

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А.КОСТЫЧЕВА»**

*На правах рукописи*



**ЮМАЕВ ДМИТРИЙ МИХАЙЛОВИЧ**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОШНИКА СЕЯЛКИ**

**Диссертация**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Специальность 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агро-  
промышленного комплекса

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

***Рембалович Георгий Константинович***

Рязань – 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Состояние рассматриваемого вопроса	8
1.1 Технологические особенности внесения минеральных удобрений	8
1.2 Показатели и характеристики машин для внесения жидких удобрений	22
1.3 Анализ параметров и показателей работы форсунок-распылителей, применяемых при внесении жидких удобрений	29
1.4 Анализ сошников сеялок с возможностью внесения жидких минеральных удобрений	33
1.5 Анализ выполненных исследований	37
1.6 Постановка задач исследований	40
2 Теоретическое обоснование параметров ФРЭФОСС	42
2.1 Конструктивно-технологическая схема ФРЭФОСС в рядок при севе семян	42
2.2 Теоретическое обоснование параметров ФРЭФОСС (сошника)	45
2.3 Теоретические исследования параметров ФРЭФОСС для внесения жидких минеральных удобрений	60
Выводы по главе 2	64
3 Экспериментальное обоснование параметров сошника сеялки	65
3.1 Программа лабораторного исследования	65
3.2 Методика экспериментальных исследований параметров ФРЭФОСС	65
3.3 Результаты экспериментальных исследований параметров ФРЭФОСС	75
Выводы по главе 3	78
4 Результаты внедрения и оценка экономического эффекта от технического средства, оснащенного ФРЭФОСС	79
4.1 Условия проведения и методика полевых исследований	79

4.2 Результаты полевых исследований	82
4.3 Экономический эффект от внедрения сеялки УР 825А с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений	84
Выводы по главе 4	91
Заключение	92
Перспективы дальнейшей разработки темы	93
Рекомендации к производству	93
Библиографический список	94
Приложение	122

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Продовольственные проблемы занимают важнейшее место в экономике России. Общеизвестным является факт, что стабильность урожая возможна с использованием определенных методик посева и посадки, соблюдения правил выращивания сельскохозяйственных культур со своевременным внесением различных типов удобрений. В связи с принятием Постановления Правительства РФ от 31.05.2019 N 696 (ред. от 10.07.2020)"Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Комплексное развитие сельских территорий" и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации", наблюдается активное восстановление сельскохозяйственных земель для дальнейшего выращивания на них сельскохозяйственных культур. «Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации» (Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. №20) одним из важнейших вызовов отмечает технологические риски, вызванные возможным «отставанием от развитых стран в уровне технологического развития производственной базы». В условиях необходимости обеспечения продовольственной безопасности импортозамещение необходимо не только при приобретении техники, но и в рамках технического сервиса. Выходящие из строя импортные узлы и детали должны своевременно заменяться на новые запасные части отечественного производства, с более низкой стоимостью, но с сопоставимыми или превышающими импортные аналоги техническими характеристиками. Это в полной мере относится и к технике для растениеводства, в частности, посевным комплексам, их деталям и сборочным единицам. Таким образом, совершенствование технических средств внесения жидких минеральных удобрений при посеве в условиях импортозамещения является актуальной научно-технической задачей.

**Степень разработанности темы.** Исследованиями и разработкой технологий и технических средств для внесения жидких минеральных удобрений, в том числе при посеве, занимались Б. Х. Ахалая, В.Е. Бердышев,

И.Х. Гайфуллин, В.М. Дринча, А.В. Ещин, Б.Г. Зиганшин, Б.Л. Иванов, А.Ю. Измайлов, М.Ю. Костенко, Н.П. Крючин, В.И. Курдюмов, С.А. Кшникаткин, Н.П. Ларюшин, Г.И. Личман, А.В. Мачнев, Н.А. Мищенко, Г.К. Рембалович, М.С. Сигида., С.И. Старовойтов, И.А. Успенский, В.Ф. Федоренко, и др., а также ряд зарубежных исследователей: Daschiel G., Frohnafel B., Jovanović J., DeGiorgi M.G., Ficarella A., и др. С появлением новых материалов и подходов к проектированию современных технических средств для АПК необходимо продолжить исследования в этой области.

Работа выполнена в соответствии с основными направлениями НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021...2025 гг., тема «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве. Перспективы развития сельских территорий» (№ гос.рег. 122020200038-8).

**Цель исследования** - обоснование параметров сошника сеялки с форсункой-распылителем для внесения жидких минеральных удобрений при посеве.

**Объект исследования.** Процесс внесения жидких минеральных удобрений при посеве.

**Предмет исследования.** Закономерности внесения жидких минеральных удобрений при посеве.

**Научная новизна работы** заключается в установлении аналитических зависимостей, описывающих влияние параметров форсунки-распылителя эллипсоидной формы отверстия сошника сеялки (далее ФРЭФОСС) на энергозатраты и равномерность распределения жидкости при внесении жидких минеральных удобрений.

**Теоретическая значимость работы** заключается в обосновании рациональных параметров ФРЭФОСС.

**Практическая значимость работы** заключается в результатах исследования влияния разработанных ФРЭФОСС на показатели работы

пропашных сеялок с возможностью внесения жидких минеральных удобрений.

**Методология и методы исследования.** Исследования проводились в соответствии с основами теоретической механики, теории вероятности, сопротивления материалов и математической статистики. Экспериментальные исследования проводили на основе планов многофакторного эксперимента. Анализ полученных данных выполнялся с помощью программ «STATISTICA», «MicrosoftExcel» и «MathCAD». Лабораторно-полевые исследования проводили согласно ГОСТ 33686-2015.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Обоснованные параметры сошника сеялки с ФРЭФОСС для внесения жидких минеральных удобрений при севе.
2. Оценка влияния параметров сошника сеялки с ФРЭФОСС на равномерность внесения жидких минеральных удобрений.
3. Техничко-экономический эффект применения модернизированной сеялки.

**Достоверность результатов.** Достаточная сходимость результатов теоретических и лабораторных исследований (расхождение составило менее 5%), а также положительные результаты апробации, подтвердили основные положения диссертации.

**Реализация результатов исследования.**

На основании исследований были изготовлены опытные образцы форсунки-распылителя, которыми оборудована пропашная сеялка Great Plains UP 825A (КФХ «Гусев Е.А.», с. Черная речка Сапожковского района Рязанской области), прошедшие экспериментальные исследования в 2021-2022 г.

**Вклад автора в решение поставленных задач** состоит в постановке задач научных исследований, участии в проведении теоретических исследований, разработке программы и проведении экспериментальных исследований, обработке результатов экспериментов усовершенствованной

сеялки Great Plains YP 825A, апробации результатов исследования, подготовке публикаций по выполненной работе.

**Апробация работы:** Результаты работы были рассмотрены на конференциях:

1 Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти члена-корреспондента РАСХН и НАНКС академиком МАЭП и РАВН Бочкарева Я.В. , Рязань, 09 декабря 2020 года. ФГБОУ ВО РГАТУ.

2. 72-я международная научно-практическая конференция, Рязань, 20 апреля 2021 года. ФГБОУ ВО РГАТУ.

3. II Национальная научно-практическая конференция с международным участием, посвященной памяти доктора техн. наук, профессора Н.В. Бышова, Рязань, 24 ноября 2022 года. ФГБОУ ВО РГАТУ.

4. Всероссийская научно-практическая конференция "Инновационные решения для АПК"Рязань, 16 февраля 2023 года. ФГБОУ ВО РГАТУ.

**Публикации по теме диссертации.** Основные положения диссертации опубликованы в 9 научных работах, из них 4 статьи в источниках, включенных в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» ВАК РФ. Общий объем публикаций составил 3,44 п.л., из них лично соискателю принадлежит 2,4 п.л.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, выводов, заключения. Она изложена на 126 страницах машинописного текста с приложениями, содержит 45 рисунков, 11 таблиц, список литературы из 162 наименований.

## ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ РАССМАТРИВАЕМОГО ВОПРОСА

### 1.1 Технологические особенности внесения минеральных удобрений

В настоящее время, чтобы достичь хорошей урожайности, необходимо не только проводить мероприятия по уходу за культурами и почвой, но и обеспечить растения питательными веществами.[3] Концентрация этих веществ в почве напрямую зависит от своевременного внесения различных удобрений. Для того, чтобы процесс внесения удобрений обеспечивал максимальную эффективность, необходимо придерживаться особых сроков. Время внесения удобрений зависит от выращиваемой культуры и от самой почвы. [122].

Критический период—период, составляющий 10 - 15 дней после прорастания растений, то есть после начала вегетации. Между тем, если растению не хватает питательных веществ, это отрицательно сказывается на его росте. Эффект не будет исправлен в дальнейшем даже при оптимизации питания. На ранних стадиях развития растения недостаток калия, к примеру, снижает урожайность, на более поздних стадиях улучшение питания калием позволяет незначительно скорректировать негативный эффект. [78, 79]

Недостаток фосфора и азота проявляется в самом начале весны, в это время года снижается минерализация органического содержания вещества почвы, так как активность микроорганизмов понижается за счет падения температуры.

Максимальный период - период в рационе растений, при котором потребление питательных веществ за сутки имеет наивысшее значение.

Урожайность культур во многом зависит также от правильного выбора способа и технологии выполнения процесса внесения удобрений. [86]

Существует несколько способов внесения удобрений:

- основное;
- припосевное;

- подкормка.

Физиологические потребности сельскохозяйственных культур в элементах питания являются основой при расчетах норм удобрений. [52]

Для создания оптимального режима питания следует сочетать все возможные приемы внесения удобрений в процессе вегетации. Только в этом случае, реализация потенциала растений по количеству и качеству урожая будет реализовываться в полной мере.[87]

При внесении удобрений в период засухи или в условиях засушливого климата общая доза не разделяется на подкормку и основную часть, в виду того, что это невыгодно, как по экономическим, так и по агрономическим показателям. [29]

Существует несколько способов заделки удобрений, такие как:

- **Сплошной (разбросной)** подразумевает разбрасывание удобрений по поверхности полей и последующее их заделывание в почву. Этот способ обеспечивает равномерное распределение удобрений по поверхности, что позволяет растениям получать необходимые питательные вещества. [4]

- **Рядковый способ** заключается во внесении удобрений на ранних стадиях развития растений, когда они только начинают прорастать и до проклевывания. Это позволяет удобрениям попадать вблизи корневой системы растений, что способствует более эффективному усвоению питательных веществ. Обычно на долю припосадочных подкормок (внесение удобрений на поверхность или вблизи растений) приходится до 10% от общей нормы удобрений.[25]

- **Полосовой способ** подразумевает внесение удобрений в почву при обработке почвы сразу после рыхления. Сеялка точного высева, оснащенная механизмом внесения удобрения, вносит стартовую дозу удобрения в почву вблизи посевного ряда. Этот способ обеспечивает более точное и эффективное внесение удобрений, так как они попадают вблизи растений и могут быть лучше усвоены корнями [140, 141].

- **Ленточный способ** - это способ, при котором удобрение размещается узкими полосами (лентами). Ленты могут располагаться на поверхности почвы или на определенной глубине.[26]

- **Дифференцированное внесение** – способ, при котором внесение удобрений позволяет учесть особенности каждого участка поля и предоставить растениям необходимое количество питательных веществ в зависимости от его потребности.[17, 91]

Внесение основных удобрений осенью позволяет удовлетворить потребности растений в органических и фосфорно-калийных элементах, которые играют важную роль в формировании корневой системы и развитии плодов. Внесение азотных удобрений весной перед посевом или в начале вегетации растений обеспечивает активный рост и развитие надземной массы растений.[72]

Для более эффективного использования удобрений рекомендуется проводить их локальное или ленточное внесение.[135] При таком способе удобрения фиксируются ближе к корневой системе растений и имеют более быстрый доступ к ним [14]. Это помогает повысить коэффициент использования удобрений и уменьшить их потери за счет испарения или фиксации в почве.

Весь процесс внесения удобрений должен проводиться с учетом содержания питательных элементов в почве и их доступности для растений, а также с учетом потребностей конкретного вида культуры и условий вегетации [92]. Это позволяет максимально эффективно использовать удобрения и достичь оптимальных показателей урожайности и качества продукции.

В северных районах, где климат усложняет весеннюю подготовку почвы, удобрения вносят осенью, перед зимней заделкой почвы. Это позволяет улучшить структуру почвы, уменьшить эрозию и обеспечить растения питательными веществами на ранней стадии развития [153].

В засушливых районах, где ограничен доступ к воде, рекомендуется использовать технологии экономии воды, такие как точное орошение или капельное орошение. В таких условиях следует учитывать особенности почвы и культуры, чтобы удобрения были эффективно использованы [162].

Важно также правильно выбрать удобрения, учитывая их состав и дозировку. Некоторые культуры могут быть более требовательны к определенным питательным элементам, поэтому следует учесть этот факт при их внесении. Также стоит учитывать физико-химические свойства почвы, чтобы избежать ее перенасыщения или недообеспечения питательными веществами.[30, 31]

Все эти факторы должны быть учтены при планировании удобрений и их внесении для обеспечения оптимального соотношения питательных элементов для растений, что приведет к повышению урожайности и качества продукции [154].

Зависимость периода внесения от свойств почвы определяется её гранулометрическим составом. Если почва в избыточной мере напитана влагой, то слой, в котором содержатся питательные вещества, будет размываться, и такие элементы, как азот, не попадут в область развития корневой системы. Вследствие этого, внесение азотных удобрений проводится, как правило, весной. [158]

Локальное внесение является эффективным типом заделки удобрений. Осуществляют рассматриваемый способ с помощью лент или шнуров непосредственно к дну борозды. Ленты располагаются вблизи корней растений. Это позволяет обеспечить более точное распределение удобрений, исключая их недостаточное смешивание с почвой. Благодаря этому, удобрения находятся непосредственно возле питающей части корневой системы, что способствует более эффективному их использованию растениями. Особенно важно это для фосфорных удобрений, так как фосфор имеет низкую мобильность в почве и не способен долгое время переходить в доступную для растений форму. При ленточном внесении удобрений

фосфорные удобрения имеют меньший контакт с почвой, в результате чего формирование труднорастворимых фосфатов кальция происходит в меньшей степени. Это позволяет фосфатам полнее усваиваться растениями, так как они находятся ближе к корням и в легкодоступной форме.

Локальное внесение положительно влияет на рост и состояние листвы, а также улучшает водоудерживающую способность и продуктивность фотосинтеза растений. Это важный аспект сельского хозяйства и садоводства, помогающий обеспечивать растения необходимыми питательными веществами для их здорового и продуктивного роста [162].

Благодаря тому, что локальное внесение удобрений позволяет точнее определить и контролировать распределение удобрений по почве. Они попадают в нужные зоны и ближе располагаются к корням растений, что увеличивает их усвояемость. Это позволяет снизить общую дозу удобрений, необходимых для достижения желаемых результатов, и в то же время уменьшить риск загрязнения окружающей среды удобрениями [158, 160].

Двухслойное локальное внесение удобрений предполагает распределение удобрений на два слоя почвы перед посевом сельскохозяйственных культур. Первый слой располагается ближе к поверхности почвы, а второй слой - ниже. Это позволяет обеспечить контакт растений с питательными веществами на протяжении всего цикла их развития [23].

Преимущества двухслойного локального внесения удобрений заключаются в следующем:

1. Увеличение доступности питательных веществ для растений. Распределение удобрений на два слоя позволяет растениям получать питательные вещества более равномерно и в течение всего сезона роста. Это приводит к улучшению питательного режима растений и увеличению их урожайности.

2. Снижение потерь удобрений. Двухслойное внесение удобрений позволяет снизить потери питательных веществ за счет лучшего контроля их

распределения по почве и уменьшения их смыва в грунтовые и поверхностные воды. Это способствует экономии удобрений и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

3. Большая гибкость в подборе типов удобрений. Использование двух слоев удобрений позволяет более гибко подбирать типы и дозы удобрений в зависимости от потребностей конкретных растений и почвенных условий. Это позволяет более точно удовлетворить потребности растений в питательных веществах и повысить их урожайность [161].

Разбросное внесение удобрений - это метод, при котором удобрения распределяются по полю равномерно или неравномерно с помощью специального оборудования. Процесс разбросного внесения производится с использованием различных механизмов, таких как [115, 116, 142]:

- Туковые сеялки представляют собой механизмы, которые распределяют удобрения в виде гранул или пыли на поверхность почвы. Они могут быть приспособлены для внесения как органических, так и минеральных удобрений.

- Разбрасыватели минеральных удобрений используются для распределения минеральных удобрений по полю. Они оснащены различными настройками, позволяющими регулировать ширину и плотность распределения удобрений. Это позволяет более точно определить дозировку удобрений и обеспечить равномерное покрытие почвы [156].

- Авиационные разбрасыватели применяются для внесения удобрений с воздуха. Они оснащены специальными контейнерами, в которых хранятся удобрения, и системой разброса, позволяющей равномерно распределить удобрения на большой площади [24].

Хотя разбросное внесение удобрений может быть менее эффективным в некоторых случаях, этот метод все равно широко используется в нашей стране. Его популярность объясняется его относительной простотой и низкой стоимостью в сравнении с более технологичными методами внесения удобрений, такими как точное внесение или подкормка [119, 120].

Кроме того, разбросное внесение удобрений может быть особенно полезным при работе с большими полями или в условиях ограниченных ресурсов. Оно также позволяет гибко регулировать дозировку удобрений в зависимости от потребностей растений и состояния почвы [64].

Однако следует отметить, что разбросное внесение может привести к неравномерному покрытию почвы и неконтролируемым потерям удобрений, особенно при использовании авиационных разбрасывателей. Поэтому для достижения более эффективного и экологически устойчивого внесения удобрений, рекомендуется сочетать разбросное внесение с другими методами, такими как точное внесение или использование местных органических удобрений [117, 118, 137].

Припосевные удобрения могут быть применены как в гранулированной или жидкой форме перед севом или посадкой рассады, так и в виде просеивания почвы перед посевом. Они распределяются равномерно по почве и затем встраиваются или перемешиваются с поверхностным слоем почвы [151].

Эти удобрения помогают растениям в начальный период роста, когда их корни еще не обеспечивают достаточное количество питательных веществ из почвы. Они позволяют растениям быстро развить корни, получить достаточное количество питательных веществ и установить стабильный и здоровый рост [65, 104].

Важно принимать во внимание конкретные потребности культуры и характеристики почвы при выборе и применении припосевных удобрений [15, 24]. Нежелательно превышать рекомендуемые дозы, так как это может привести к перегрузке растений питательными веществами и негативно сказаться на их росте и развитии. На данный момент на предприятиях используются комбинированные сеялки, позволяющие высевать семена и вносить удобрения одновременно [20].

Комбинированная сеялка имеет особый механизм, который позволяет разделять семена от удобрений при их одновременном внесении в почву [8].

Это осуществляется путем создания специальной прослойки почвы между удобрениями и семенами [35, 114].

