.Б. Послойное внесение минеральных удобрений для степных сортов пшеницы Северного Казахстана / А.Б. Рустембаев, Д.З. Есхожин, С.О. Нукашев // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: материалы XVIII Международной научной конференции, Брянск, 24–25 мая 2021 года. Том Часть 1. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2021. – С. 130–136.

90. Сергеев Ю.А. Обоснование технологической схемы комбинированного сошника для посева семян зерновых культур и внесения удобрений / Ю.А. Сергеев, О.Г. Зими́на // Технология и технические средства в АПК: сборник научных трудов. Серия: Технология и технические средства в АПК. Выпуск 12. – Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2016. – С. 30–35.

91. Сергеев Ю.А. Совершенствование технологии и технических средств для обработки почвы и посева семян при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях Забайкалья: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Сергеев Юрий Антонович. – Улан-Удэ, 2009. – 248 с.

92. Сергеев Ю.А. Совершенствование технологии и технических средств для обработки почвы и посева семян при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях Забайкалья: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Сергеев Юрий Антонович. – Улан-Удэ, 2009. – 248 с.

93. Синеоков Г.И. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.И. Синеоков, И.М. Панов. – Москва: Машиностроение, 1977. – 328 с.

94. Система адаптивного земледелия Омской области / И. Ф. Храмцов, В. С. Бойко, Л. В. Юшкевич [и др.]; Министерство науки и высшего образования РФ, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Омской области, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр». – Омск: ИП Макшеевой Е. А., 2020. – 522 с.

95. Слесарев В.Н. Учитывать устойчивость почвы к механическому воздействию / В.Н. Слесарев // Земледелие. – 1985. – № 2. – С. 27–29.

96. Сляднев М.Н. Географические основы климатического районирования и опыт их применения на юго-востоке Западно-Сибирской равнины / М.Н. Сляднев // География Западной Сибири. – Новосибирск, 1965. – Т. 1. – С. 3–122.

97. Соболев И.М. Метод Монте-Карло: методическое пособие / И.М. Соболев. – Москва: Наука, 1968. – 62 с.

98. Стратегия и тактика исследований в земледелии на основе теории планирования эксперимента: методические рекомендации / РАСХН. Сибирское отделение; Подготовили: А.Я. Жеглер и др. – Новосибирск, 1999. – 110 с.

99. Сычевская И.Д. Планирование научного эксперимента / И.Д. Сычевская. – Москва: ЦНИИТЭИприборостроения, 1976. – 75 с.

100. Татаров Н.Т. К совершенствованию почвообрабатывающих и посевных машин для почвозащитной системы земледелия Республики Бурятия / Н.Т. Татаров, В.В. Ли // Агроинженерная наука: проблемы и перспективы развития: материалы Международной научно-практической конференции, Улан-Удэ, 8–12 июня 2005 года. – Улан-Удэ: Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, 2005. – С. 74–77.

101. Трубников В.Н. Совершенствование процесса высева семян сои вибрационным высевающим аппаратом: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Трубников Владимир Николаевич. – Курск, 2003. – 188 с.

102. Утенков Г.Л. Механико-технологическое обоснование параметров машинных технологий обработки почвы и посева зерновых культур / Г.Л. Утенков // Экология и сельскохозяйственная техника: материалы 4-й научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 25–26 мая 2005 года. Том 2. – Санкт-Петербург: Государственное научное учреждение Северо-Западный научно-исследовательский институт

механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук, 2005. – С. 134–140.

103. Фирсов М.М. Основные тенденции и прогноз развития машин для растениеводства / М.М. Фирсов, А.И. Черепахин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 3. – С. 36–39.

104. Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины / В.М. Халанский, И.В. Горбачев. – Москва: Колос, 2004. – 626 с.

105. Чекусов М.С. Полевые исследования работы комбинированного сошника / М.С. Чекусов, А.А. Кем, Е.М. Михальцов, А.Н. Шмидт // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2023. – № 1. – С. 77–80.

106. Шмидт А.Н. Исследование тягового сопротивления сошников стерневой сеялки СКП-2.1 / А.Н. Шмидт, А.А. Кем, Е.М. Михальцов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 9. – С. 160–165.

107. Яковлев Д.А. Энергетическая оценка сошников при работе посевных агрегатов в условиях различной влажности почвы степной зоны Сибири: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Яковлев Даниил Александрович. – 2022. – 142 с.

108. Яковлев Н.С. Влияние ширины культиваторных лап на качество обработки почвы / Н.С. Яковлев, Н.Н. Назаров, Ю.Н. Блынский // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 8 (142). – С. 156–162.

109. Яковлев Н.С. Качество обработки почвы в зависимости от размера культиваторных лап, скорости агрегата и влажности почвы / Н.С. Яковлев, А.П. Цегельник, В.И. Черных // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 1. – С. 73–81.

110. Яковлев Н.С. Рабочие органы посевных машин для возделывания зерновых культур / Н.С. Яковлев, Н.М. Иванов, Н.Н. Назаров, В.В. Маркин // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 10. – С. 76–80.

\* \* \*

111. Astafyev V. Effectiveness Assessment of Methods for Moisture Accumulation During Winter Precipitation in the Arid Steppe of Northern Kazakhstan / V. Astafyev, P.

Ivanchenko, V. Kirkilevskiy // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 12. – Special Issue 4. – P. 6821–6826.

112. Baeumer K. Bodenbearbeitung mit reduziertem Aufwand. Acker – und Pflanzenbauliche Gesichtspunkte / K. Baeumer // Landtechnik von Morgen. – 1986. – Vol. 24.

113. Chekusov M., Schmidt, A., Kem, A. Agrotechnical Assessment of the Work of the Furrow Opener During the Cultivation of Cereals Using Intensive Technology / M. Chekusov, A. Schmidt, A. Kem // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol. 353 LNNS. – P. 160 – 173.

114. Chen Y. Simulation of soil dynamic properties of a seed opener using the discrete element method (DEM) / Y. Chen, Q. Gao, H. Zhou, M. A. Sadek // Agricultural Engineering International: CIGR Journal. – 2015. – Vol. 17, № 3.

115. Comparison of the Use of TxDOT Seeding Mixes and Fertilizer Rates to the Use of Native Grass / Technical report. – Texas Transportation Institute, Texas A & M University System, 2007. – 58 p.

116. Dutzi Dr. S. Auswirkungen von Bodenbearbeitungs- und Satechnikstrategien auf ackerbauliche, bodenkundliche und ökonomische Parameter in fruchtfolgebezogenen Dauerversuchen / Dr. S. Dutzi. – Dissertation, Hohenheim, 2006.

117. Fertilizer Use Under Multiple Cropping Systems: Report of an Expert Consultation Held in New Delhi, 3–6 February 1982 / Food & Agriculture Organization. – 1983. – 210 p.

118. Gowariker, V. The Fertilizer Encyclopedia / V. Gowariker, V. N. Krishnamurthy, S. Gowariker, M. Dhanorkar, K. Paranjape. – John Wiley & Sons, 2009. – 872 p.

119. Harker K. N. Seeding depth and seeding speed effects on no-till canola emergence, maturity, yield and seed quality / K. N. Harker, J. T. O'Donovan, R. E. Blackshaw, E. N. Johnson, G. P. Lafond, W. E. May // Canadian Journal of Plant Science. – 2012. – Vol. 92, № 4. – P. 795–802.

120. Hasim A., Chen, Y. Soil disturbance and draft force of selected seed openers / A. Hasim, Y. Chen // Soil and Tillage Research. – 2014. – Vol. 140. – P. 48–54.

121. Kochs H. J. Höhere Erträge durch verbesserte Drilltechnik / H. J. Kochs // DLG-Mitteilungen. – 1979. – Vol. 94, № 4.

122. Kochs H. J. Umdenken bei der Getreidesaat / H. J. Kochs // RKL-Tagung. – 1986.

123. Solhjou A. Soil translocation by narrow openers with various blade face geometries / A. Solhjou, J. M. A. Desbiolles, J. M. Fielke // Biosystems Engineering. – 2013. – Vol. 134, № 3. – P. 259–266.

124. Vamerali, T. Effects of a new wide-sweep opener for no-till planter on seed zone properties and root establishment in maize (*Zea mays*, L.): A comparison with double-disk opener / T. Vamerali, M. Bertocco, L. Sartori // Soil and Tillage Research. – 2006. – Vol. 89. – P. 196–209.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

**№ 204018****СОШНИК ДЛЯ РАЗНОУРОВНЕВОГО ПОСЕВА  
СЕМЯН И ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение "Омский аграрный научный центр"*  
(ФГБНУ "Омский АНЦ") (RU)

Авторы: *Кем Александр Александрович (RU), Шмидт Андрей  
Николаевич (RU), Чекусов Максим Сергеевич (RU), Козлов  
Владимир Валентинович (RU), Паришкова Наталья  
Алексеевна (RU), Бозаджиев Леонид Валентинович (RU)*

Заявка № 2021103251

Приоритет полезной модели 09 февраля 2021 г.

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре полезных  
моделей Российской Федерации 04 мая 2021 г.Срок действия исключительного права  
на полезную модель истекает 09 февраля 2031 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Налиев



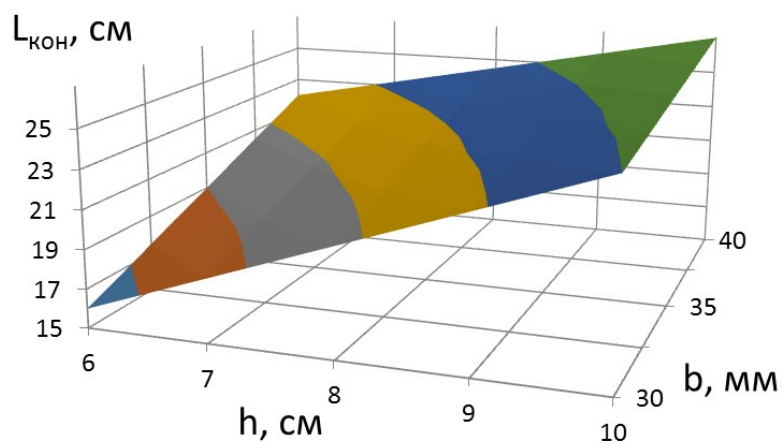
Таблица – Расчетные значения величины почвенной прослойки  $h_{\text{просл}}$ , при теоретически задаваемых параметрах длины установки  $L_{\text{сем}}$  и высоты  $H_{\text{сем}}$  семянаправителя