Когда комбинированная сеялка вносит удобрения в почву, они распределяются на некоторой глубине, обычно ниже места, где засеиваются семена. Между этими двумя слоями формируется прослойка почвы, которая изолирует семена и молодые проростки от прямого контакта с удобрениями [156].

Это очень важно, потому что семена и молодые проростки очень чувствительны к повышенной концентрации солей [16], которые могут содержаться в удобрениях. При прямом контакте с высокими концентрациями солей, они могут подвергнуться фитотоксичности, что может привести к ухудшению их прорастания и становления. [46,137]

Мелкосеменные растения, такие как овощные культуры или некоторые цветы, обычно обладают более высокой чувствительностью к солям и требуют более тщательного внимания к этому аспекту. Поэтому использование комбинированной сеялки с разделением семян от удобрений позволяет минимизировать риск повреждения молодых растений и обеспечить им оптимальные условия для успешного прорастания и роста [62].

Крепкая корневая система играет ключевую роль в обеспечении растения водой и питательными веществами. Благодаря хорошо развитым корням молодые растения могут получить больше питательных веществ из почвы, что способствует их полноценному росту и развитию.

Кроме того, благоприятные условия питания в начале роста способствуют укреплению стебля и листьев молодого растения. Это, в свою очередь, помогает улучшить процесс фотосинтеза и повысить продуктивность растения в будущем. [131]

Благоприятные условия питания также способствуют укреплению иммунной системы молодых растений, помогая им бороться с различными болезнями и вредителями. В целом, благоприятное питание в начале роста

является важным фактором в обеспечении здорового и полноценного развития молодых растений, что в дальнейшем может положительно сказаться на их урожайности и качестве.

Аммофос и нитрофоска являются самыми популярными припосевными удобрениями. [2] Эти удобрения обеспечивают растения необходимыми питательными веществами, такими как азот, фосфор и сера. Внесение этих удобрений в рядки при посеве позволяет достичь высокой эффективности удобрения. Растения могут легко проникать корнями в раствор удобрения, что способствует быстрому и эффективному поступлению питательных веществ в растение. Многочисленные исследования, проведенные в различных районах России и за рубежом, подтверждают высокую эффективность аммофоса и нитрофоски. [97]

Правильное сочетание удобрений рядкового внесения с другими приемами почвенного удобрения позволяет максимально удовлетворить потребности растений в питательных веществах и достичь высоких урожаев (рисунок 1.1) [152].

Однако стоит отметить, что эффективность удобрений рядкового внесения может быть ниже, если почва уже имеет высокую удобренность или неблагоприятные условия для доступности питательных веществ. Поэтому при выборе и применении удобрений необходимо учитывать особенности почвы и культур, а также проводить анализы почвы для определения ее плодородия и потребностей в питательных веществах [63].



Рисунок 1.1 Внесение подкормки [32]

Азотные удобрения способствуют активному росту растений, улучшению качества зеленой массы и повышению урожайности. Они обладают высокой растворимостью и быстрым срабатыванием. Неправильная подкормка азотными удобрениями может привести к избыточному накоплению нитратов в растениях, что может быть вредно для здоровья людей и животных. Поэтому необходимо соблюдать рекомендуемые дозы и правила применения удобрений [37].

Они обеспечивают повышение содержания протеина в растениях, что делает их питательными для животных и птиц. Подкормка фосфорно-калийными удобрениями также является важным этапом возделывания озимых зерновых и злаковых трав. Фосфор и калий являются необходимыми элементами для развития корневой системы растений, формирования качественного зерна и повышения урожайности. Фосфорные удобрения улучшают устойчивость растений к стрессовым условиям, а калийные удобрения способствуют улучшению общей физиологии растений. Важно правильно выбирать и применять удобрения, учитывая плодородие, состояние почвы, погодные условия и другие факторы. Также следует соблюдать рекомендуемые дозировки и сроки внесения удобрений. Это поможет достичь оптимальных результатов возделывания озимых зерновых и злаковых трав и обеспечить высокую урожайность [104].

Однако, поверхностная подкормка может быть применена и для других культур, таких как яровая пшеница, кукуруза, подсолнечник и т.д. Также, она может быть использована в разных фазах роста растений, включая начало вегетации, период цветения и формирования завязей, а также при формировании плодов. При поверхностной подкормке удобрения распыляются или рассеваются равномерно по поверхности почвы или растений. Это позволяет быстро и эффективно обеспечить растения необходимыми питательными веществами, а также микроэлементами [80].

Применение самолетов и вертолетов для поверхностной подкормки позволяет значительно сократить время и затраты на внесение удобрений,

особенно на больших площадях. Кроме того, такой способ подкормки позволяет достичь равномерного распределения удобрений и обеспечить их точное внесение в нужные участки почвы или растений. При применении авиационных методов подкормки необходимо учитывать особенности конкретной культуры и ее стадию развития, а также погодные условия и другие факторы, которые могут повлиять на эффективность подкормки.

Подкормки в период вегетации обеспечивают растения необходимыми питательными веществами, которые иначе могут быть недостаточными или неэффективно усваиваться из почвы [47, 48]. Также подкормки помогают улучшить физиологические процессы в растении, что положительно сказывается на его развитии и урожайности. Однако, важно соблюдать определенные принципы и дозировки при подкормках. Слишком высокая концентрация минеральных удобрений может вызвать ожоги корней и листьев растений, а также негативно сказаться на качестве урожая. Поэтому рекомендуется применять удобрения в соответствии с рекомендациями специалистов и проводить предварительные анализы почвы, чтобы определить ее потребности. В целом, подкормки являются важным инструментом для регулирования питания растений и обеспечения их оптимального развития. Они позволяют учесть биологические особенности культур и поддерживать необходимые уровни питательных веществ для достижения высоких урожаев [57].

Поздняя некорневая подкормка проводится в период формирования зерна, когда растение уже сложило основные органы и зерно начинает заполняться питательными веществами. Основной целью такой подкормки является повышение содержания белка в зерне пшеницы, так как белок является важным показателем качества зерна [49]. Белок необходим для производства хлеба высокого качества. Для проведения поздней некорневой подкормки используются специальные растворы удобрений, содержащие азот, калий и фосфор [104], которые являются основными питательными веществами для растений. Азот способствует активному росту и развитию

зерна, а также увеличению содержания белка. Калий и фосфор способствуют формированию и нормальному функционированию клеток растения, что также положительно влияет на содержание белка в зерне. Поздняя некорневая подкормка позволяет повысить урожайность пшеницы, улучшить качество зерна и его товарные характеристики, такие как размер, цвет и содержание белка. Это особенно важно для производства кормов и пищевых продуктов, таких как хлеб, макароны и крупы, где требуется высокое качество и питательная ценность зерна [126]. Поэтому поздняя некорневая подкормка имеет большое практическое значение и широко применяется в сельском хозяйстве [89].

Высокое содержание азота в зерне является важным показателем его питательной ценности.[105] Подкормка мочевиной на листья растения позволяет эффективно доставлять азотные питательные вещества прямо в зерно, что способствует его более эффективному синтезу белка и повышению качества. Мочевина также имеет высокую доступность для растения и является простым и доступным удобрением для использования. Мочевина способствует лучшему поглощению и удержанию воды в растениях, что играет важную роль в поддержании их гидратации и функционирования. Кроме того, мочевина участвует в синтезе белка и других важных молекул, что способствует росту и развитию растений. Общий эффект мочевины заключается в повышении общей физиологической активности растений и их способности эффективно использовать азот в питательных смесях [39].

В отличие от корней, у листьев поверхность поглощения ограничена и состоит из клеток эпидермиса и устьиц, которые покрыты извитыми волосками и ворсинками. Это увеличивает поверхность поглощения и обеспечивает большую контактную площадь с окружающей средой [10]. Первый шаг поглощения минеральных веществ листьями заключается в обменной адсорбции, когда ионы взаимодействуют с поверхностью клеток и адсорбируются на них. Это происходит очень быстро и позволяет быстро

усвоить минеральные вещества. После этого начинается процесс поглощения минеральных веществ, который зависит от различных факторов, таких как рН среды, концентрация раствора, состав соли, длительность контакта с раствором и возраст листьев. Факторы, такие как рН среды, могут влиять на доступность минеральных веществ для поглощения.

Однако следует отметить, что некорневая подкормка может быть эффективна только при определенных условиях. Во-первых, растение должно находиться в состоянии активного фотосинтеза, то есть иметь достаточное количество света и питательных веществ. Во-вторых, удобрения, используемые при некорневой подкормке, должны быть в форме, которая легко усваивается растением через листья. Фотосинтез является связующим звеном между корневым и некорневым питанием растений [9, 132].

Некорневые подкормки в виде листовых и стеблевых подкармливаний могут быть особенно полезными. Они позволяют растениям получить дополнительное питание и энергию для продолжения активного роста и развития, а также повышают устойчивость к стрессовым условиям. Кроме того, некорневые подкормки могут быть более эффективными в сравнении с корневыми подкормками, так как питательные элементы лучше и быстрее усваиваются растениями через листья и стебли. Это особенно важно в условиях недостатка влаги или низкой активности корневой системы. Эффективность некорневых подкормок может зависеть от множества факторов, таких как вид растения, состояние почвы и окружающей среды, способ и время проведения подкормки и др. Поэтому перед применением необходимо провести подробное изучение и определить оптимальные условия и дозировку для каждого конкретного случая.

Другие формы азота в удобрениях включают:

- Азотная кислота: используется для поверхностного удобрения и регулирует рН почвы.
- Аммиачная форма: использование аммиака в качестве удобрения, который вступает в реакцию с влагой в почве, превращая его в аммоний.

- Уреа: самая распространенная форма азота в удобрениях, обладает сбалансированным воздействием и хорошей растворимостью в воде.

Каждая из этих форм азота имеет свои преимущества и подходит для различных условий и методов внесения удобрений.

Кроме этого, существуют также формы, основанные на преобладающем содержании химических элементов:

Наиболее часто в условиях хозяйств используют карбамид и аммиачную селитру [38].

Селитра, содержащая в среднем 35% азота, может вызывать окисление почвы, особенно на кислых грунтах. Высокие концентрации азота в почве, вызванные применением селитры, могут привести к повышению рН почвы, что может негативно сказаться на растениях, предпочитающих кислые условия. При использовании селитры на кислых грунтах рекомендуется контролировать ее дозировку, чтобы избежать переизбытка азота и возможного повышения рН. Также можно использовать другие формы азота, такие как аммонийные или мочевины, которые имеют меньшую тенденцию к окислению и меньший вклад в повышение рН почвы.

Когда температура окружающей среды и почвы высокая, азот в мочеvine претерпевает химические реакции, которые способствуют его превращению в доступные для растений формы, такие как нитраты и аммиак. Растения могут легче усваивать азот в этих формах, а не в амидной форме, что обеспечивает более эффективное использование азотных удобрений. [6] Поэтому, чтобы оптимально использовать мочевины или другие азотные удобрения, необходимо учитывать температуру окружающей среды и почвы. В условиях низкой температуры замедляются химические реакции и азот менее доступен растениям, поэтому в этом случае рекомендуется использовать другие формы азотных удобрений, которые растения смогут усвоить лучше [42].

На основе вышеизложенного, а также с учетом особенностей представленных удобрений, стоит рассмотреть также удобрение – КАС-32 (карбамидно-аммиачная смесь). Удобрение КАС-32 является эффективным и удобным средством для подкормки растений. В его составе присутствует высокая концентрация азота, что способствует активному росту растений и повышению урожайности.

Преимущество жидкого азотного удобрения заключается в его легкости применения. Оно хорошо растворяется в воде и равномерно распределяется по почве. Это позволяет достичь максимального усвоения питательных веществ растениями.

Использование удобрения КАС-32 особенно рекомендуется в рамках работы с пропашными сеялками, оснащенными системами внесения жидких удобрений. Такая система позволяет точно дозировать и распределить удобрение во время посева. Это улучшает эффективность использования удобрения и способствует достижению лучших результатов.

В целом, удобрение КАС-32 является эффективным инструментом для повышения урожайности и качества растений, что делает его неотъемлемым компонентом современного сельского хозяйства.

## **1.2 Характеристики и показатели машин для внесения жидких удобрений**

Существуют различные типы машин [44, 140] для внесения жидких минеральных удобрений. Они обеспечивают равномерное распределение удобрений по полю и облегчают процесс обработки земель [33]. Наиболее часто используются машины, представленные далее.

Машина АПЖ-12 (рисунок 1.2) имеет компактные размеры, что обеспечивает легкость в управлении и маневренность на поле. Ее конструкция позволяет легко подключать и отключать ее от трактора, что упрощает транспортировку и обслуживание [36, 67].

Использование машины АПЖ-12 позволяет значительно повысить эффективность внесения удобрений на почву, сократить затраты времени и труда [90], а также обеспечить равномерное и точное распределение удобрений, что положительно влияет на рост и развитие растений.

Таблица 1.1 Технические характеристики АПЖ-12 [43]

№п/п	Наименование характеристики	Показатель
1	Производительность за час основного времени, га	10
2	Рабочая скорость, км/ч	До 12
3	Транспортная скорость, не более, км/ч	20
4	Ширина захвата, м	12
5	Расход рабочей жидкости, л/га	80...300
6	Тип насоса для подачи рабочей жидкости	центробежный
7	Привод насоса	от ВОМ трактора
8	Устойчивость дозы внесения по длине гона, %	не более 5
9	Неравномерность распределения на рабочей ширине, %	не более 10
10	Трактор, кл. т.с	1,4



Рисунок 1.2 Машина для внесения жидких минеральных удобрений АПЖ-12 [60]

Сеялка точного высева JohnDeere DB55 (рисунок 1.3) вносит семена кукурузы и подсолнечника при ширине междурядья 70 см с абсолютной точностью, а также может быть переоборудована на междурядье 45 см для внесения семян сахарной свеклы [1, 66].

Таблица 1.2 Технические характеристики сеялки точного высева JohnDeere1775NT [107]

№ п/п	Наименование характеристики	Показатель
1	Тип	прицепная
2	Ширина междурядья	76 см
3	Высевающие секции	MaxEmerge 5
4	Требуемая мощность трактора (на ВОМ)	от 175 до 230 л.с.
5	Диапазон прижимного усилия (кг)	0, 56, 113, 181
6	Бак для семян	56, 106, 2466 CCS (Центральная распределительная система) л
7	Возможность внесения жидких удобрений (не совместимо с CCS)	Да
8	Количество высевающих секций	24
9	Ширина междурядья	76 см

Технические характеристики сеялок точного высева JohnDeere [30, 107] варьируются в зависимости от конкретной конфигурации.

Общая эффективность и универсальность сеялок [34] точного высева John Deere достигается за счет использования передовых технологий и оптимального сочетания функций и опций [157]. Они позволяют сеять семена с высокой точностью, а также адаптировать посевные работы под требования конкретных условий и культур [99, 100] В результате, время и затраты на посев сокращаются, а производительность и качество посева повышаются [101, 102].

Основным преимуществом пневматических сеялок ДОНЭЙР (рисунок 1.4) является возможность точной дозировки семян и равномерного распределения почти любых семян, включая те, которые могут быть очень мелкими или переборчивыми. [21]

Также воздушный поток помогает преодолеть препятствия, такие как пыль, солома или другие мелкие частицы, которые могут помешать нормальной работе сеялки [111, 112, 113].



Рисунок 1.3 Сеялка JohnDeere [107]

Выбор скорости вентилятора зависит от вида семян и условий работы. Чем больше семена и сложнее условия, тем выше скорость вентилятора будет необходима. [22, 27]

Таблица 1.4 Технические характеристики сеялки ДОНЭЙР 705

№ п/п	Наименование характеристики	Показатель
1	Тип	прицепная
2	Ширина междурядья	76 см
3	Высевающие секции	MaxEmerge 5
4	Требуемая мощность трактора (на ВОМ)	от 175 до 230 л.с.
5	Диапазон прижимного усилия (кг)	0, 56, 113, 181
6	Бак для семян	56, 106, 2466 CCS (Центральная распределительная система) л
7	Возможность внесения жидких удобрений (не совместимо с CCS)	Да
8	Количество высевающих секций	24



Рисунок 1.4 Зерновая пневматическая сеялка ДОНЭЙР 705 [59]

Компактная сеялка Pronto NT (рисунок 1.5) с бункером рекомендована для прямого посева. Эта высокопроизводительная машина оснащается сошниками TurboDisc, позволяющими качественный посев со скоростью до 20 км/ч.[35] Волнистые разрезающие диски измельчают длинностебельные пожнивные остатки и открывают борозду для хода высевающих сошников. [74] Это решение значительно уменьшило тяговое сопротивление машины [78].

Бункер для семян большого объема (4 000 л) сокращает время простоев для загрузки и обеспечивает машине достаточный вес для оказания высокого давления на разрезающие диски [28,129]. Наряду с этим, специальная гидравлическая система всегда поддерживает его на оптимальном уровне. При необходимости машину можно оснастить дополнительными балластными грузами массой до 1 400 кг. Подвижные секции рамы машины позволяют копировать рельеф поля. [26]

С 2-секц. бункером (5 000 л) можно вносить и припосевное удобрение (система G & F). Для 1- / 2-секц. бункеров также предусмотрена возможность внесения микроэлементов. Это позволяет одновременно дозировать и вносить до максимально 3 различных компонентов (семена, удобрения и микроэлементы) за один проход машины. [81,139]

Таблица 1.5 Технические характеристики сеялки прямого высева ProntoNT

№ п/п	Наименование характеристики	Показатель
1	Рабочая ширина (м)	8,00
2	Транспортная ширина (м)	3,50 (Опция 2,95)
3	Транспортная высота без / с маркерами (м)	3,53 / 3,60
4	Длина с коротким / длинным прицепом (м)	6,96 / 7,78
5	Диаметр сошников / катков (см)	34 / 32
6	Расстояние между рядами (см)	20,00
7	Разрезающие диски Ø (см/дюймов)	46 / 18
8	Шины шасси	600 / 55 – 26.5
9	Шины опорных колес	10.0 / 75 – 15.3



Рисунок 1.5 Сеялка прямого высева ProntoNT

8-рядные пропашные сеялки Yield-Pro с системой внесения жидких удобрений. Модели пропашных сеялок Great Plains YP-825A (рисунок 1.6) очень просты в управлении и позволяют работать с большим объемом жидких удобрений.

Таблица 1.6 Технические характеристики пропашной сеялки Great Plains YP-825A с системой внесения жидких удобрений

№п/п	Наименование характеристики	Показатель
1	Рабочая ширина	11,8 – 14,6 м
2	Транспортная ширина	4,1 м
3	Транспортная высота	3,8 м
4	Давление на грунт	113-225 кг
5	Длина хода сошника (вверх-вниз)	25 см
6	Предел колебания глубины сошника	0-9 см
7	Объем семенного ящика	56,4 л (на каждом ряду)
8	Объем бункера для удобрений	2,840 л (жидкие удобрения)



Рисунок 1.6 Пропашная сеялка Great Plains YP-825A [108]

Конструкция машины объединяет раму с сошниками, которые отличаются высокой точностью высева и позволяют современным сельхозпроизводителям добиваться равномерной всхожести [68].