| Длина<br>установки<br>Семянаправи-<br>теля<br>$L_{\text{сем}}$ , см  | 8   |     |     | 10  |     |     | 12  |     |     | 14  |     |     | 16  |     |     | 18  |     |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Высота<br>установки<br>семянаправи-<br>теля<br>$H_{\text{сем}}$ , см | 4   | 6   | 8   | 4   | 6   | 8   | 4   | 6   | 8   | 4   | 6   | 8   | 4   | 6   | 8   | 4   | 6   | 8   |
| Величина<br>почвенной<br>прослойки<br>$h_{\text{просл}}$ , см        | 2,1 | 3,1 | 4,2 | 2,6 | 3,9 | 5,2 | 3,1 | 4,7 | 6,3 | 3,7 | 5,5 | 7,4 | 4,2 | 6,3 | 8,4 | 4,7 | 7,1 | 9,5 |

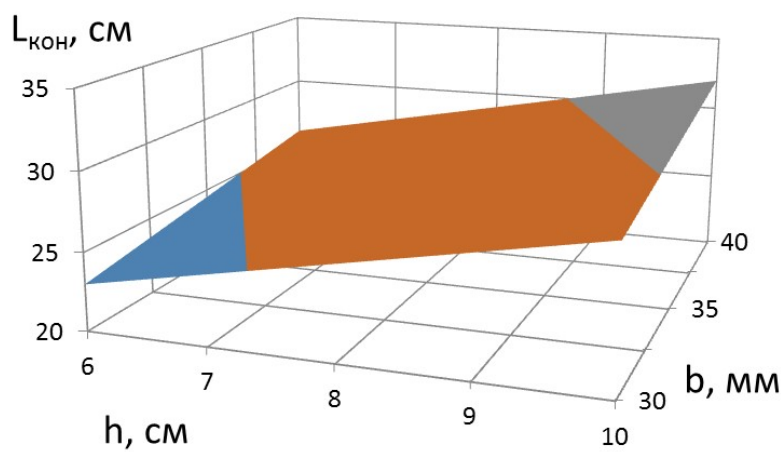
Таблица – Значения начала и завершения осыпания почвы

| Показатель                                      | Значение показателя |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------------------------------|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Толщина стойки,<br>$B$ , мм                     | 30                  |    |    |    |    |    |    |    |    | 35 |    |    |    |    |    |    |    |    | 40 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Глубина хода<br>стойки,<br>$H$ , см             | 6                   |    |    | 8  |    |    | 10 |    |    | 6  |    |    | 8  |    |    | 10 |    |    | 6  |    |    | 8  |    |    | 10 |    |    |
| Скорость<br>движения, $V$ , км/ч                | 7                   | 9  | 11 | 7  | 9  | 11 | 7  | 9  | 11 | 7  | 9  | 11 | 7  | 9  | 11 | 7  | 9  | 11 | 7  | 9  | 11 | 7  | 9  | 11 | 7  | 9  | 11 |
| Начало осыпания<br>почвы,<br>$L_{нач}$ , см     | 4                   | 5  | 7  | 5  | 6  | 7  | 6  | 7  | 8  | 5  | 6  | 7  | 5  | 7  | 8  | 5  | 7  | 9  | 6  | 7  | 9  | 7  | 8  | 10 | 7  | 10 | 12 |
| Завершение<br>осыпания почвы,<br>$L_{кон}$ , см | 25                  | 30 | 35 | 19 | 27 | 31 | 25 | 30 | 33 | 22 | 25 | 30 | 22 | 26 | 30 | 25 | 27 | 31 | 22 | 25 | 30 | 25 | 30 | 34 | 27 | 33 | 37 |

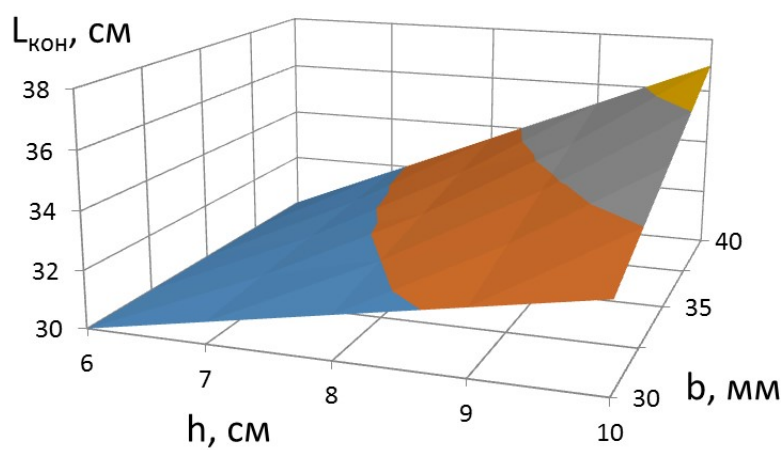
Поверхности отклика конца закрытия борозды  $L_{\text{кон}}$ .