С учетом анализа показателей и характеристик машин, был сделан вывод о том, что подходящей для последующих исследований является сеялка YP-825A с возможностью внесения жидких удобрений [108].

На данную машину, возможна установка ФРЭФОСС для лучшего покрытия диапазона посева семян сельскохозяйственных культур [144].

### 1.3 Анализ параметров и показателей работы форсунок-распылителей, применяемых при внесении жидких удобрений

Показатели урожайности сельскохозяйственных культур, в настоящее время, достигаются внесением жидких удобрений особыми способами распыления.[45, 103] Процесс внесения проходит во время предпосевной подготовки. Растворы удобрений используют также для корневой и внекорневой подкормки от 1 до 6 раз за сезон [138]. Кратность и способ внесения напрямую зависят от плодородия почвы, вида культуры, требовательности каждого растения в дополнительном питании. Обычно подкормки повторяют с интервалом 12-20 дней в течение всего периода развития растений.[145]

Достижение высоких агротехнических показателей требует совершенствования не только методик внесения подкормки, но и конструкций форсунок-распылителей.[96, 147]

Основными показателями, определяющими параметры процесса распыления, являются необходимый напор, интенсивность потока капель жидкости, площадь распыления, а также сам размер капель [134, 145]. Классификация форсунок-распылителей представлена на рисунке 1.8.



Рисунок 1.8 Классификация форсунок распылителей [145,148]

Таблица 1.7 Сравнительные характеристики распространенных типов форсунок-распылителей.

№	Тип насадки	Диаметр сопла, $d_c$ , мм	Радиус захвата, м	Площадь внесения $F$ , $m^2$	Интенсивность потока жидкости, $p$ , мм/мин	Диаметр капли, $d_k$ , мм
1	Ассиметричная	1,5	2,8	12,3	0,15	0,3
2	Секторная	10,5	4,5	63,5	0,28	0,61
3	Дефлекторная	2,75	2,0	10,2	0,47	0,38-0,41
4	Эллипсовидная	2,15	2,35	17,3	0,15	0,41

С принятием во внимание характеристик форсунок-распылителей, а также потребностей, требуется разрабатывать новые их типы, охватывающие различные площади внесения, в том числе и площади тепличных комплексов. Как видно из данных таблицы, оптимальным вариантом для разработки новых насадок [11, 53] являются насадки эллипсовидного типа отверстия [93]. Однако, в настоящее время уже существуют некоторые наработки схожих типов насадок: [145, 148] (рисунки 1.9-1.11)

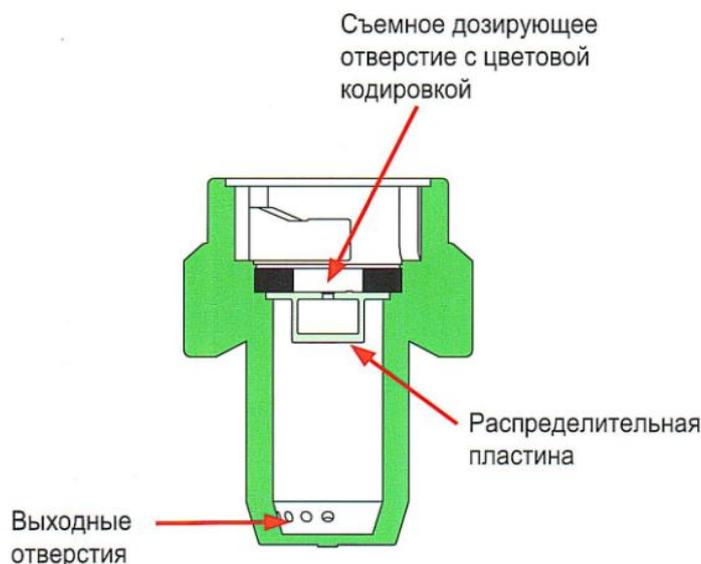


Рисунок 1.9 Схема распылителя SJ7A [145, 148]

Работа данного распылителя заключается в образовании одинаковых потоков с пересекающимися струями, сходящимися в сплошной поток

жидкости с крупным размером капель. Распределение жидкости по площади обеспечивается полукруглыми формами отверстий различных размеров в зависимости от типа удобрений в диапазоне размеров от 0,15 до 15 мм<sup>2</sup> под углом 15 градусов. Рабочее давление данных форсунок [54,128] варьируется от 0,15 до 0,4 МПа.

### Плоскоструйный инжекторный двухфакельный распылитель

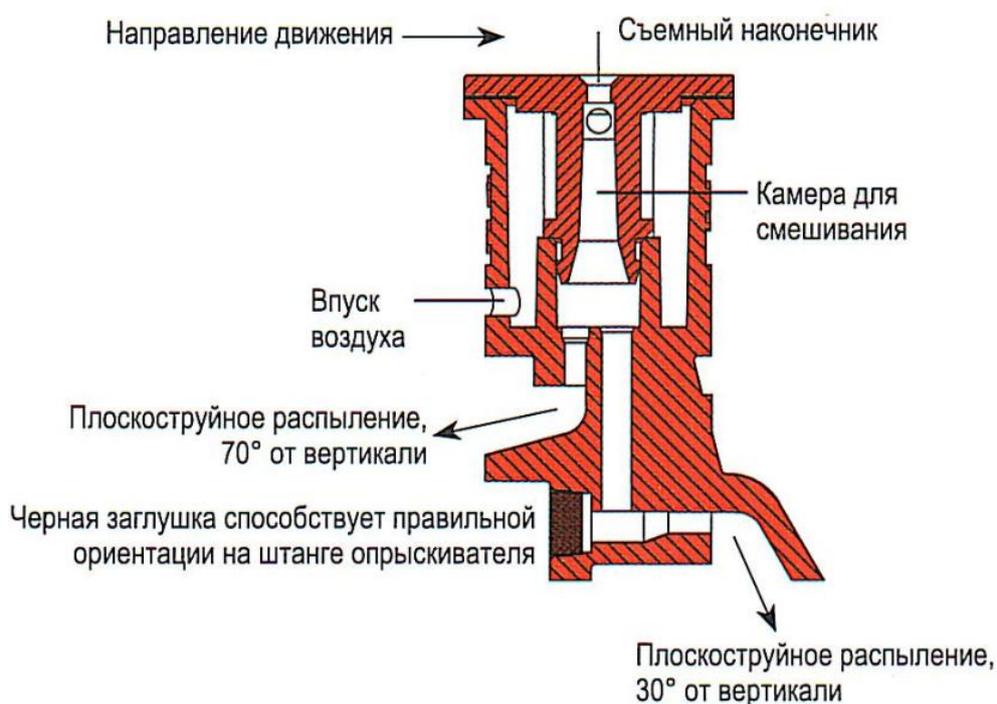


Рисунок 1.10 Схема распылителя AI3070 [144, 147]

Работа данного распылителя заключается в обеспечении одновременной обработки двумя факелами с углами обработки 30 и 70 градусов соответственно [133]. Передняя часть покрывает нижние части культур, проходя сквозь плотный растительный покров, в то время как задняя часть распылителя полностью покрывает верхнюю часть растительного покрова. Данный распылитель обладает возможностью использования воздушного аспиратора, что предотвращает снос капель [5] по принципу эффекта Вентури. Рабочее давление данных форсунок варьируется от 0,15 до 0,6 МПа [146].

## Плоскоструйный инжекторный распылитель

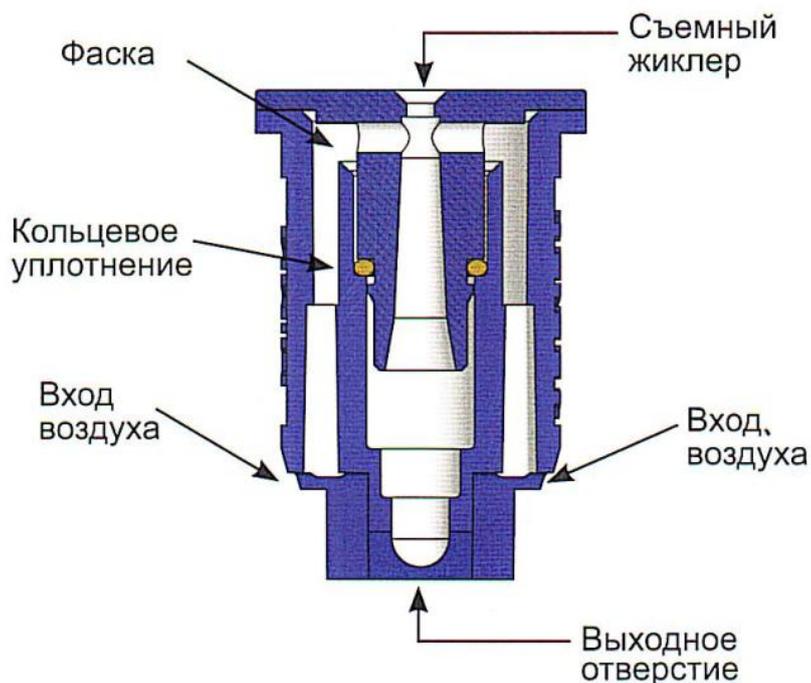


Рисунок 1.11 Схема распылителя AIXR [145, 148]

Некоторая техника марки JohnDeere оснащена системой интеллектуального управления форсунками ExactApply (рисунок 1.12). Опциональная система интеллектуального управления форсунками позволяет использовать следующие технологические возможности: [19, 73]

- Управление отдельными форсунками
- Широтно-импульсная модуляция 15 и 30 Гц
- Более широкий диапазон скоростей с сохранением заданной нормы и давления
- Компенсация разворота
- Переключение форсунок (автоматическое/ручное)
- Совместимость с форсункой воздухозаборника
- Программируемые нормы внесения по форсунке/выбору (например, более высокая расход за задними шинами)
- Обнаружение отказа электромагнитного клапана [145, 148]



Рисунок 1.12 Реvolverный модуль форсунок ExactApply [107, 145]

#### 1.4 Анализ сошников сеялок с возможностью внесения жидких минеральных удобрений

Мощный и износостойкий сошник серии 25 Great Plains (рисунок 1.13) с параллелограммным креплением рычагов, которые изготовлены из кованой стали и обеспечивают необходимую нагрузку и прочность, отличается высокой надежностью и точностью регулировки глубины заделки семян.[108]



Рисунок 1.13 Сошник пропашных сеялок Great Plains [108].

Можно уверенно работать на неровной и холмистой поверхности. Параллелограммное крепление обеспечивает превосходное копирование рельефа, и, независимо от изгибов поверхности, сеялка продолжает точно вносить семена в почву на заданную глубину [130].

Параметры регулировки каждого отдельного ряда позволяют настраивать давление на грунт до 230 кг, что способствует равномерному заглублению рабочих органов сеялки при любых условиях.[58]

Восемнадцать положений регулировки глубины высева с шагом 3 мм (до 9 см) гарантируют точный контроль заглубления семян во влажный грунт.

Несколько типов прикатывающих колес предусмотрены для разных почвенных и эксплуатационных условий.

Двухдисковый сошник с роторным очистителем рядака - новый тип стерневого сошника.[29, 31] Такими сошниками комплектуются сеялки ДОНЭЙР и ПК Агрифест-Гибрид. (рисунок 1.14)

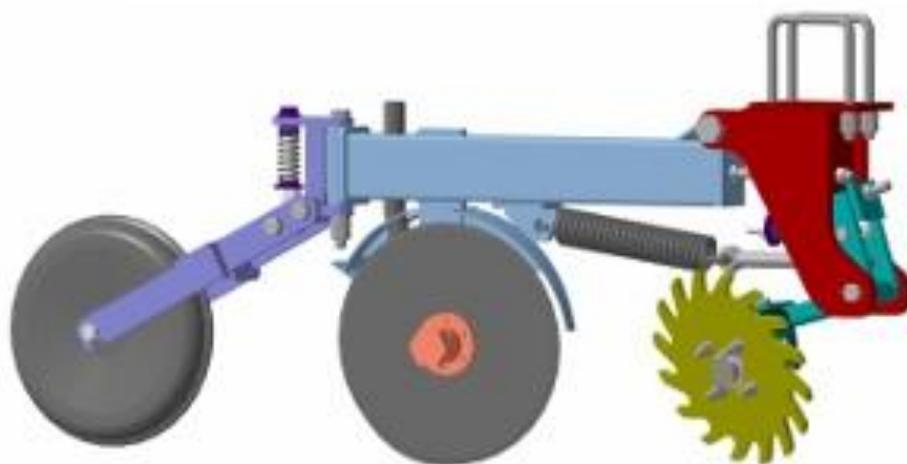


Рисунок 1.14 Двухдисковый сошник сеялки ДОНЭЙР

Роторный очиститель, в отличие от колторного диска, не разрезает растительные остатки, а отодвигает их от линии сева, очищая полосу 3 см перед дисками сошника. Как многие знают для качественной работы

колторного диска нужна созревшая, твердая почва, по переувлажненной почве колторный диск не работает. Роторному очистителю не нужна опора. Он хорошо работает по влажной почве обеспечивая "посев в грязь" [124].

Роторный очиститель с диском 350x10 из легированной стали, с мощной ступицей с двухрядным подшипником, имеет регулировку силы прижима и два угла атаки 20 и 30 градусов. Прикатывающее колесо шириной 75 мм, ход сошника для копирования вверх-вниз 16см (по 8см). Вес сошника 82 кг, давление 90-130 кг [121].

Сошник для внесения удобрений DohnDeere использует глубиномер с резиновым колесом диаметром 33 см [56], обеспечивая минимальное рыхление почвы. (рисунок 1.15)



Рисунок 1.15 Сошник для сеялок DohnDeere с двухрядным расположением высевających секций [107]

Копирующее колесо может быть расположено для двух различных заглублений внесения: нормального и мелкого [127]. В зависимости от состояния почвы при минимальной настройке глубина внесения [12] составляет до 7,6 см, тогда как при обычной удобрение вносится на глубину примерно 10,2 см [82, 83, 84].

Сошник Turbodisc сеялки Horsch (рисунок 1.16) имеет регулируемую глубину посева, что позволяет адаптировать его к различным типам почвы и культурным растениям. [109,110] Также в конструкции сошника предусмотрены специальные механизмы для защиты семян от повреждений и перекапывания при работе на неровных участках поля. Все это делает двухдисковый сошник с необслуживаемыми опорными подшипниками незаменимым инструментом для точного и эффективного посева семян. [18]



Рисунок 1.16 Двухдисковый сошник Turbodisc сеялки Horsch [106]

Регулировка глубины заделки позволяет адаптировать сошник к разным типам почвы и условиям посева[94, 150]. Кроме того, простая система регулировки давления на сошник позволяет оптимизировать работу машины для достижения оптимального качества заделки и минимального расхода семян. Это делает Turbo Disc удобным и эффективным в использовании.[70]

## 1.5 Анализ выполненных исследований

Исследования в данной области оказали значительное влияние на разработку высевающих систем сеялок и помогли улучшить равномерность распределения семян при высеве.

Отечественные ученые И.Х. Гайфуллин, В.М. Дринча, Б.Г. Зиганшин, Б.Л. Иванов, А.Ю. Измайлов, М.Ю. Костенко, В.И. Курдюмов, Г.И. Личман, Г.К. Рембалович, С.И. Старовойтов, И.А. Успенский, В.Ф. Федоренко, Д.Т. Халиуллин и др., а также ряд зарубежных исследователей: Daschiel G., Frohnarfel V., Jovanović J., DeGiorgi M.G., Ficarella A., и др. проводили исследования в данной области. Они работали над разработкой новых технологий и конструкций, которые позволяют достичь более точного и равномерного высева семян [88]. Их исследования включают в себя изучение различных факторов, влияющих на равномерность высева, таких как тип семян, скорость движения сеялки, угол наклона трубопроводов и другие. Общая цель исследований в данной области - обеспечить оптимальные условия для роста и развития семян, минимизировать потери и повысить эффективность сельскохозяйственного процесса.

В.М. Дринча, занимался совершенствованием механического высевающего аппарата сеялки овощных культур, Им были показаны особенности гидравлических распылителей, их применения в штанговых опрыскивателях.

Ученые Всероссийского института механизации сельского хозяйства (ВИМ), В.А. Батулин, Г.И. Личман, А.Н. Марченко занимались разработками в области внесения удобрений и обосновали параметры рабочих органов дозирующих машин и требования к их переходным режимам [125].

Исследования в данном направлении в настоящее время наиболее актуально в связи с необходимостью оптимизации использования удобрений и минимизации их негативного влияния на окружающую среду. Поверхностное внесение удобрений позволяет равномерно распределить их по полю, не вызывая перегноя почвы и риска загрязнения поверхностных

вод. [71] Внутрипочвенное внесение удобрений позволяет достичь более точного контроля за поставкой питательных веществ в корень растений. Это позволяет более эффективно использовать удобрения и уменьшить их потери за счет испарения или застойных явлений [85]. Технологии внутрипочвенного внесения удобрений могут включать использование внутрипочвенных инжекторов или систем подачи удобрений непосредственно в корневую зону растений. Дифференцированное внесение удобрений основано на проведении агрохимического и агрофизического обследования полей, а также на учете индивидуальных потребностей культурных растений.[7] По результатам обследования определяются зоны с различной потребностью в удобрениях. В последствии, внесение удобрений производится с учетом этих зон, что позволяет достичь оптимальной планировки и распределения удобрений по полю. [125].

Дифференцированное внесение удобрений является более экологически эффективным и рациональным методом обработки полей. Он позволяет уменьшить негативное влияние удобрений на окружающую среду и повысить урожайность за счет более точного природообустройства и учета индивидуальных потребностей растений. [23]

Н. В. Чайгиц считает, что энергетическая и сельскохозяйственная производительность зависят от размеров отверстий, образующихся при движении игольчатого диска. Автор предлагает оценивать эффективность рабочего органа воздействия на почву ( $h$ ), который представляет собой суммарную длину иглы за один оборот колеса и пройденного пути. Он определяется соотношением [97, 125]:

$$h = \frac{l \cdot n}{\pi \cdot r} \quad 1.4.1$$

где  $h$  – глубина внесения удобрений, м;

$r$  – радиус окружности при движении диска без проскальзывания, м;

$n$  – количество игл на колесе;

$l$  – длина одной иглы, м.

Если параметры МТА (мощность тракторного двигателя, масса, ширина захвата) постоянны, можно достигнуть высокой эффективности за счет комбинирования внешних условий эксплуатации [125].

Условием повышения эффективности МТА является соответствие его параметров, в основном ширины захвата, условиям работы агрегата. Поэтому в работе Киртбай Ю.К. основные параметры поля (физико-механические свойства посевов и оснований, уклон местности, площадь) и основные параметры машинно-тракторного агрегата (ширина, масса, энергонасыщенности др.) взаимоувязаны. Оптимальная рабочая ширина агрегата [125]:

$$B_{ОПТ} = \sqrt{\frac{\psi G g L}{K_x K_{пр}}} \quad 1.4.2$$

При том, что  $G = \frac{N}{N_y}$ , формула будет выглядеть:

$$B_{ОПТ} = \sqrt{\frac{\psi N g L}{N_y K_x K_{пр}}} \quad 1.4.3$$

где  $B_{ОПТ}$  – оптимальная рабочая ширина агрегата, м;

$\psi$  – коэффициент сопротивления передвижению трактора

$\psi = (f \cos \alpha \pm \sin \alpha)$ , ( $\alpha$  – угол наклона);

$G$  – масса трактора, кг;

$L$  – протяженность пройденного пути, м;

$K_x$  – кинематическая характеристика агрегата, определяемая отношением средней длины холостого хода  $L_x$ , к ширине  $B$ :  $K_x = L_x B$ ;

$N$  – мощность двигателя, кВт;

$N_y$  – энергонасыщенность трактора ( $N_y = N / G$ ), кВт/кг;

$K_{пр}$  – приведенное удельное тяговое сопротивление машин (Н/м),

имеет вид:

$$K_{пр} = \frac{R}{B} + \frac{3 \cdot 10^3 N_{\text{ВОМ}} \eta_{МГ}}{B v \eta_{\text{ВОМ}}} \quad 1.4.4$$

где  $R$  – тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, Н;  
 $N_{BOM}$  – мощность, реализуемая через BOM, кВт;  
 $\eta_{BOM}$  – К.П.Д. вала отбора мощности ( $\approx 0,94 \dots 0,96$ );  
 $\eta_{MG}$  – К.П.Д. силовой передачи трактора;  
 $v$  – скорость движения агрегата, км/ч [125].

Для того чтобы получить максимальную производительность, качественную и экономичную работу необходимо настроить сельскохозяйственную машину [75, 76, 77]. В работе Мухина А.А. наибольшую рабочую ширину захвата агрегата для известных марок тракторов, сельскохозяйственных машин, навесок и рабочих органов будет определяться по следующей формуле [97, 125]:

$$V_{\max} = \frac{P_{кр}}{K_M + g \sin \alpha + g_{сц} (f_{сц} + \sin \alpha)} \quad 1.4.5$$

где  $V_{\max}$  – наибольшая ширина захвата агрегата, м;  
 $P_{кр}$  – тяговое усилие трактора для предпочтенной передаче с учетом агрофона, рельефа и условий сцепления с почвой, кН;  
 $K_M$  – рабочее удельное сопротивление машины, кН/м;  
 $g$  – масса сельскохозяйственной машины, приходящийся на 1 м ширины захвата, кг/м;  
 $g_{сц}$  – масса сцепки, приходящийся на 1 м захвата агрегата, кг/м;  
 $f_{сц}$  – коэффициент сопротивления передвижению сцепки;  
 $\alpha$  – угол подъема пути движения, град. [25,125]

## 1.6 Постановка задач исследований

**Цель исследований** – обоснование параметров сошника сеялки с форсункой-распылителем для внесения жидких минеральных удобрений при посеве.

### **Задачи исследований:**

1. Провести анализ технико-технологических решений, применяемых при посеве с возможностью внесения жидких минеральных удобрений.
2. Теоретически и экспериментально обосновать параметры ФРЭФОСС для внесения жидких минеральных удобрений при посеве.
3. Экспериментально обосновать параметры сошника сеялки, оснащенного ФРЭФОСС.
4. Исследовать показатели работы пропашной сеялки, оснащенной сошником с форсункой-распылителем для внесения жидких минеральных удобрений при посеве, и определить технико-экономический эффект от их применения.

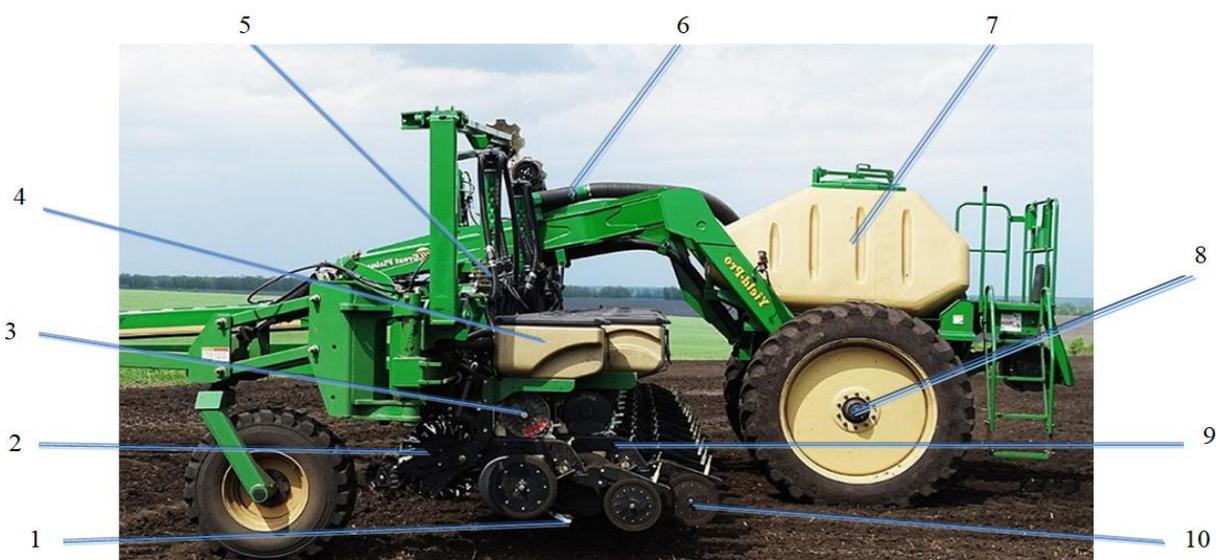
## 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФРЭФОСС

### 2.1 Конструктивно-технологическая схема ФРЭФОСС

#### в рядок при севе семян

Высокая урожайность сельскохозяйственных культур достигается за счет внесения жидких минеральных удобрений во время предпосевной подготовки почвы [133]. Способ внесения напрямую зависит от плодородия почвы, вида культуры, требовательности каждого растения в дополнительном питании [147].

Культивирующие органы и посевные секции расположены на раме сеялки (рисунок 2.1). Они состоят из высевающего механизма, сошников для подачи и укладки семян в рядок, уплотнителей для обеспечения контакта семян с почвой и заделывающего устройства, закрывающего посевное ложе. Привод высевающего аппарата, осуществляется от гидравлического привода.



1 - уплотнитель семян; 2 - зубчатый диск; 3-высевающий аппарат; 4 - семенные ящики; 5 - гидравлическая система; 6- трубопровод; 7 - резервуар для жидких минеральных удобрений; 8 - опорное колесо; 9 - сошник; 10 - прикатывающие колеса сошника;

Рисунок 2.1- Пропашная сеялка УР 825А

Работа пропашной сеялки УР 825 А происходит следующим образом. Во время движения сеялки зубчатый диск 2 разбивает почвенные комки и рыхлит почву в рядках. Сошник 9 нарезает борозду, в которую высеваший аппарат 3 подает семена из семенных ящиков 4. Семена попадают на дно борозды, и вдавливаются в почву уплотнителем 1, который оборудован эластичными крыльями, частично засыпающими семена почвой. Жидкие минеральные удобрения из резервуара 7 по трубопроводу 6 под определенным давлением гидравлической системы 5 поступают форсунке распылителя, закрепленной на уплотнителе и распределяются в борозде в виде полосы. Затем происходит заделка и повторное уплотнение борозды прикатывающими колесами 10. Опорные колеса 8 обеспечивают транспортное и рабочее положение.

На рисунке 2.2 показан общий вид ФРЭФОСС. Предлагаемая ФРЭФОСС представляет собой конструкцию включающую: уплотнительную часть 1, к боковым стенкам которой прикреплены эластичные крылья 7 из полимерного материала, уплотнительная часть оборудована форсункой-распылителем 2. Для подвода жидких минеральных удобрений используется шланг, закрепленный в штуцер 3, для прилегания шланга в уплотнительной части имеется канал 4. ФРЭФОСС упругой частью 5 прикрепляется к сошнику сеялки с помощью фиксатора 6. Упругая 5 и уплотняющая 6 части выполнены из разных материалов.

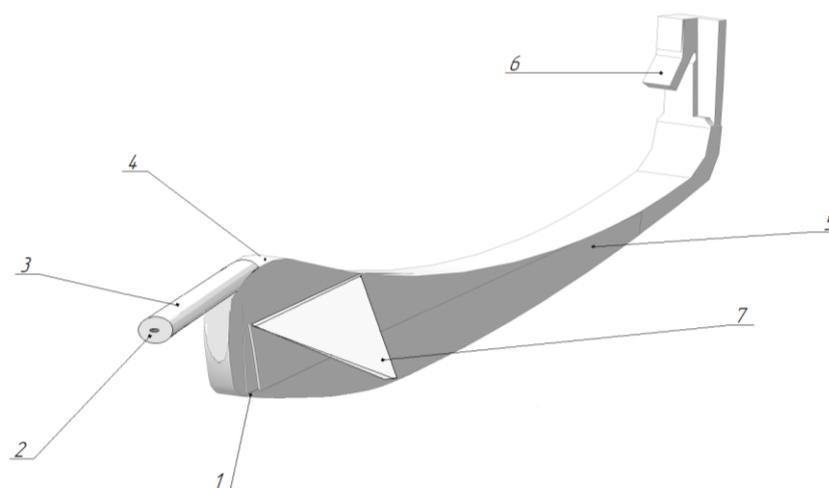


Рисунок 2.2 – Схема ФРЭФОСС.

Технологический процесс высева семян и внесения удобрений разработанным ФРЭФОСС осуществляется следующим образом: при движении сошника сеялки, формируется борозда; по дну борозды осуществляется перемещение уплотнительной части 1. Уплотнительная часть 1 осуществляет уплотнение борозды с семенами на заданную глубину. Затем эластичные крылья 7 из полимерного материала, прикрепленные к боковым стенкам уплотнительной части 1, повторяя рельеф внутренних стенок борозды, засыпают семена слоем почвы, после чего форсункой-распылителем 2 вносятся жидкие минеральные удобрения. Жидкие минеральные удобрения поступают через шланг, закрепленный в канале для шланга 4 в штуцер форсунки-распылителя 3. Упругая часть 5, надежно закрепленная фиксатором 6 начинает гасить колебания, создаваемые неровностью почвы, обеспечивая равномерное распределение удобрений.

При использовании некруглых отверстий форсунок-распылителей (рисунок 2.3) возникает инверсия струи. Силами поверхностного натяжения можно объяснить периодическое изменение характера инверсии по длине струи, которое иногда выглядит как спиральное закручивание истекающей струи, мало зависящее от поперечной закрутки потока жидкости на срезе отверстия. [55]

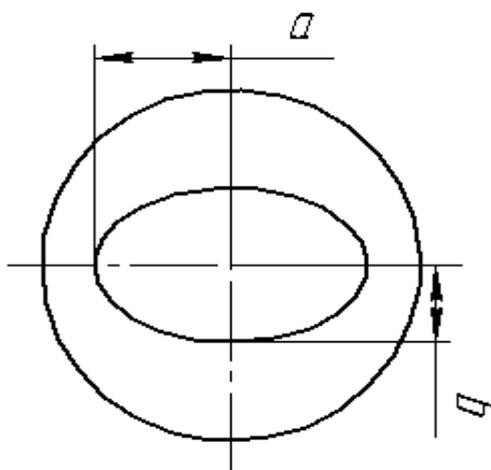


Рисунок 2.3 – Эллипсовидная форма отверстия форсунки-распылителя

При истечении возникает инерция движения жидкости в радиальных направлениях к отверстию, что обуславливает сжатие струи. А при истечении

жидкости из эллипсоидного сопла неравномерность давлений в радиальных направлениях, возникающих от инерционных нагрузок способствует инверсии струи способствует изменению ее поперечного сечения.[55, 98] При истечении из ФРЭФОСС, чаще всего реализуется несовершенное сжатие струи, которое определяется не только степенью сужения потока, но и скоростью струи, разницей давлений и силами поверхностного натяжения [55].

## 2.2 Теоретическое обоснование параметров ФРЭФОСС (сошника)

Двухдисковый сошник сеялки [95] образует борозду, стенки которой частично осыпаются на дно борозды (рисунок 2.4). Так как высев семян осуществляют в задней части сошника, то семена попадают на подушку влажной почвы [13].

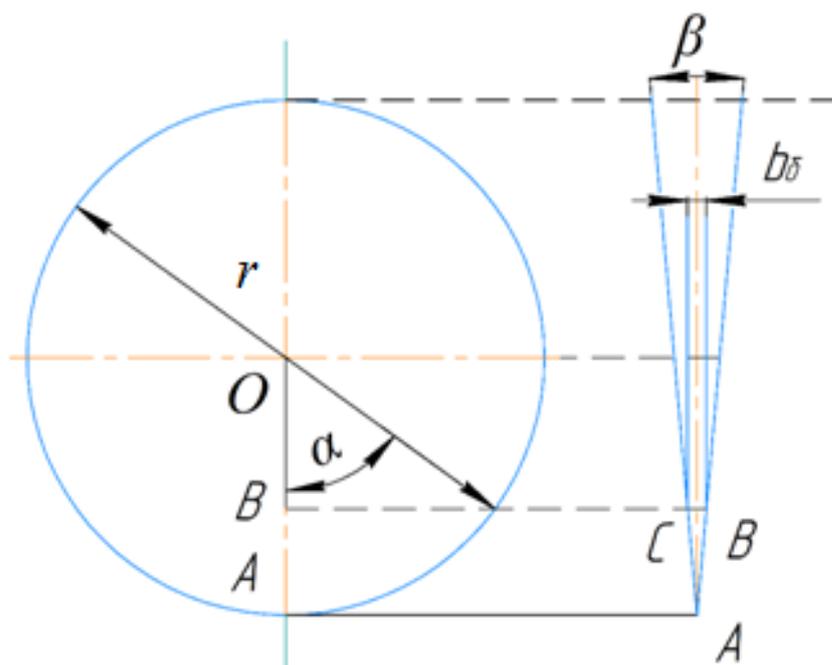


Рисунок 2.4 – Расчетная схема определения размеров борозды

Это обуславливает лучший контакт влажной почвы с поверхностью семени.

После прохода сошника происходит дальнейшее обрушение стенок борозды, частично заделывая семена. Размеры борозды определяются углом между дисками  $\beta$  и углом наклона радиуса к вертикали  $\alpha$ .

Для определения ширины борозды существует формула [61]

$$b_6 = 2r \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot \sin \frac{\beta}{2} \quad (2.1)$$

где

$b_6$  – ширина борозды, м;

$r$  – радиус дисков, м.

Дно борозды, куда укладываются семена, будет несколько выше глубины хода сошников.

$$\Delta h = \frac{b_6}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \quad (2.2)$$

где  $\Delta h$ - расстояние от нижней точки сошника до дна борозды. (рисунок 2.5)

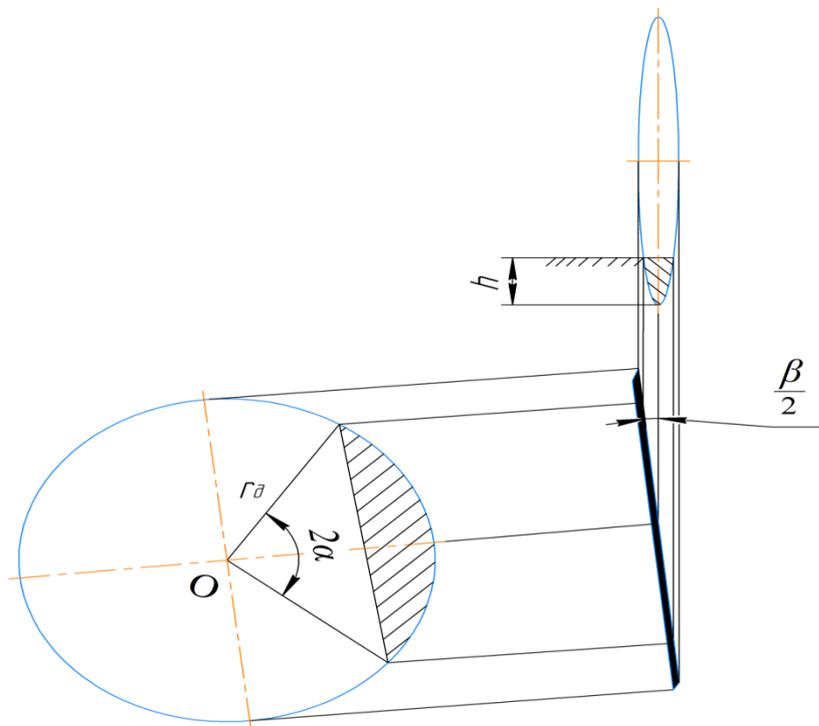


Рисунок 2.5 – Расчетная схема к определению площади поперечного сечения борозды

Определим объем почвы выносимой диском из борозды

$$V_{\pi} = S_{б} \cdot l \quad (2.3)$$

где  $V_{\pi}$  - объем почвы смещаемый диском из борозды,  $\text{м}^3$ ;

$S_{б}$  – поперечная площадь борозды, образованной диском,  $\text{м}^2$ ;

$l$  - путь пройденный диском за время смещения объема почвы, м;

Поперечная площадь борозды пропорциональна площади сегмента диска, погруженного в почву

$$S_{д} = \frac{1}{2} r^2 \left( \frac{\pi \cdot 2\alpha}{180^{\circ}} - \sin 2\alpha \right) \cdot \sin \left( \frac{\beta}{2} \right) \quad (2.4)$$

На основании формулы (2.4) в программе MathCAD рассчитаем площадь поперечного сечения борозды, образованной одним диском диаметром 0,4 м сошника. (рисунок 2.6)

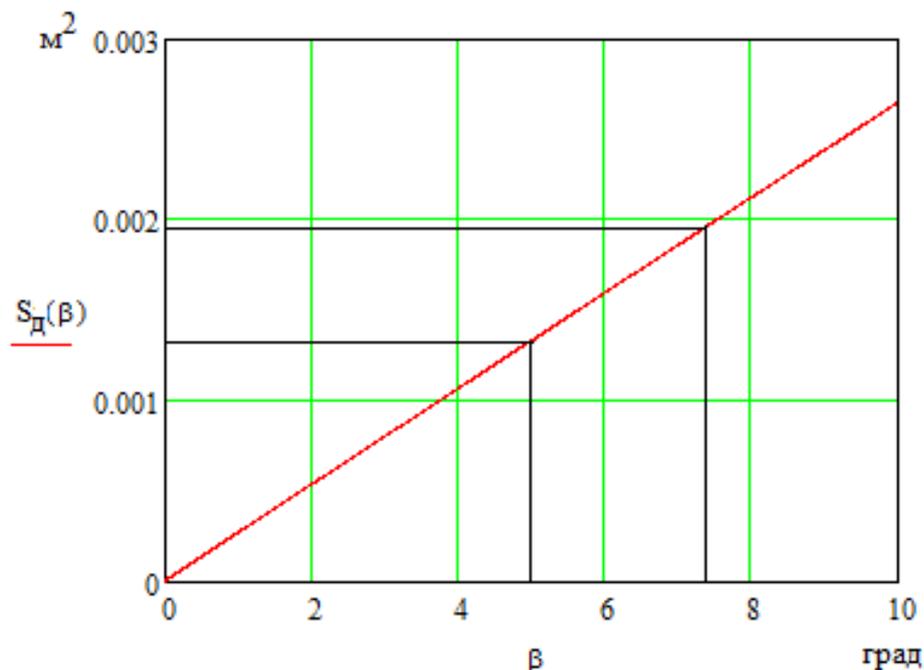


Рисунок 2.6 – Зависимость площади поперечного сечения борозды от угла между дисками

Установлено, что площадь поперечного сечения борозды определяется геометрическими размерами сошника: диаметром, углом наклона радиуса к вертикали и углом между дисками сошника. Анализ рисунка 2.6 показал, что

при диаметре диска 0,4 м площадь поперечного сечения находится в пределах от 0,0014 до 0,0019 м<sup>2</sup>.