а



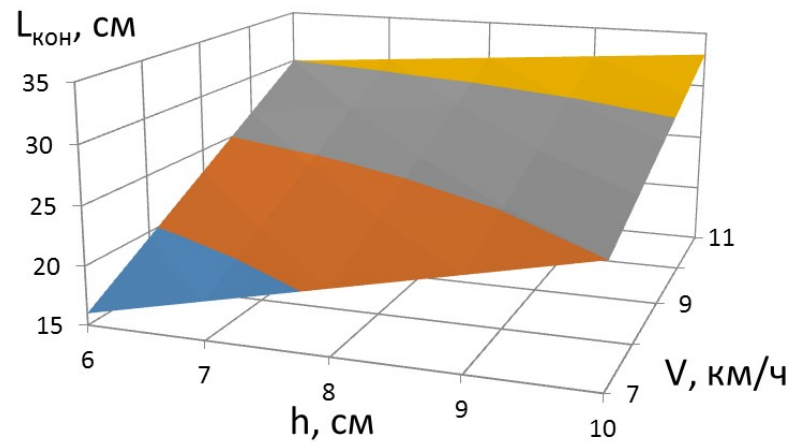
б



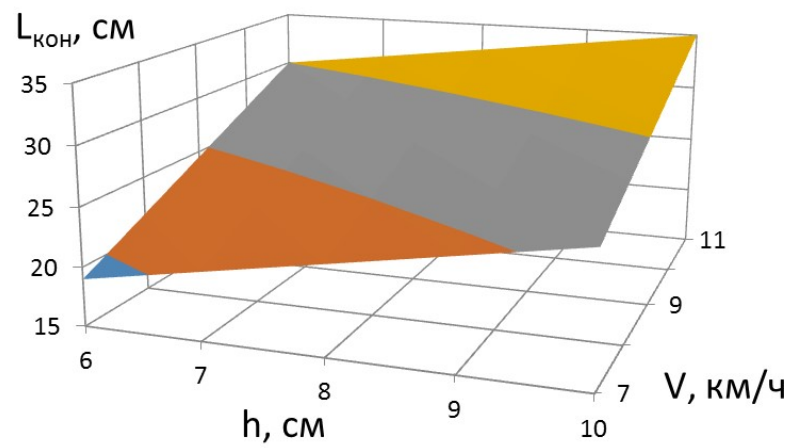
в

Поверхности отклика  $L_{\text{кон}} = f(b, h)$  при постоянной скорости движения МТА:

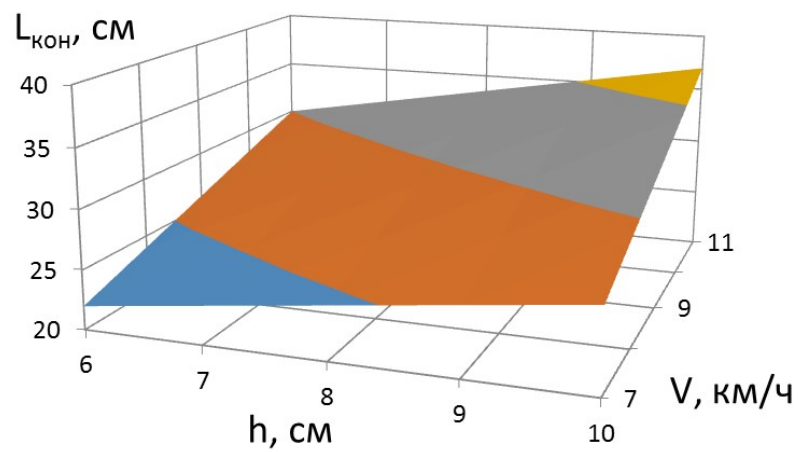
а – 7 км/ч, б – 9 км/ч, в – 11 км/ч



а



б

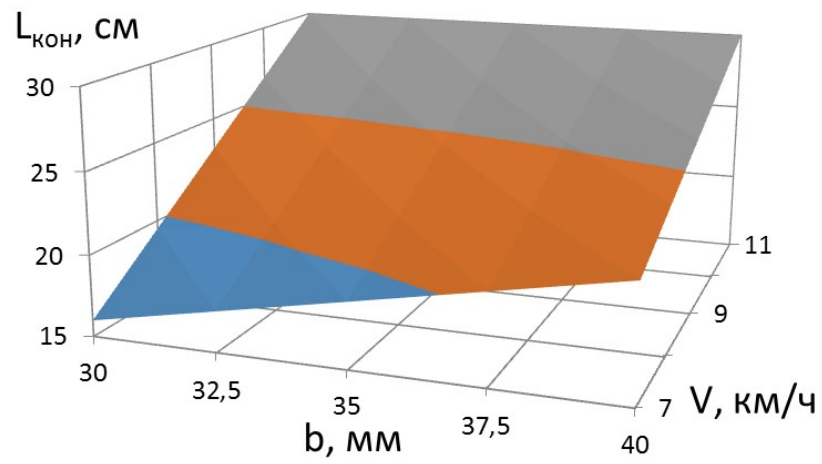


в

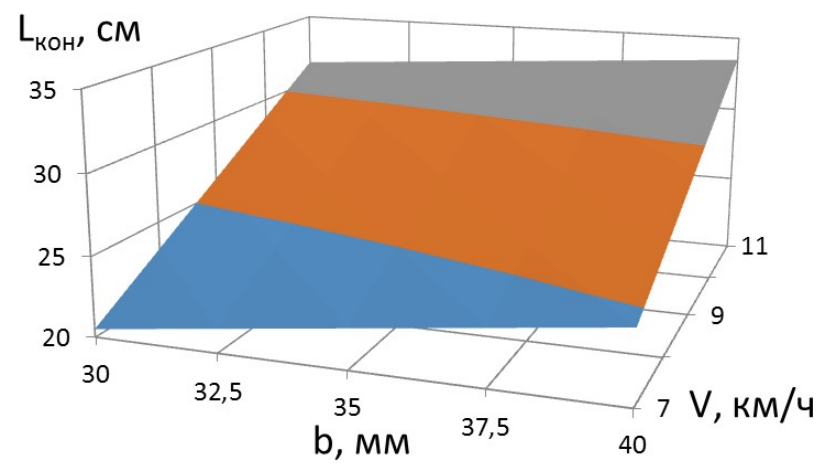
Поверхности отклика  $L_{кон} = f(V, h)$  при постоянной ширине стойки:

а – 30 мм, б – 35 мм, в – 40 мм

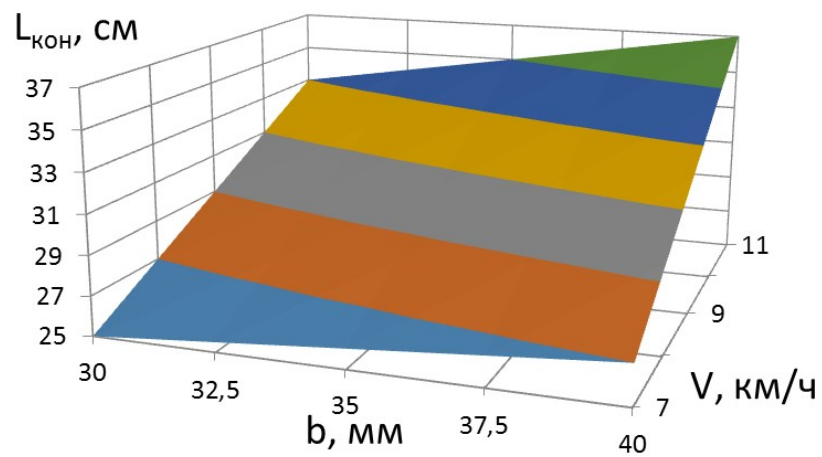
125



а



б

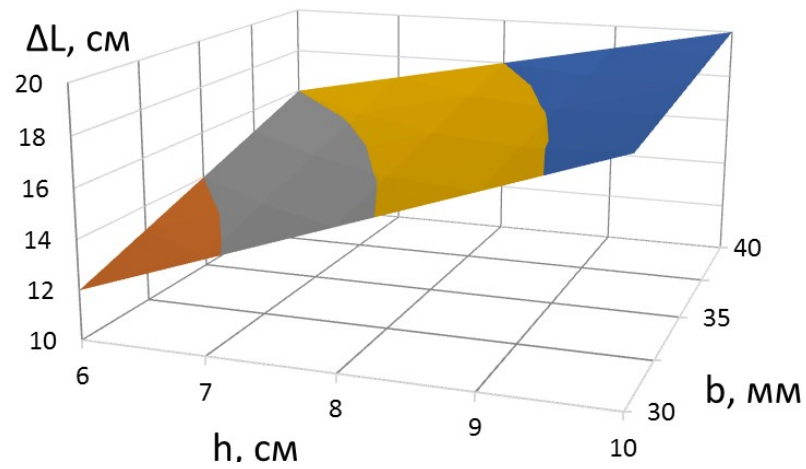


в

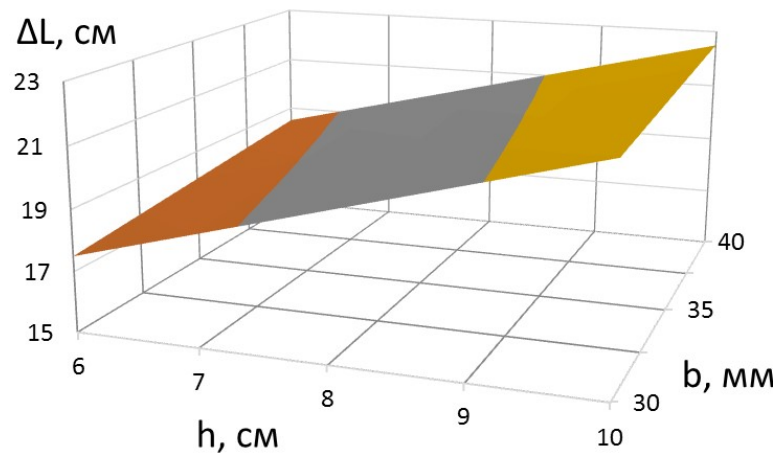
Поверхности отклика  $L_{кон} = f(V, b)$  при постоянной глубине посева:

а – 6 см, б – 8 см, в – 10 см

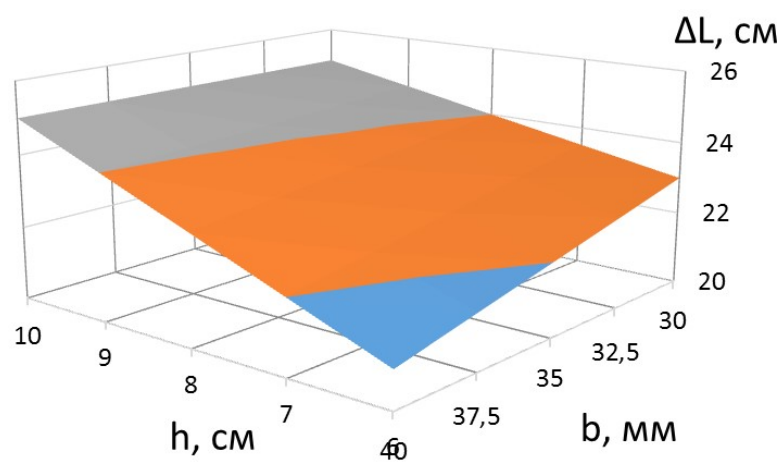
Поверхности отклика длины закрытия борозды  $\Delta L$ .



а

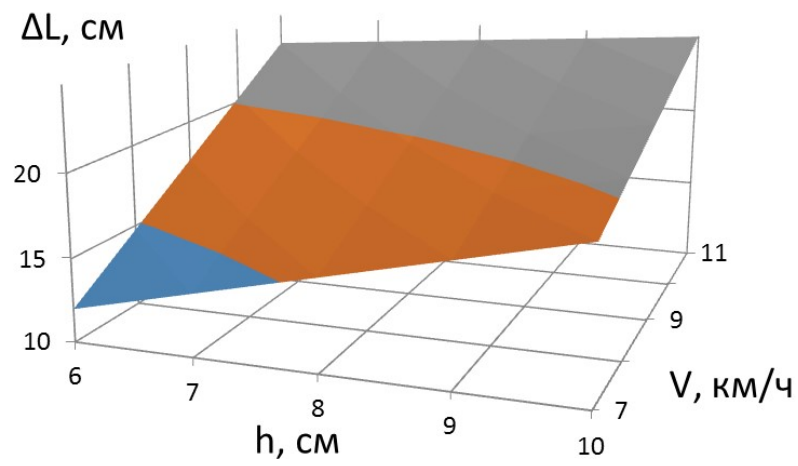


б

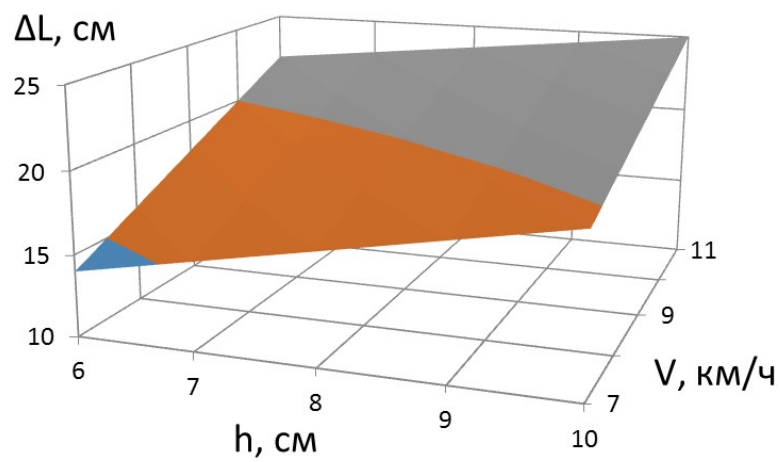


в

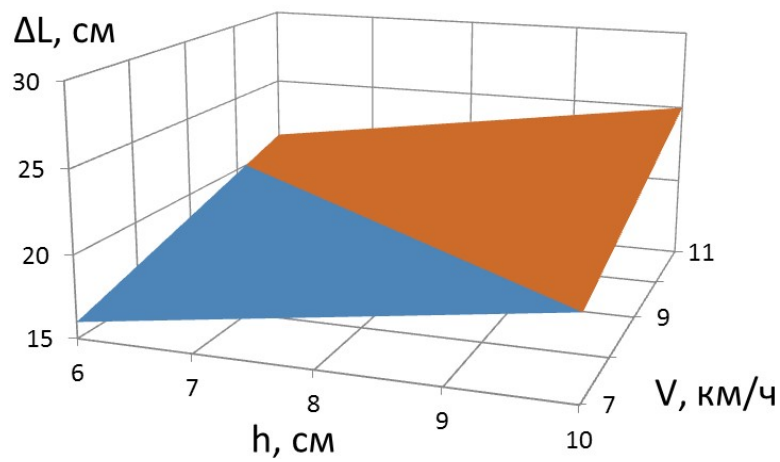
Поверхности отклика  $\Delta L = f(b, h)$  при постоянной скорости движения МТА: а – 7 км/ч, б – 9 км/ч, в – 11 км/ч.