Допустив, что диск вращается без проскальзывания, путь при перемещении почвы равен:

$$l = 2r \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (2.5)$$

С учетом выражений (4) и (5) объем почвы смещаемой диском из борозды:

$$V_{\pi} = r^3 \left( \frac{\pi \cdot \alpha}{90^\circ} - \sin 2\alpha \right) \cdot \sin^2\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (2.6)$$

Тогда объем борозды при прохождении двухдискового сошника будет равен

$$V_{\delta} = 2V_{\pi} \cdot k_{oc} \quad (2.7)$$

где  $k_{oc}$ - коэффициент осыпания почвы в борозду

Учитывая, что почва в борозде располагается под углом естественного откоса, определим размеры борозды (рисунок 2.7)

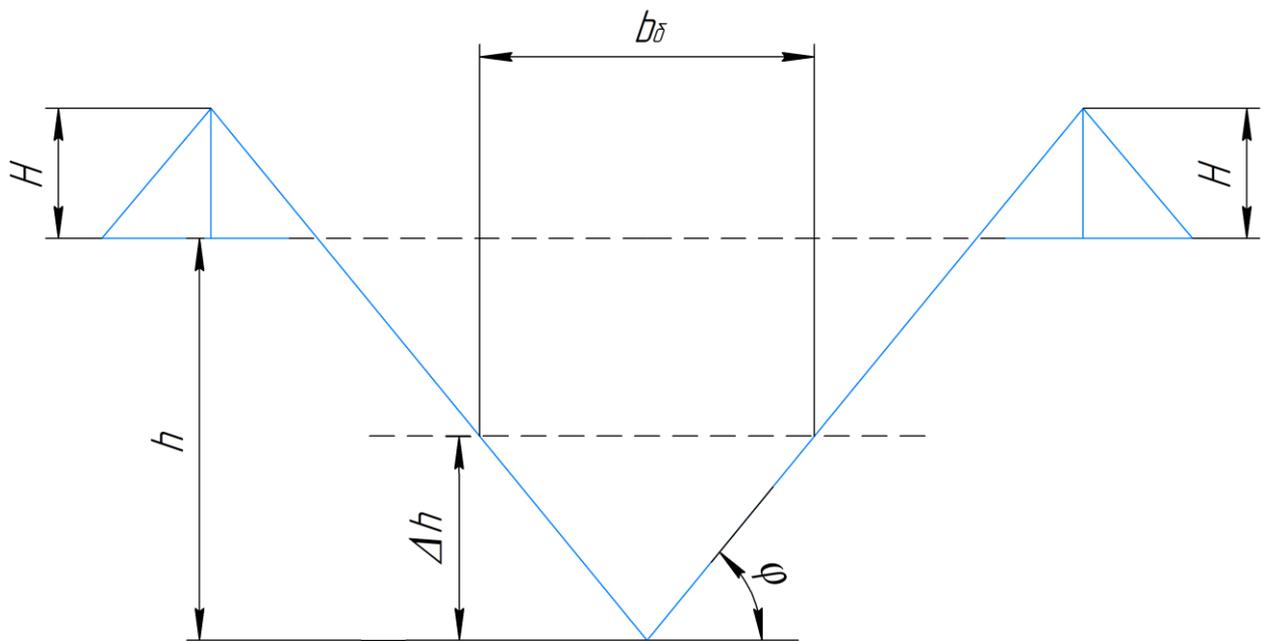


Рисунок 2.7 – Схема к определению размеров борозды  
Коэффициент осыпания почвы в борозду определяется соотношением

$$k_{oc} = \frac{V_{oc}}{V_{\delta}} \quad (2.8)$$

где  $V_{oc}$  – объем осыпавшейся почвы,  $m^3$ .

Объем осыпавшейся почвы определяется глубиной осыпавшейся почвы и углом откоса:

$$V_{oc} = \Delta h^2 \cdot \tan \varphi \quad (2.9)$$

Общая глубина борозды определяется объемом смещаемой и осыпавшейся почвы. Для простоты расчетов рассмотрим поперечное сечение борозды без учета процесса перемещения почвы. Тогда площадь поперечного сечения дисков и поперечное сечение борозды связаны зависимостью

$$S_6 = h_6^2 \cdot \cos \varphi - \Delta h^2 \cos \varphi \quad (2.10)$$

С другой стороны площадь поперечного сечения борозды равна площади сегментов двух дисков сошника, погруженных в почву

$$S_6 \approx 2S_d \quad (2.11)$$

Рассчитаем в программе MathCAD площадь поперечного сечения борозды с учетом осыпания почвы (рисунок 2.8)

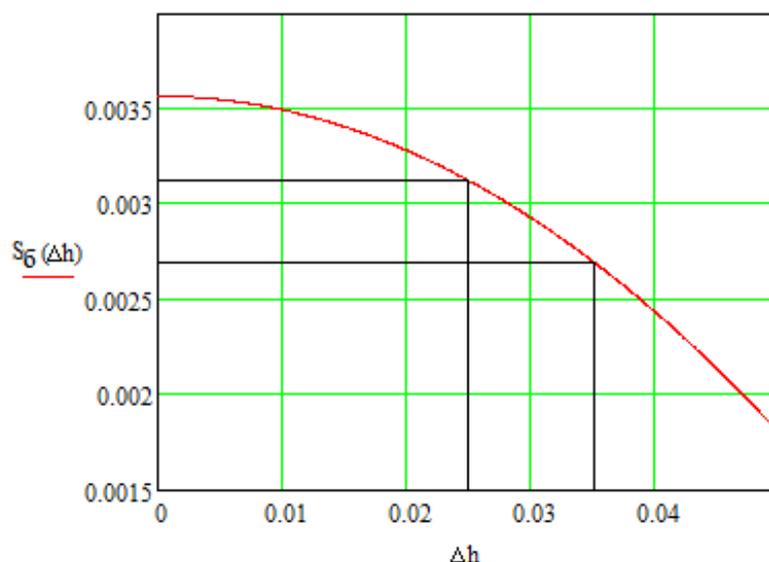


Рисунок 2.8 –Зависимость площади поперечного сечения борозды с учетом осыпания почвы

Анализ рисунка 2.8 показал, что площадь поперечного сечения борозды уменьшается при осыпании почвы. При расстоянии 0,025 м от нижней точки сошника до дна борозды поперечное сечение борозды составляет  $0,0031 \text{ м}^2$ .

Высота гребня, образованного при выемке почвы из борозды определяется поперечным сечением борозды

$$S_6 = H^2 \cos \varphi \quad (2.12)$$

или

$$H = \sqrt{\frac{S_6}{\cos \varphi}} \quad (2.13)$$

где  $H$  – высота гребня рядом с бороздой, м.

Подставив все геометрические размеры в выражение (2.13), получим связь между ними:

$$H = \sqrt{h^2 - \left(\frac{b}{2 \tan \frac{\beta}{2}}\right)^2} \quad (2.14)$$

Общая глубина борозды:

$$h_{\text{общ}} = H + h - \Delta h = \sqrt{h^2 - \left(\frac{b_6}{2 \tan \frac{\beta}{2}}\right)^2} + h - \frac{b_6}{2 \tan \frac{\beta}{2}} \quad (2.15)$$

Рассчитаем в программе MathCAD общую глубину борозды с учетом угла между дисками сошника сеялки (рисунок 2.9)

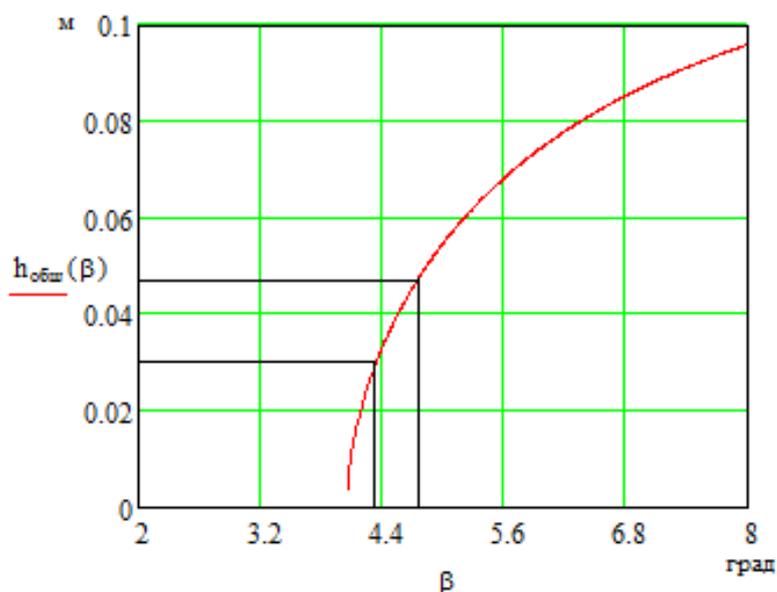


Рисунок 2.9 – Зависимость общей глубины борозды с учетом угла между дисками сошника сеялки

Анализ рисунка 2.9 показал, что увеличение угла между дисками сошника способствует увеличению общей глубины борозды с учетом осыпания почвы. Чем шире борозда, тем на меньшую глубину она осыпается, а в тоже время слишком сильное раскрытие борозды будет способствовать перемешиванию почвы и при её заделке возможно попадание верхних слоёв почвы вниз борозды к семенам. Поэтому для обеспечения посева семян на глубине от 0,03 до 0,05 м рациональным значением угла между дисками будет 5 градусов.

Для исключения ожога ростков азотным удобрением, необходимо создать прослойку почвы между семенами и удобрением (рисунок 2.10).

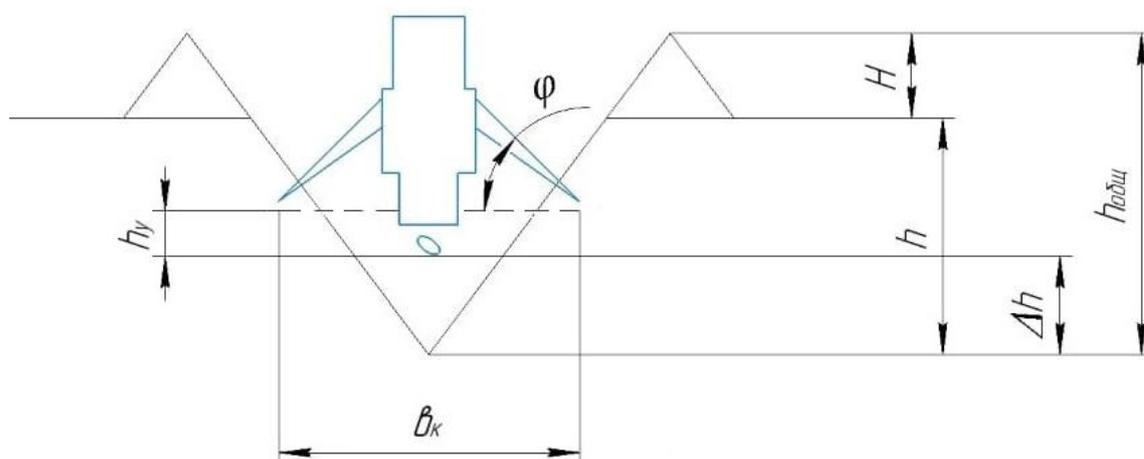


Рисунок 2.10 - Схема к расчету крыльев уплотнителя сошника сеялки

Рассчитаем ширину крыльев уплотнителя для обеспечения необходимой глубины прослойки почвы между семенами и азотными удобрениями исходя из объема почвы, сбрасываемой крыльями уплотнителя сошника сеялки на дно борозды.

$$S_k = h_y \frac{1}{2} \cdot \left( b_6 + \frac{2h_y}{\tan \varphi} + b_6 \right) \quad (2.16)$$

где  $S_k$  - объем почвы, необходимый для закрытия борозды на глубину  $h_y$ .

$h_y$  - глубина прослойки почвы между семенами и азотными удобрениями.

Тогда необходимая ширина крыльев уплотнителя сошника сеялки для засыпания борозды объемом  $S_k$ :

$$S_k = \left( b_k - \left( b_6 - \frac{2h_y}{\tan \varphi} \right) \right)^2 \sin \varphi \quad (2.17)$$

Приравняв уравнения (2.16) и (2.17), и используя подстановку  $b_y = b_6 - 2h_y \cos \varphi$ , имеем:

$$\frac{1}{2} h_y (b_6 + b_y) = (b_k - b_y)^2 \sin \varphi \quad (2.18)$$

выразим  $b_k$  из выражения (2.18)

$$(b_k^2 - 2b_k b_y + b_y^2) \sin \varphi - \frac{1}{2} b_6 h_y - \frac{1}{2} b_y h_y = 0 \quad (2.19)$$

Полученное выражение (2.19) представляет собой квадратный трехчлен, определим корни этого уравнения

$$b_k^2 - 2b_k b_y + b_y^2 - \frac{h_y}{2 \sin \varphi} (b_6 + b_y) = 0 \quad (2.20)$$

Таким образом, ширина крыльев уплотнителя сошника сеялки будет определяться формулой:

$$b_k = b_6 - 2h_y \cos \varphi + \sqrt{\frac{h_y}{\sin \varphi} \left( b_6 + \frac{h_y}{\tan \varphi} \right)} \quad (2.21)$$

Рассчитаем в программе MathCAD ширину крыльев уплотнителя с учетом глубины прослойки почвы между семенами и азотными удобрениями (рисунок 2.11)

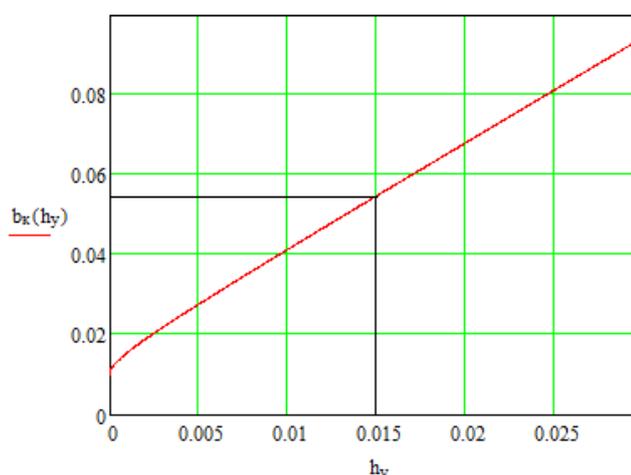


Рисунок 2.11 – Зависимость ширины крыльев уплотнителя от глубины прослойки почвы между семенами и азотными удобрениями

Анализ рисунка 2.11 показал, что для обеспечения прослойки почвы между семенами и азотными удобрениями необходимо часть почвы стенок борозды ссыпать на дно борозды, используя крылья уплотнителя. Таким образом, для глубины прослойки борозды 0,015 м ширина крыльев уплотнителя должна составлять 0,055 м.

При выходе из ФРЭФОСС резко меняется давление, но благодаря силам поверхностного натяжения струя не распадается на капли. В ней возникают волновые явления, которые меняют форму и размеры поперечного сечения струи. (рисунок 2.12) [149].

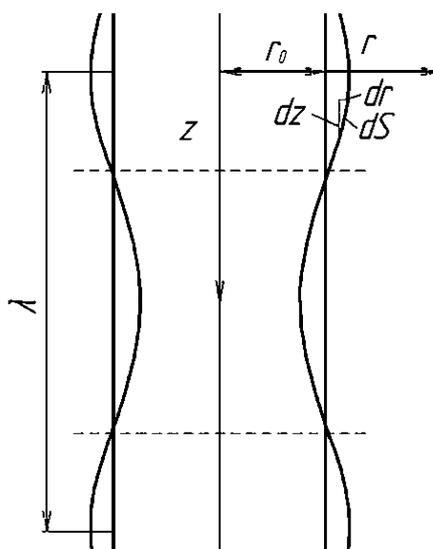


Рисунок 2.12 – Изменение продольной формы струи в результате инверсии [55]

Изменение наибольшего радиуса поверхности струи можно представить в виде уравнения [55]

$$r_{\text{пов}} = r_0 + \alpha_0 \cdot \cos(kz) \quad (2.22)$$

где  $k$  – пространственная частота волнового возмущения,  $k = 2 \pi/\lambda$ ;

$\lambda$  – длина волны;

$r_0$  – средний радиус струи;

$\alpha_0$  – приращение радиуса волны, причем  $\alpha_0 \ll r_0$ ,  $\alpha_0 \ll \lambda$ .

Предположив, что движение жидкости на некотором промежутке постоянное и ламинарное, а также потенциал скорости  $\psi$  удовлетворяет условию [55]

$$V_x = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (2.23)$$

И существует функция скорости  $\psi$ , удовлетворяющая уравнению Лапласа

$$\nabla^2 \psi = 0 \quad (2.24)$$

Учитывая, что изменение радиусов происходит относительно центральной оси струи, рассмотрим волновые явления в цилиндрических координатах для случая двумерного движения[55]

$$V_r = \frac{\partial \psi}{\partial r} \quad (2.25)$$

$$V_z = \frac{\partial \psi}{\partial z} \quad (2.26)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = 0 \quad (2.27)$$

Проанализируем устойчивость истекающей из отверстия эллиптической формы исходя из сил поверхностного натяжения с помощью энергетического метода, оценив изменение амплитуды колебаний поверхности струи во времени. Определим изменение полной энергии жидкости в струе, с учетом потенциальной энергии поверхностного натяжения, и кинетической энергии движущейся жидкости. [55]

Так как изменение энергии поверхностного натяжения жидкости пропорционально изменению площади при искривлении поверхности, найдем ее изменение. Учитывая волновые явления в струе, величина среднего радиуса  $r_0$  подвержена изменениям в различных сечениях, поэтому исследуем изменение площади поверхности на участке длины волны  $\lambda$ , так как, в этом случае, выполняется условие неизменности объема участка струи.[55]

$$W = \pi \int_0^\lambda (r_0 + \alpha_0 \cdot \cos(kz))^2 \cdot dz \quad (2.28)$$

где  $W$  – объем струи на длине волны. [55]

Проинтегрировав и подставив пределы интегрирования, получим:

$$W = \pi(r_0^2\lambda + \alpha_0^2 \frac{\lambda}{2}) \quad (2.29)$$

В тоже время объем струи невозмущенной волновыми явлениями можно представить в виде

$$W = \pi ab\lambda \quad (2.30)$$

где  $a$  – длина большей полуоси эллипса;

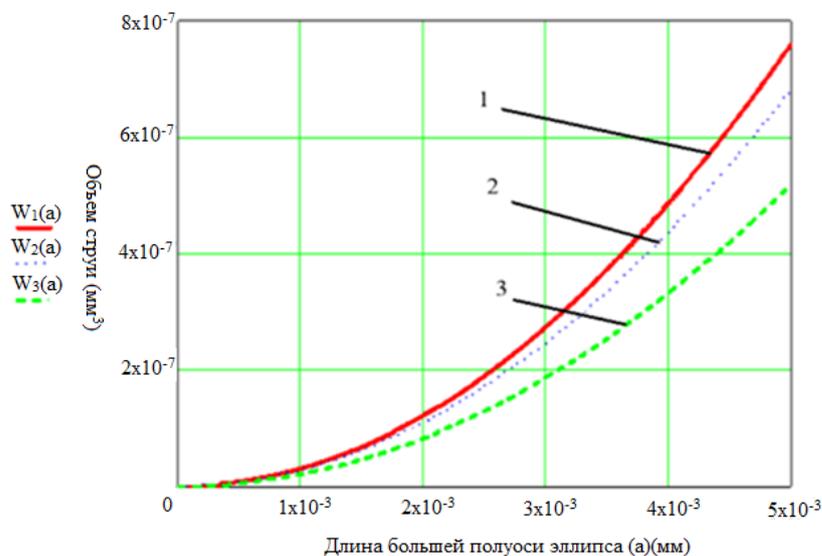
$b$  – длина малой полуоси эллипса. [55]

Учитывая, что длины полуосей связаны соотношением  $b = a\sqrt{1 - e^2}$ , можно записать

$$W = \pi\lambda a^2\sqrt{1 - e^2} \quad (2.31)$$

где  $e$  – эксцентриситет эллипса.

Зависимость объема струи на длине волны от длины большей полуоси эллипса при различных значениях эксцентриситета представлена на рисунке 2.13.



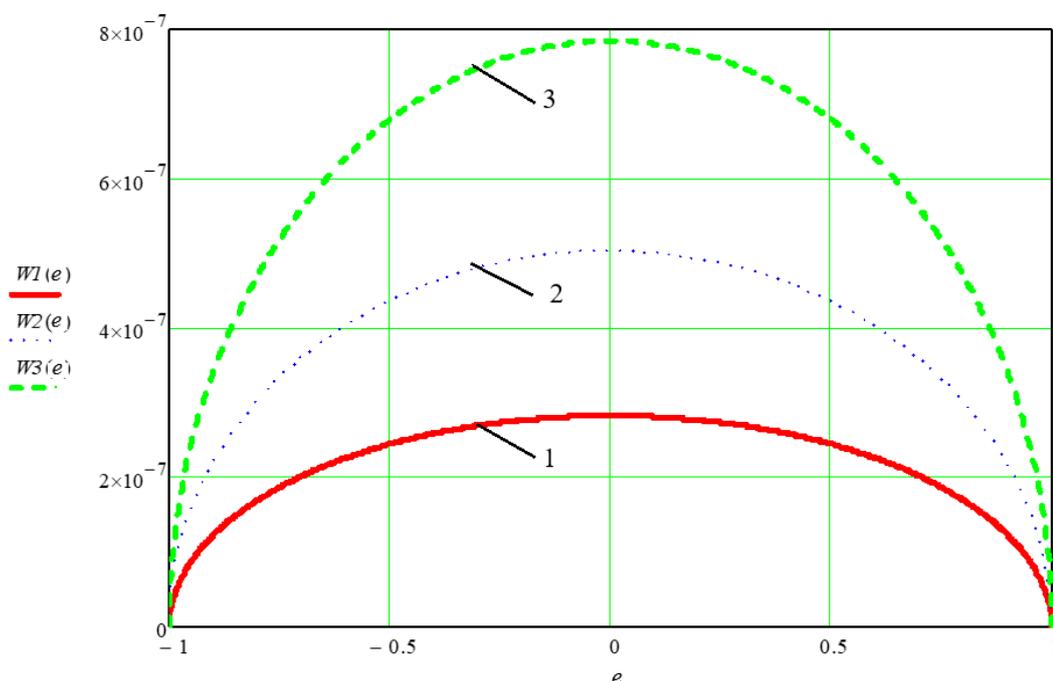
1- величина эксцентриситета  $e=0,25$ ; 2- величина эксцентриситета  $e=0,5$ ;

3- величина эксцентриситета  $e=0,75$

Рисунок 2.13 – Зависимость объема струи на длине волны от длины большей полуоси эллипса при различных значениях эксцентриситета[55]

Анализируя рисунок 2.13, видно, что объем струи на длине волны повышается с размером с увеличением размеров эллипса. Также замечено влияние величины эксцентриситета на объем струи: с увеличением величины эксцентриситета объем струи уменьшается, что обусловлено увеличением частоты колебаний струи (уменьшением длины волны). Также вероятно, что увеличение эксцентриситета приводит к уменьшению расхода жидкости через ФРЭФОСС. [55]

Для подтверждения данной гипотезы построим график зависимости объема струи на длине волны от величины эксцентриситета (рисунок 2.14)



1- длина большей полуоси эллипса  $a = 2,683$  мм; 2- длина большей полуоси эллипса  $a = 3,577$  мм; 3 - длина большей полуоси эллипса  $a = 4,472$  мм;

Рисунок 2.14 – Зависимость объема струи на длине волны от величины эксцентриситета при различных значениях длины большей полуоси эллипса[55]

Анализ рисунка 2.14 показывает, что объем струи на длине волны определяется в большей степени величиной эксцентриситета, нежели площадью поперечного сечения ФРЭФОСС. [55]

Так как объемы струи на участках длины волны равные, - определим соотношение размеров эллипса со средним размером радиуса.

$$\pi \left( r_0^2 \lambda + \alpha_0^2 \frac{\lambda}{2} \right) = \pi \lambda a b \lambda \quad (2.32)$$

Преобразовав, получим

$$r_0 = \sqrt{ab - \frac{\alpha_0^2}{2}} \quad (2.33)$$

Определим площадь искривленной поверхности струи [55]

$$dS = \sqrt{(dr)^2 + (dz)^2} = dz \sqrt{1 + \left(\frac{dr}{dz}\right)^2} \quad (2.34)$$

Продифференцировав выражение (2.22) и подставив в выражение (2.34), получим [55]

$$dS = dz \sqrt{1 + \alpha_0^2 k^2 \sin^2(kz)} \quad (2.35)$$

Разложим подкоренное выражение (2.35) в ряд Маклорена, который выглядит следующим образом [55]:

$$f(x) = f(0) + \frac{x}{1!} f'(0) + \frac{x^2}{2!} f''(0) + \dots \quad (2.36)$$

Представим подкоренное выражение (2.35) в виде:

$$f(x) = \sqrt{1 \pm x^2} \quad (2.37)$$

Тогда производные от подкоренного выражения будут выглядеть следующим образом

$$f'(x) = \pm(1 \pm x^2)^{-\frac{1}{2}} x; f'(0) = 0 \quad (2.38)$$

$$f''(x) = \pm(1 \pm x^2)^{-\frac{1}{2}} \pm x \left[ (1 \pm x^2)^{-\frac{3}{2}} x \right]; f''(0) = 0 \quad (2.39)$$

Так как значение  $\alpha_0^2 k^2 \sin^2(kz) \ll 1$ , то можем предположить, что  $x \ll 1$ , тогда с высокой точностью первые члены разложения будут отражать функцию[55]

$$\sqrt{1+x^2} \approx 1 + \frac{x^2}{2} \quad (2.40)$$

Тогда выражение (2.35) можно записать в виде

$$dS = dz \left( 1 + \frac{1}{2} \cdot \alpha_0^2 k^2 \sin^2(kz) \right) \quad (2.41)$$

Площадь поверхности искривленной струи длиной  $\lambda$  с учетом выражений (2.22) и (2.41) равна:

$$S = \int_S 2\pi r_{\text{пов}} dS = \int_0^\lambda 2\pi(r_0 + \alpha_0 \cdot \cos(kz)) \left( 1 + \frac{1}{2} \alpha_0^2 k^2 \sin^2(kz) \right) dz \quad (2.42)$$

Преобразовав выражение (2.42), проинтегрировав и подставив пределы, получим

$$S = 2\pi\lambda \left( r_0 + \frac{1}{4} r_0 \alpha_0^2 k^2 \right) = 2\pi\lambda r_0 \left( 1 + \frac{1}{4} \alpha_0^2 k^2 \right) \quad (2.43)$$

Подставив значение выражения (2.35) в выражение (2.42) получим

$$S = 2\pi\lambda \left( 1 + \frac{1}{4} \alpha_0^2 k^2 \right) \sqrt{ab - \frac{\alpha_0^2}{2}} \quad (2.44)$$

Периметр эллипса вычисляют по приближенным формулам, из-за сложности расчетов по точной формуле, наиболее распространенной приближенной формулой является формула Рамануджана [55]

$$L \approx \pi \left[ 3(a + b) - \sqrt{(3a + b)(a + 3b)} \right] \quad (2.45)$$

Определим изменение площади поверхности струи при искривлении

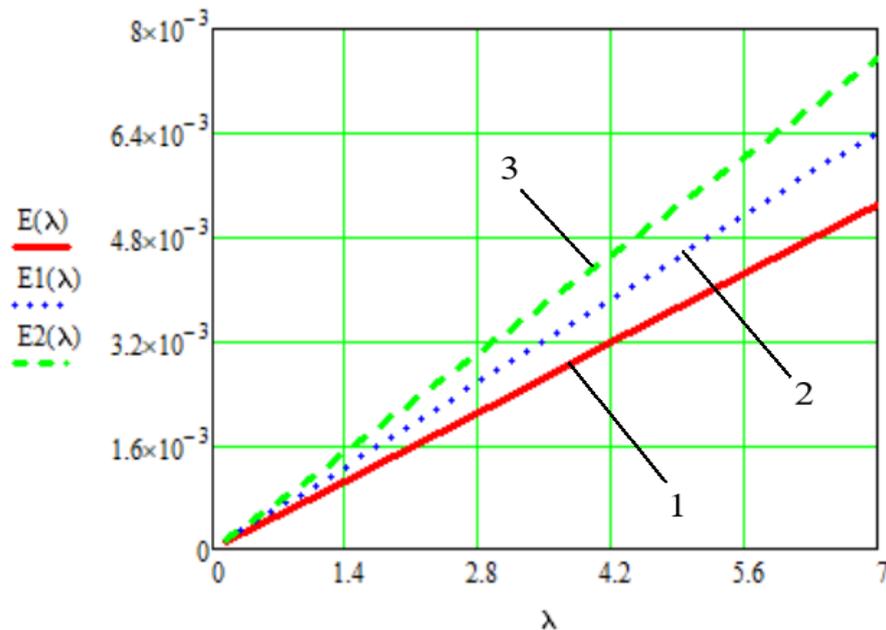
$$\Delta S = 2\pi\lambda \left( 1 + \frac{1}{4} \alpha_0^2 k^2 \right) \sqrt{ab - \frac{\alpha_0^2}{2}} - \pi \left[ 3(a + b) - \sqrt{(3a + b)(a + 3b)} \right] \quad (2.46)$$

Потенциальная энергия поверхностного натяжения для эллипсовидной струи, подверженной волновым явлениям, будет выглядеть следующим образом [55]

$$E_p = 2\pi\lambda\sigma \left[ \left( 1 + \frac{1}{4} \alpha_0^2 k^2 \right) \sqrt{ab - \frac{\alpha_0^2}{2}} - \frac{1}{2} \left[ 3(a + b) - \sqrt{(3a + b)(a + 3b)} \right] \right] \quad (2.47)$$

где  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения.

Рассчитаем значения потенциальной энергии поверхностного натяжения для эллипсовидной струи различного сечения в диапазоне звуковых частот и построим график (рисунок 2.15). [55]



1 – параметры эллипсовидного отверстия  $a=0,003$  м,  $b =0,002$  м; 2 – параметры эллипсовидного отверстия  $a=0,0035$  м,  $b =0,0025$  м; 3 – параметры эллипсовидного отверстия  $a=0,004$  м,  $b =0,003$  м [55]

Рисунок 2.15 – Зависимость потенциальной энергии поверхностного натяжения (Дж) для эллипсовидной струи от длины волны (м) [55]

Анализ рисунка показывает, что с увеличением размеров отверстия ФРЭФОСС возрастает потенциальная энергия поверхностного натяжения для эллипсоидной струи – увеличивается устойчивость струи и длина компактной части струи, следовательно каплеобразование начинается позже.[55]

Причем, чем выше частота колебаний (меньше длина волны), тем ниже потенциальная энергия поверхностного натяжения для эллипсоидной струи, тем легче струя распадается на капли. Изменение характера истечения хорошо заметно на монолитной части для плоских струй, когда приходится несколько периодов похожих на спираль. В зависимости условий подачи жидкости и формы отверстия форсунки-распылителя возможны спиральные и псевдоспиральные формы струи. Псевдоспиральные инверсия при определенных условиях превращается в спиральное закручивание струи[55].

Таким образом, выбирая параметры сечения возможно определять длину струи и характер каплеобразования. [55]

### **2.3 Теоретические исследования параметров ФРЭФОСС для внесения жидких минеральных удобрений**

Азотные удобрения необходимы растениям особенно в начальный период развития. В тоже время за осенне-зимний период часть азота улетучивается в атмосферу. Поэтому в весенний период во время посева вносят азотные удобрения. Запас доступных удобрений в почве рассчитываются на основе содержания питательных веществ в почве, причём, учитывается содержание питательного элемента – азота в пахотном слое применительно к конкретной возделываемой культуре. Масса пахотного слоя определяется исходя из глубины пахоты и плотности почвенного сложения:

$$M = S \cdot h \cdot d_v \cdot 1000 \quad (2.48)$$

где: S – площадь контрольного участка (100 · 100), м<sup>2</sup>

$h$  – глубина пахоты, м;

$d_v$  – плотность почвенного сложения, кг/дм<sup>3</sup>;

1000 – переводной коэффициент.

Запас питательных веществ в почве определяют на основе проведения анализов:

$$Z = П \cdot М \cdot 10^{-6} = П \cdot М \cdot 10^{-6} \quad (2.49)$$

где:  $Z$  – запас питательных веществ в пахотном слое, кг/га;

$П$  – содержание азота в почве, мг/кг;

$М$  – масса пахотного слоя, кг/га;

$10^{-6}$  – коэффициент – перевода мг в кг, мг/кг.

Доза внесения удобрений определяется  $K_1$  использованием питательных веществ и  $K_2$  содержанием питательных веществ в удобрениях:

$$H = \frac{(Z \cdot K_1)}{K_2} \quad (2.50)$$

$K_1$  – коэффициент использования питательных веществ растением;

$K_2$  – содержание питательных веществ в удобрении;

Для внесения жидких минеральных удобрений чаще всего применяются машины имеющие бак с мешалкой, насос дозатор и распределяющее устройство. Расход рабочей жидкости будет определяться давлением и выходным сечением распределяющего устройства. Косвенным параметром, характеризующим эффективность работы распределяющего устройства, будет скорость истечения жидких минеральных удобрений.

$$u = \mu \sqrt{\frac{2gp}{\gamma}} \quad (2.51)$$

где:  $u$  – скорость истечения жидких удобрений, м/с;

$\mu$  – коэффициент, распределения скорости истечения по поперечному сечению, 0,4...0,7;

$p$ –давление жидких удобрений, Па;

$\gamma$ – удельный вес жидких удобрений, Н/м<sup>3</sup>.

Секундная подача  $q$ , (кг/с) определяется скоростью  $u$  жидких удобрений и площадью поперечного сечения  $S$  распределительного устройства:

$$q = uS = \mu S \sqrt{2gp/\gamma} \quad (2.52)$$

Необходимая равномерность распределения жидких удобрений при движении машины обеспечивается скоростью жидких удобрений на выходе из распределительного устройства  $u_{\text{вых}} = \text{const}$ . Определим необходимое давление из уравнения Бернулли:

$$p_{\text{изб}} = \gamma u_{\text{вых}}^2 / (2g) + \sum \Delta p \quad (2.53)$$

$\sum \Delta p$ –сумма местных потерь давления, Па.

Местные потери давления в трубопроводах определяются по формуле:

$$\Delta p_i = \xi_i \gamma [u_i^2 / (2g)] \quad (2.54)$$

С учетом неразрывности потока  $u_i S_i = u_{\text{вых}} S_{\text{вых}}$  местные потери давления определяются по формуле:

$$\Delta p_i = \xi_i (S_{\text{вых}} S_i)^2 [\gamma u_{\text{вых}}^2 / (2g)] \quad (2.55)$$

Тогда подставив (2.55) в формулу (2.53), получим:

$$p_{\text{изб}} = \gamma u_{\text{вых}}^2 / (2g) \left[ 1 + \sum \xi (S_{\text{вых}} / S_i)^2 \right] \quad (2.56)$$

Расход жидких удобрений распределительным устройством ширина захвата машины  $B_p$  и её скорость движения  $v_m$ , [69] определяют подачу жидких удобрений. Запишем условие соответствия расхода жидких удобрений их подаче:

$$\mu S \sqrt{2gp_{изб}/\gamma} = B_p v_m Q_{зад} \quad (2.57)$$

Тогда расход жидких удобрений определится следующей формулой [158]

$$Q_{зад} = \frac{\mu S \sqrt{2gp_{изб}/\gamma}}{B_p v_m} \quad (2.58)$$

Зависимость количества вносимых жидких удобрений ( $Q$ )(кг/м<sup>2</sup>) от давления на выходе из ФРЭФОСС представлена на рисунке 2.16

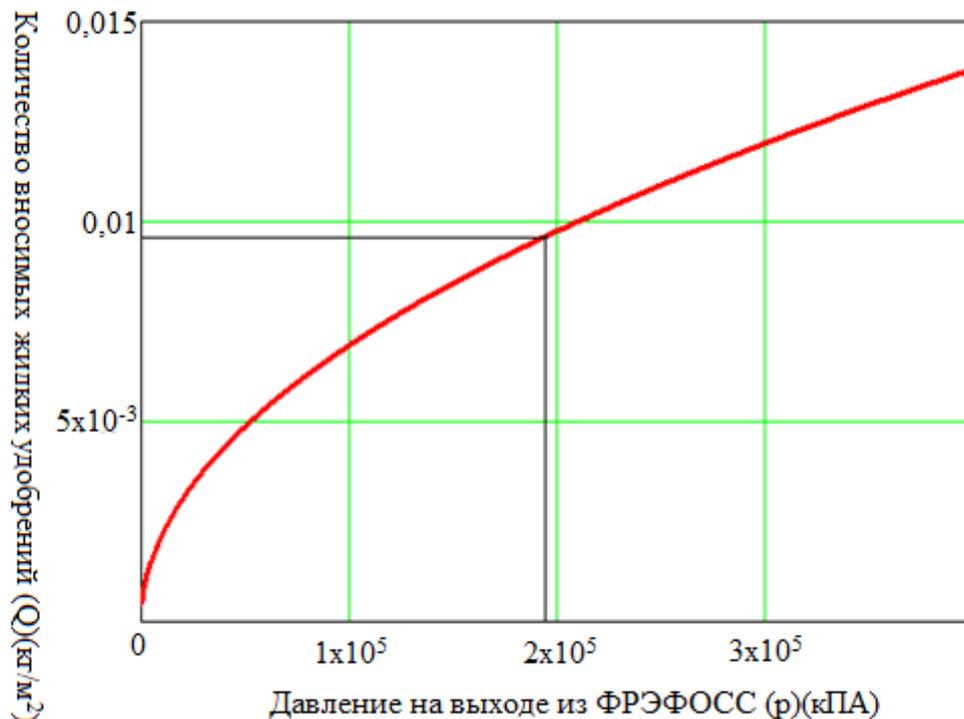


Рисунок 2.16 – Зависимость количества вносимых жидких удобрений ( $Q$ )(кг/м<sup>2</sup>) от давления на выходе из ФРЭФОСС ( $p$ )(кПа)

Анализ рисунка 2.16 показал, что количество вносимых жидких удобрений (кг/м<sup>2</sup>) определяется давлением в магистрали (кПа). Так для 90

л/га необходимо давление жидких минеральных удобрений в магистрали распределительного устройства 200 кПа.