а



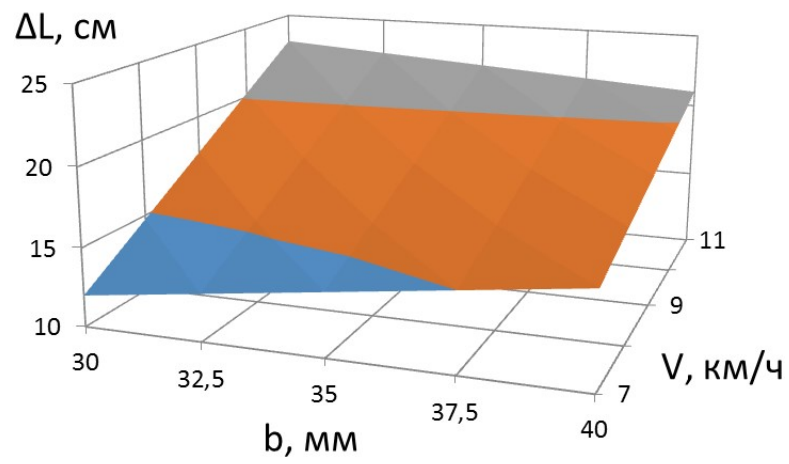
б



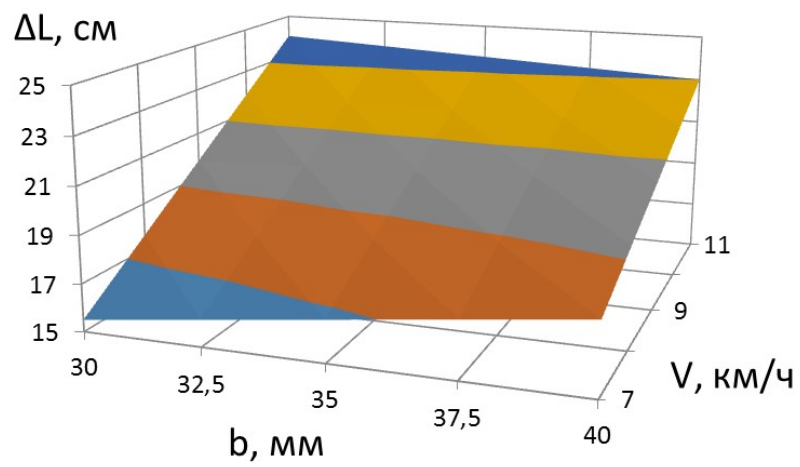
в

Поверхности отклика  $\Delta L = f(V, h)$  при постоянной ширине стойки:

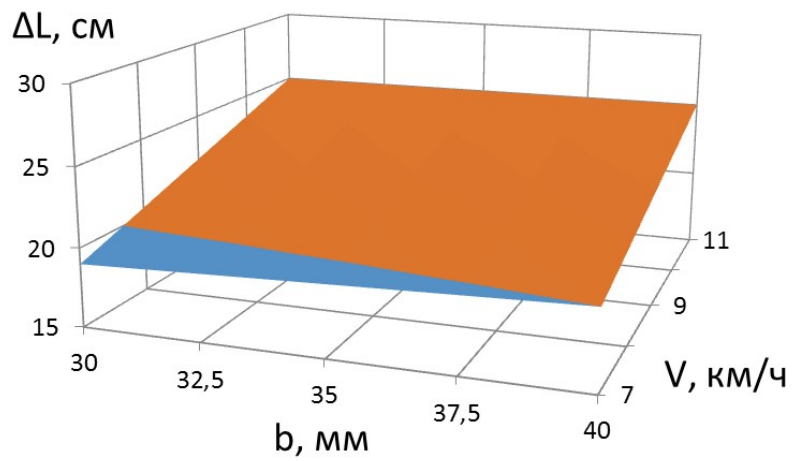
а – 30 мм, б – 35 мм, в – 40 мм.



а



б



в

Поверхности отклика  $\Delta L = f(V, b)$  при постоянной глубине посева:

а – 6 см, б – 8 см, в – 10 см.

Программа на языке Python по нахождению постоянных коэффициентов в уравнении – величина почвенной прослойки.

```
python -m pip install statsmodels;
import numpy as np;
import pandas as pd;
import statsmodels.api as sm.
# Входные данные
data = {
    'l_sem': [8, 8, 8, 10, 10, 10, 12, 12, 12, 14, 14, 14, 16, 16, 16, 18, 18, 18],
    'h_sem': [4, 6, 8, 4, 6, 8, 4, 6, 8, 4, 6, 8, 4, 6, 8, 4, 6, 8],
    'h_prosl': [1, 1.5, 6.5, 1.5, 5, 7, 2.5, 6, 8, 4, 6, 8, 4, 6, 8, 4, 6, 8]
}
# Преобразование в DataFrame
df = pd.DataFrame(data)
# Зависимая переменная
Y = df['h_prosl']
# Независимые переменные
X = df[['l_sem', 'h_sem']]
# Добавление константы для регрессии
X = sm.add_constant(X)
# Построение модели
model = sm.OLS(Y, X).fit()
# Получение коэффициентов
coefficients = model.params
print(coefficients)
```

Запустив этот код, получаем точные значения коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$ :

Const – -5.672619;  $L_{\text{сем}}$  – 0.285714;  $h_{\text{сем}}$  – 1.187500.

Они представлены в виде:  $\text{const}=a$ ;  $L_{\text{сем}} = b$ ;  $h_{\text{сем}} = c$ .