## **Выводы по главе 2**

1. Для повышения эффективности посева сошник сеялки должен содержать уплотнитель с эластичными крыльями и форсункой-распылителем, отверстие которой эллипсовидной формы (ФРЭФОСС).

2. Установлено, что площадь поперечного сечения борозды определяется геометрическими размерами сошника: диаметром, углом наклона радиуса к вертикали и углом между дисками сошника. Площадь поперечного сечения борозды уменьшается при осыпании почвы. При расстоянии 0,025 м от нижней точки сошника до дна борозды поперечное сечение борозды, образованной двумя дисками сошника диаметром 0,4 м составляет 0,0031 м<sup>2</sup>.

3. Увеличение угла между дисками сошника способствует увеличению общей глубины борозды с учетом осыпания почвы. Чем шире борозда, тем на меньшую глубину она осыпается, а в тоже время слишком сильное раскрытие борозды будет способствовать перемешиванию почвы и при её заделке возможно попадание верхних слоёв почвы вниз борозды к семенам. Поэтому для обеспечения посева семян на глубине от 0,03 до 0,05 м рациональным значением угла между дисками будет 5 градусов.

4. Установлено, что для обеспечения прослойки почвы между семенами и азотными удобрениями необходимо часть почвы стенок борозды ссыпать на дно борозды, используя крылья уплотнителя. Таким образом, для глубины прослойки борозды 0,015 м ширина крыльев уплотнителя должна составлять 0,055 м.

5. Установлено, что для расхода жидких удобрений 90 кг/га и ФРЭФОСС с параметрами эллипсовидного отверстия  $a=0,004$  м,  $b=0,003$  м необходимо давление жидких минеральных удобрений в магистрали распределительного устройства около 200 кПа.

### **3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОШНИКА СЕЯЛКИ**

#### **3.1 Программа лабораторного исследования**

Программа лабораторного исследования ФРЭФОСС для внесения жидких минеральных удобрений в рядок при севе семян включала следующие этапы:

1) разработка и создание лабораторной установки для исследования параметров ФРЭФОСС;

2) оценка эффекта каплеобразования ФРЭФОСС. Варьируемыми факторами являлись площади и формы отверстий ФРЭФОСС. В качестве оптимизации мы рассматривали размер капель, так как изменение формы отверстия способствует колебанию жидкости в струе, что приводит к уменьшению капель. Также в качестве оптимизации рассматривалась ширина факела распыла.

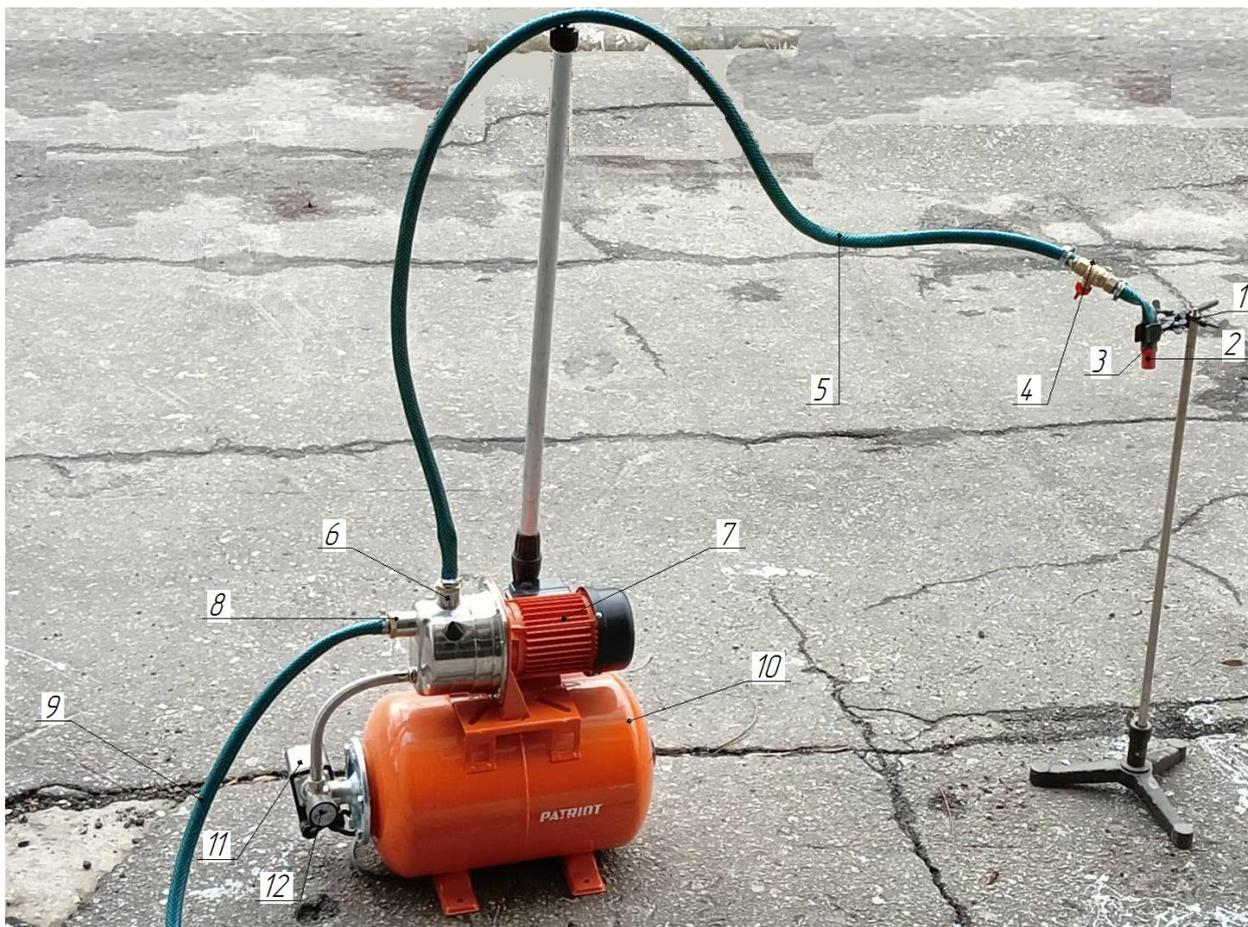
3) уточнение параметров ФРЭФОСС для внесения жидких минеральных удобрений в рядок при севе семян под влиянием давления и угла наклона струи на эффективность каплеобразования. В качестве функции оптимизации брали размер капель и ширину факела распыла.

#### **3.2 Методика экспериментальных исследований параметров ФРЭФОСС**

Теоретическими исследованиями обоснованы основные показатели, определяющие параметры ФРЭФОСС, которыми являются форма отверстия, давление в системе, площадь внесения, размер капель раствора. В процессе работы ФРЭФОСС [147], поведение жидкости потока зависит от площади поперечного сечения, его формы, давления в трубопроводе. Характеристики каплеобразования, наблюдаемого при этом, являются важнейшими характеристиками, влияющими на площадь и равномерность распределения рабочей жидкости.

Для их уточнения были проведены экспериментальные исследования в лабораторных условиях.

Для проведения лабораторных исследований форсунок-распылителей [147] с поперечным отверстием различной площади и формы, на базе кафедры ТМ и РМ инженерного факультета была собрана установка (рисунок 3.1).



1 – штатив, 2 - ФРЭФОСС, 3 – вспомогательный стержень, 4 – шаровой кран, 5- выводной шланговый канал, 6 – выходной патрубок, 7 - однофазный асинхронный двигатель, 8 – входной патрубок, 9 – входной шланговый канал, 10 – гидроаккумулятор, 11 – реле давления, 12 – манометр [138]

Рисунок 3.1 – Общий вид лабораторной установки

После включения однофазного асинхронного двигателя 7 насосной станции рабочая жидкость заполняет гидроаккумулятор 10 из водопроводной

сети через входной патрубок 8 в насосную часть по водопроводному шлангу 9. При достижении определенного показателя давления воды, в системе верхнего предела настройки реле давления 11, насос отключается. Показания давления определяют по манометру 12. Затем вода через выходной патрубок 6 через выводной канал (шланг) 5 поступает к шаровому крану 4. Шаровой кран 4 служит для смены ФРЭФОСС и управления истечением жидкости через ФРЭФОСС 2, закрепленную в лапке на стержне 3 штатива 1. [147]

На форму струи, вытекающей из отверстия некруглой формы, влияет процесс инверсии.[147] Этот процесс обусловлен взаимодействием силы поверхностного натяжения, стремящейся свести к минимуму площадь наружной поверхности струи, и силы инерции, которая направлена на сохранение количества движения массы частицы жидкости, находящейся на траектории элементарной струйки. Для проведения исследований были изготовлены ФРЭФОСС с различными площадью и формой отверстий, параметры которых указаны в таблице 3.1. Форма отверстий представляла собой эллипс с разным соотношением большой и малой осей.

Для проведения эксперимента была разработана матрица планирования, представленная в таблице 3.1

Таблица 3.1 – План эксперимента по оценке влияния площади и формы отверстий форсунки-распылителя на каплеобразование и расход жидкости

Уровни варьирования	Факторы варьирования				Функции оптимизации	
	Площадь отверстия ( $s_o$ )		Форма отверстия ( $d_o$ )		Средний размер капель	Расход жидкости через отверстие
	натур.знач., (площадь, мм <sup>2</sup> )	кодир. знач.	натур.знач., (форма отверстия)	кодир. знач	мм <sup>2</sup>	мл/мин
Верхний	18,1	+1	1,5	+1	$d_{к1}$	$\mu_1$
Нулевой	12,6	0	1,25	0	$d_{к2}$	$\mu_2$
Нижний	7,1	-1	1	-1	$d_{к3}$	$\mu_3$

Для оценки влияния площади и формы отверстий ФРЭФОСС на каплеобразование и расход жидкости была проведена серия экспериментов. Варьируемыми факторами являлись площадь и форма отверстий ФРЭФОСС.

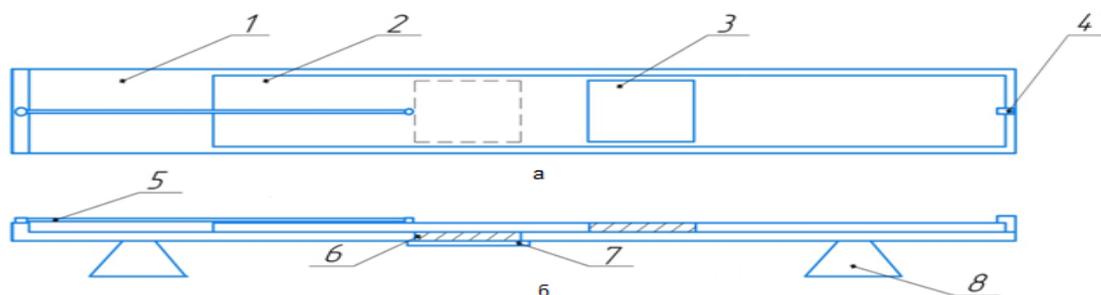
Для оценки размеров капель была использована бумага фильтровальная с размерами 200x200x0,5 мм и плотностью 75 г/м. кв. Фильтровальная бумага вставлялась в специальную оправку с установленным временем экспозиции (рисунок 3.2). [147]



1 – подвижная часть (шторка), 2 – окно прерывателя потока, 3 – резиновый жгут, 4 – прищепка -фиксатор, 5 – неподвижная часть оправки [147]

Рисунок 3.2 – Общий вид оправки уловителя капель [147]

Оправка представляет собой основание с подвижной шторкой. Основание и шторка были изготовлены из сотового поликарбоната длиной 1 метр. Фильтровальная бумага закреплялась на основании в специальном окне 150x150 мм. Для исключения излишнего намочания экспозиции получения капель проводилась регулировка за счет изменения скорости шторки подвижной части оправки (рисунок 3.3).



1 – неподвижная часть, 2 – подвижная часть (шторка),  
3 – окно прерывателя потока, 4 – рамка, 5 – резиновый жгут, 6 – окно уловителя, 7 – фильтровальная бумага, 8 – опорное основание [147]

Рисунок 3.3 – Схема оправки уловителя [147]

В момент проведения эксперимента нажимали на фиксатор шторки, впоследствии шторка открывала фильтровальную бумагу на определенное время. В результате на фильтровальную бумагу попадало несколько капель, что исключало слияние капель. Попавшие капли впитывались в бумагу и оставляли след в виде пятна. Затем по полученным пятнам оценивали средний размер капель. Время экспозиции устройства регулировалось с помощью натяжения резинового жгута. Давление в системе нагнеталось с помощью насосной станции марки PatriotPW 1200-24P, оборудованной реле давления с манометром. [147]

Исследование каплеобразования заключалось в оценке размеров капель ФРЭФОСС с отверстием различной формы и площади. На лабораторную установку в соответствии с планом эксперимента монтировались различные ФРЭФОСС. Каплеуловитель устанавливали по периферии струи, где исключено слияние капель. Время экспозиции шторки составляло 0,22 секунды, скорость движения шторки составляла 0,69 м/сек.

Капли, зафиксированные на фильтровальной бумаге, выбирались наиболее типичные и проводилось их измерение. Повторность эксперимента трехкратная.

Воспроизводимость опытных данных производили с помощью коэффициента Кохрена. Коэффициент Кохрена рассчитывался, как отношение максимальной дисперсии  $S^2\{y_i\}_{\max}$  среди всей совокупности к общей сумме дисперсий  $S^2\{y_i\}$ ,

$$G_p = \frac{S^2\{y_i\}_{\max}}{\sum_{i=1}^N S^2\{y_i\}} \quad (3.1)$$

где  $S^2\{y_i\}_{\max}$  - максимальная дисперсия;

$S^2\{y_i\}$  - сумма дисперсий в сериях экспериментов.

Расчетные значения коэффициента Кохрена для опытов по определению каплеобразования и расхода жидкости соответственно равны 0,3019 и 0,3316.

Коэффициент  $G_T$  находим по таблице по значению  $N$ , где  $N$  – число повторений опыта, а  $m$  – количество серий опыта, причем выбираем по значению  $(m - 1)$ . Коэффициента Кохрена  $G_T$ , полученный на основании табличных данных значений сравниваем с расчетным. В случае, когда условие выполняется,

$$G_p < G_T \quad (3.2)$$

дисперсии считаются однородными с выбранным уровнем статистической значимости  $\alpha = 5 \%$ , а опыты считаются воспроизводимыми. Табличные значения коэффициента Кохрена для обеих серий опытов равны 0,6167. Расчетные значения не превышают табличные значения, что свидетельствует о воспроизводимости результатов опытов. Опытные данные обрабатывались в программе Statistika для получения уравнения регрессии и построением графиков зависимостей.

$$d_k = 5,4108 + 5,236 \cdot d_o + 1,047 \cdot s_o + 2,0943 \cdot d_o^2 + 0,7852 \cdot d_o \cdot s_o + 2,8793 \cdot s_o^2 \quad (3.3)$$

где  $d_k$  - диаметр следа капли на фильтровальной бумаге, мм<sup>2</sup>;

$d_o$  – форма отверстия ФРЭФОСС (соотношение большой и малой оси эллипса);

$s_o$  – площадь поперечного сечения ФРЭФОСС.

Статистический анализ уравнения регрессии показал, что уравнение описывает опытные данные с коэффициентом детерминации 0,89, при этом коэффициент регрессии составляет 0,94, что свидетельствует об адекватности полученного уравнения регрессии опытными данными. Анализ уравнения регрессии показал, что наибольшую значимость имеет площадь сечения форсунки-распылителя, в тоже время форма отверстия также влияет на процесс каплеобразования. Уравнение регрессии было представлено в виде графика зависимости размера капель на фильтровальной бумаге от площади и коэффициента формы отверстия (рисунок 3.4).