Анализ в программе Python с использованием библиотеки statsmodels:

```
import statsmodels.api as sm
import pandas as pd
# Входные данные
data = {
    'L_sem': [8, 8, 8, 10, 10, 10, 12, 12, 12, 14, 14, 14, 16, 16, 16, 18, 18, 18],
    'h_sem': [4, 6, 8, 4, 6, 8, 4, 6, 8, 4, 6, 8, 4, 6, 8, 4, 6, 8],
    'h_prosl': [1, 1.5, 6.5, 1.5, 5, 7, 2.5, 6, 8, 4, 6, 8, 4, 6, 8, 4, 6, 8]
}
df = pd.DataFrame(data)
# Добавляем константный столбец для модели
X = sm.add_constant(df[['l_sem', 'h_sem']])
y = df['h_prosl']
# Строим модель
model = sm.OLS(y, X).fit()
# Печатаем результаты
print(model.summary())
```

#### Результаты регрессии OLS

Зависимая переменная: h\_prosl

R-квадрат: 0,888

Модель: OLS

Adj. R-квадрат: 0,873

Метод: наименьшие квадраты

F-статистика: 59,63

Дата: вт, 10 дек. 2024 г.

Вероятность (F-статистика): 7,26e-08

Время: 21:20:40

Логарифм правдоподобия: -20,834

Количество наблюдений: 18

AIC: 47,67

Остатки Df: 15

BIC: 50,34

Модель Df: 2

Тип ковариации: неробастный

|              | <b>coef</b> | <b>std err</b> | <b>t</b> | <b>P&gt; t </b> | <b>[0,025</b> | <b>0,975]</b> |
|--------------|-------------|----------------|----------|-----------------|---------------|---------------|
| <b>Const</b> | -5,6726     | 1,070          | -5,300   | 0,000           | -7,954        | -3,391        |
| <b>L_sem</b> | 0,2857      | 0,058          | 4,909    | 0,000           | 0,162         | 0,410         |
| <b>h_sem</b> | 1,1875      | 0,122          | 9,755    | 0,000           | 0,928         | 1,447         |

Омнибус: 8,800

Дурбин-Уотсон: 1,400

Prob(Omnibus): 0,012

Jarque-Bera (JB): 5,794

Skew: -1,133

Prob(JB): 0,0552

Kurtosis: 4,609

Cond. No. 79,4



«14» июня 2024г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор ООО «Ом-Сельмаш»

Трофимов К.В.

АКТ

Внедрения научно-технической разработки

по теме научных исследований: «Обоснование параметров комбинированного сошника для посева зерновых культур с разноуровневым внесением минеральных удобрений»

Настоящий акт о внедрении свидетельствует, что патент на полезную модель № 204018 «Сошник для разноуровневого посева семян и внесения удобрений», разработанный Шмидт Андреем Николаевичем, аспирантом ФГБОУ ВО «Омского ГАУ», под руководством Чекусова Максима Сергеевича, кандидат технических наук, доцента кафедры агроинженерии, внедрен в производство ООО «Ом-Сельмаш» и устанавливается по заявке заказчиков на сеялку-культиватор СКП-2.1.

Научно-техническая разработка «Сошник для разноуровневого посева семян и внесения удобрений» прошла производственные испытания на опытных полях ФГБНУ «Омского АНЦ» и показала прибавку урожайности 11,5%. По результатам тензометрирования, проведенных ФГБУ «Сибирская МИС», снижение тягового сопротивления разработанного сошника составило от 13 % до 33 % в зависимости от выбранных режимов работы, в сравнении с сошником СКП 01.08.000СБ.

Представители университета:

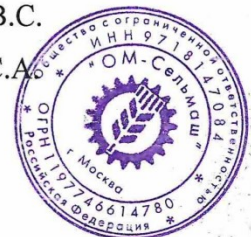
М.С. Чекусов

А.Н. Шмидт

Представители предприятия:

Перин В.С.

Бугаев С.А.





УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной  
деятельности

ФГБОУ ВО Омский ГАУ

С.Ю. Комарова  
«16» 04 2024г.

АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы

Шмидта Андрея Николаевича в учебный процесс

Мы, ниже подписавшиеся, председатель комиссии: декан факультета технического сервиса в АПК, канд. техн. наук, доцент Е.В. Демчук, заведующий кафедрой агроинженерии, канд. техн. наук, доцент В.В. Мяло, ответственный по научно-исследовательской работе, канд. техн. наук, доцент кафедры агроинженерии А.С. Союнов, председатель методической комиссии по направлению подготовки 35.03.06 – Агроинженерия, старший преподаватель кафедры агроинженерии А.Г. Кулаева составили настоящий акт о том, что в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» внедрены результаты научно-исследовательской работы, выполненной А.Н. Шмидтом в рамках диссертационных исследований на тему: «Комбинированный сошник для разноуровневого посева зерновых культур и внесения минеральных удобрений».

Результаты работы используются в учебном процессе кафедры агроинженерии при преподавании дисциплины «Машины и оборудование в растениеводстве».

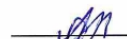
Декан факультета ТС в АПК к.т.н, доцент

 Е.В. Демчук

Зав. кафедрой агроинженерии к.т.н, доцент

 В.В. Мяло

Ответственный по научно-исследовательской работе, к.т.н, доцент

 А.С. Союнов

Председатель методической комиссии, ст преподаватель

 А.Г. Кулаева