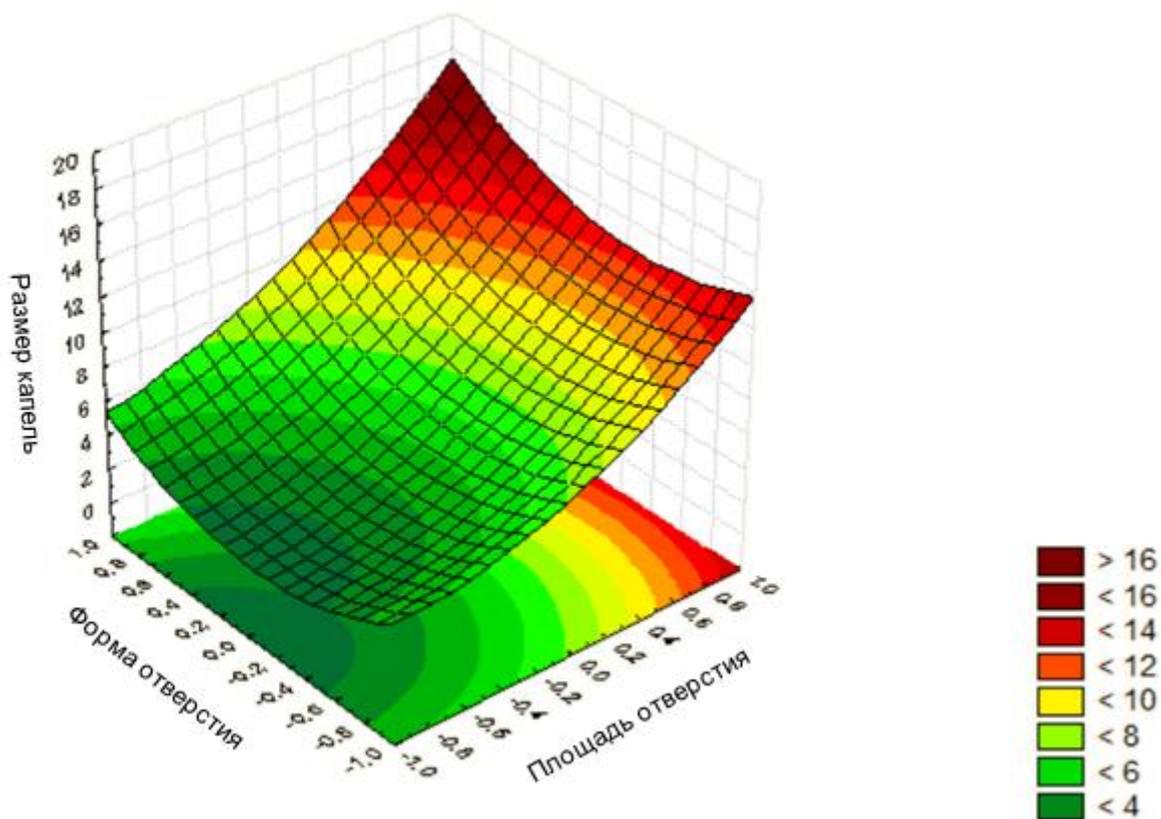


Рисунок 3.4 – Зависимость размера капель от площади и формы отверстия

Анализ рисунка показывает, что наименьший размер капель наблюдается при уменьшении диаметра отверстия ФРЭФОСС. Также наименьшее значение размера капель [136] достигается при коэффициенте формы соответствующему нулевому уровню. Расшифровав кодированные значения факторов, установлено, что наименьший размер капель получен при использовании ФРЭФОССс формой отверстия, где соотношение большой оси к малой - 1,25 и площадью поперечного сечения отверстия  $7,1 \text{ мм}^2$ .

Для оценки расхода жидкости ФРЭФОСС была проведена серия экспериментов. Расход жидкости определялся с помощью мерного стакана при истечении рабочей жидкости через отверстие в течении одной минуты.

В результате обработки опытных данных получено уравнение регрессии.

$$\mu = 84,4444 + 15,8333 \cdot d_0 - 18,3333 \cdot s_0 - 7,1667 \cdot d_0^2 + 6,5 \cdot s_0 \cdot d_0 + 10,3333 \cdot s_0^2 \quad (3.4)$$

где  $\mu$  - расход жидкости через отверстие, мл/мин;

$d_0$  – форма отверстия ФРЭФОСС(соотношение большой и малой оси эллипса);

$s_0$  – площадь поперечного сечения ФРЭФОСС.

Коэффициент детерминации составил 0,98, коэффициент регрессии равен 0,99, что свидетельствует об адекватности полученного уравнения регрессии опытных данных.

Также была построена зависимость расхода жидкости от площади отверстия и коэффициента его формы. (рисунок 3.5)

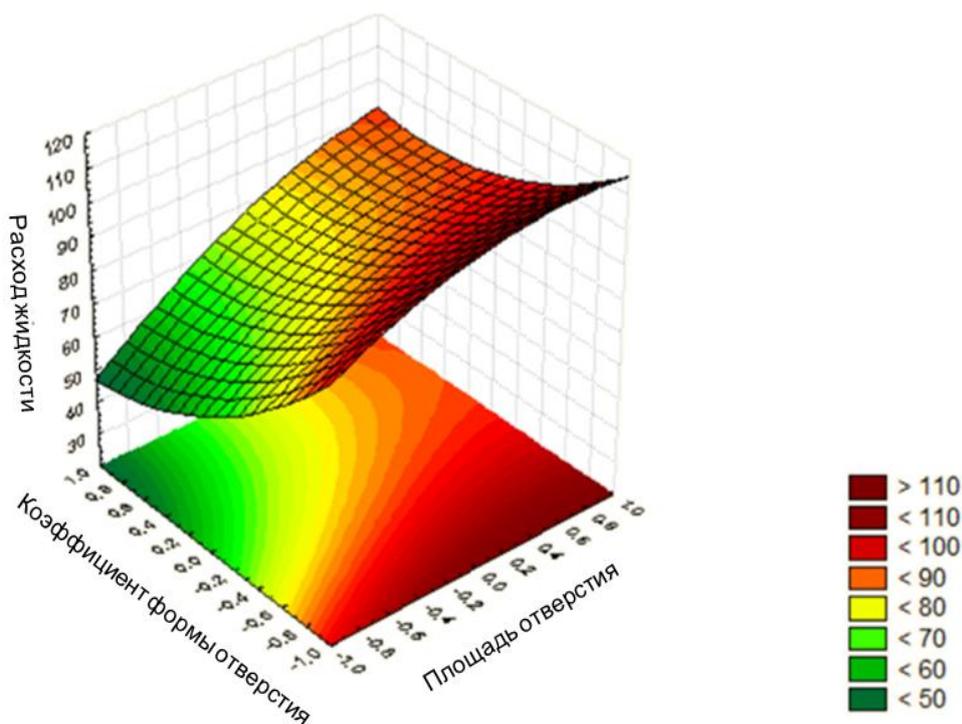


Рисунок 3.5– Зависимость расхода жидкости от площади отверстия и коэффициента его формы

Анализ графика показывает, что площадь поперечного сечения отверстия и коэффициент формы оказывают влияние на расход жидкости. Наименьший расход жидкости соответствует минимальному размеру отверстия и наибольшему коэффициенту формы 1,5.

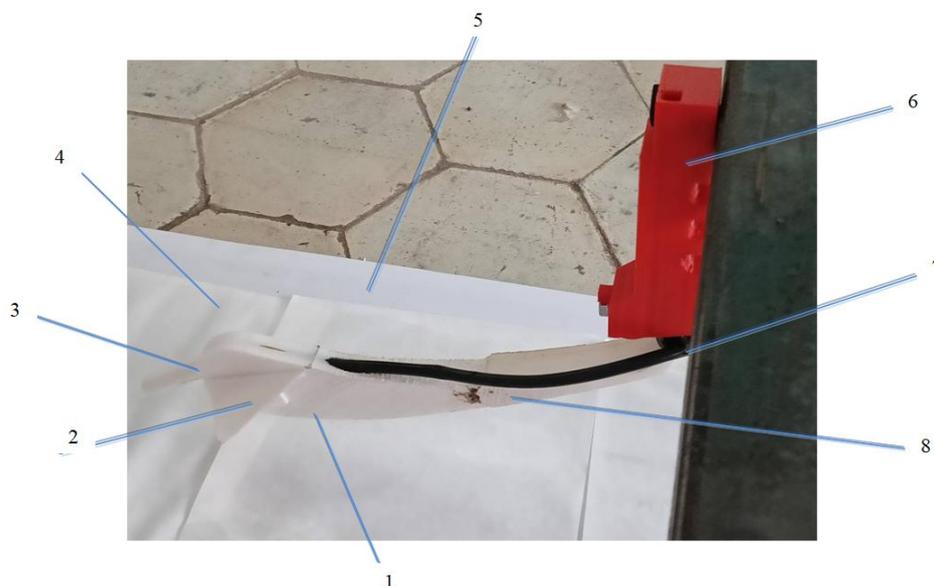
Следует отметить, что при коэффициенте формы 1,25 величина расхода существенно не увеличивается, что обусловлено колебанием жидкости внутри струи. Максимальная величина расхода жидкости соответствует кодированному значению площади поперечного сечения +1 и кодированному значению формы отверстия -1, что соответствует отверстию круглого сечения площадью 18,1 мм<sup>2</sup>. [147]

Теоретическими исследованиями установлено, что параметры ФРЭФОСС влияют на каплеобразование и расход. Также на расход будет влиять ширина факела распыла ФРЭФОСС, которая в свою очередь, определяется расстоянием до почвы и углом факела распыла. Для проведения лабораторных исследований была разработана установка, включающая приводную тележку и насосную станцию, которая поддерживает необходимое давление (рисунки 3.6, 3.7)



1 – полимерный поддон; 2 – подвижный металлический каркас;  
3 – штатив; 4 – насосная установка; 5 – ФРЭФОСС; 6 – лабораторная бумага;

Рисунок 3.6 – Общий вид лабораторной установки для исследования ФРЭФОСС



1 – уплотнительная часть; 2 – эластичные крылья; 3 – ФРЭФОСС; 4 – лабораторная бумага; 5 – полимерный поддон; 6 – фиксатор; 7 – шланг; 8 – упругая часть;

Рисунок 3.7 – Общий вид лабораторной установки для исследования параметров ФРЭФОСС для внесения жидких минеральных удобрений в рядок

Для проведения исследований была составлена матрица планирования эксперимента:

Таблица 3.2 – План эксперимента по оценке влияния высоты и расстояния до земли форсунки-распылителя на ширину и угол факела распыла

Уровни варьирования	Факторы варьирования				Функции оптимизации	
	Высота форсунки-распылителя ( $h_{\phi}$ )		Скорость уплотнителя		Ширина факела распыла	Расход
	натур.знач., (мм)	кодир. знач.	натур.знач., (мм)	кодир. знач.	Мм	кг/100м <sup>2</sup>
Верхний	30	+1	$v_{y1}$	+1	$b_{\phi1}$	$Q_1$
Нулевой	20	0	$v_{y2}$	0	$b_{\phi2}$	$Q_2$
Нижний	10	-1	$v_{y3}$	-1	$b_{\phi3}$	$Q_3$

При поверхностном внесении через ФРЭФОСС расход удобрений определяют с помощью дозирования в мерные ёмкости из одной средней и

двух крайних ФРЭФОСС каждого размера отверстия при давлении в лабораторной установке.

Параметры отобранного удобрения (количество, объем и вес) измерялись с помощью объемного и весового метода соответственно. Погрешность измерений  $\pm 1$  см (г).

Продолжительность замера количества жидкости при установившемся режиме работы ФРЭФОСС измерялась с помощью секундомера. Опыты проводились в трехкратной повторности. В процессе обработки результатов, полученные данные записывались, после чего вычислялось среднее арифметическое значение с округлением до первого десятичного знака.

Продолжительность замера количества жидкости при установившемся режиме работы ФРЭФОСС измерялась с помощью секундомера. Опыты проводились в трехкратной повторности.

Ширину распыла одного ФРЭФОСС определяют на тех же режимах и распылителях, что и расход удобрения. Распылители устанавливаются над горизонтальной поверхностью почвы на высоте  $H$  и углом наклона в соответствии с руководством по эксплуатации. Измерения ширины распыла распылителя проводят по крайним каплям удобрения, поступающего на горизонтальную поверхность почвы. Высоту установки ФРЭФОСС измеряют от вершины угла распыла до горизонтальной поверхности почвы.

Таким образом, анализируя экспериментальное исследование можно заметить, что коэффициент формы отверстия способствует возникновению колебательных процессов внутри струи жидкости, что приводит к уменьшению расхода через поперечное сечение ФРЭФОСС, а также способствует лучшему каплеобразованию – уменьшению размера капель.

### **3.3 Результаты экспериментальных исследований параметров ФРЭФОСС**

В результате проведенных исследований получена зависимость расхода жидкости  $\text{кг}/100\text{м}^2$  от скорости посева и высоты расположения ФРЭФОСС над обрабатываемой поверхностью поля.

$$Q = 0,4178 + 0,0217 \cdot h_{\phi} + 0,015 \cdot V - 0,0517 \cdot h_{\phi}^2 - 0,0225 \cdot h_{\phi} \cdot V + 0,0483 \cdot V^2 \quad (3.5)$$

где  $Q$  – расход жидких удобрений кг/100м<sup>2</sup>;

$h_{\phi}$  – высота расположения ФРЭФОСС;

$V$  – скорость вид лабораторной установки.

Анализ уравнения показал, что наиболее значимым фактором является скорость движения лабораторной установки (ФРЭФОСС). На основании уравнения регрессии построен график зависимости расхода от скорости и высоты расположения ФРЭФОСС над обрабатываемой поверхностью поля (рисунок 3.8).

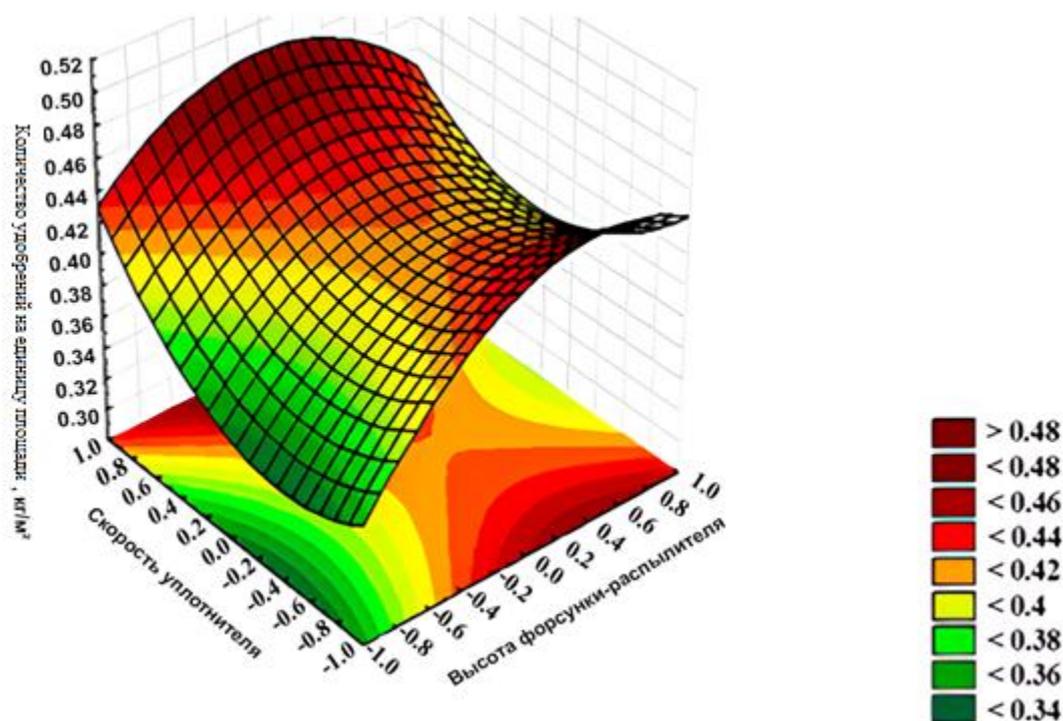


Рисунок 3.8 – Зависимость количества удобрений на единицу площади кг/100м<sup>2</sup> от скорости и высоты расположения ФРЭФОСС над обрабатываемой поверхностью поля.

Анализ рисунка 3.8 показал, что рациональными кодированными значениями скорости уплотнителя является 0,2 и высоты форсунки – распылителя 0,2, что соответствует реальным значениям скорости 2,05 м/с и высоты расположения ФРЭФОСС над обрабатываемой поверхностью поля 23 мм, тогда расход жидких минеральных удобрений равен 0,42 кг/100м<sup>2</sup>.

Высоту расположения ФРЭФОСС измеряли от вершины угла распыла до горизонтальной поверхности почвы [40]. В результате проведенных исследований получена зависимость ширины распыла от скорости и высоты расположения ФРЭФОСС над обрабатываемой поверхностью поля.

$$b_{\phi} = 2,44 + 0,0483 \cdot h_{\phi} + 0,0367 \cdot V - 0,065 \cdot h_{\phi}^2 - 0,035 \cdot h_{\phi} \cdot V + 0,05 \cdot V^2 \quad (3.6)$$

где  $b_{\phi}$  – ширина распыла ФРЭФОСС, мм.

Анализ уравнения показал, что наиболее значимым фактором является высота расположения ФРЭФОСС. На основании уравнения регрессии построен график зависимости ширины распыла от скорости и высоты расположения ФРЭФОСС (рисунок 3.9).

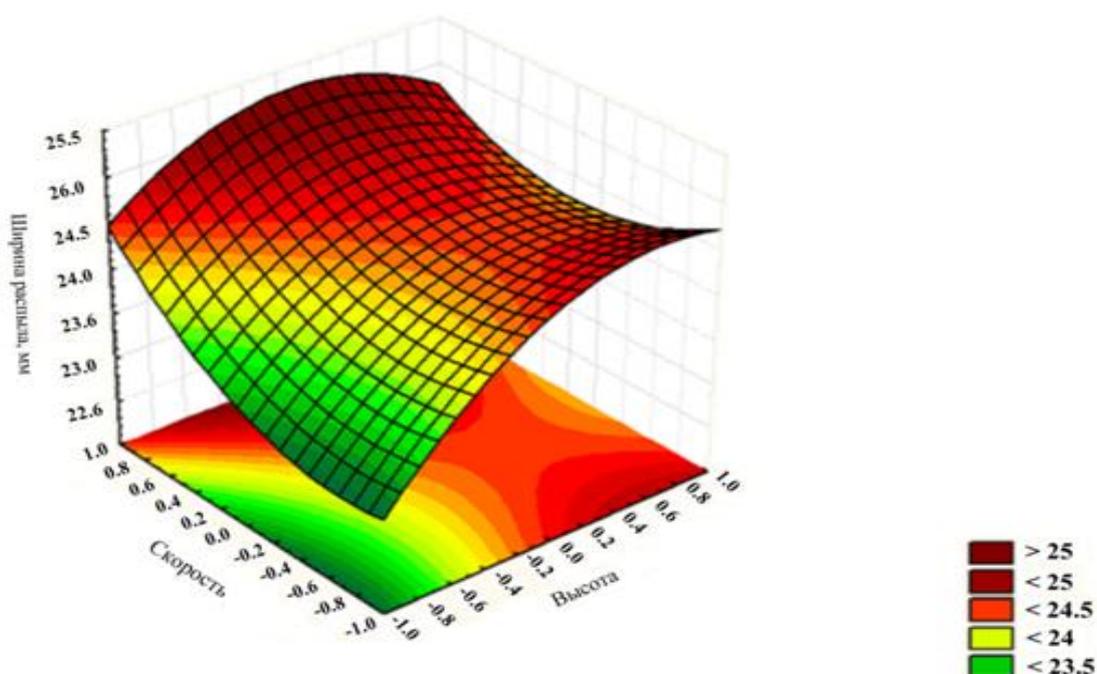


Рисунок 3.9 – Зависимость ширины распыла от скорости и высоты расположения ФРЭФОСС

Анализ рисунка 3.9 показал, что рациональными кодированными значениями являются скорость 0,2 и высота расположения ФРЭФОСС (-0,2), что соответствует реальным значениям скорости 1,99 м/с и высоты расположения ФРЭФОСС 24 мм, тогда ширина распыла ФРЭФОСС составляет 24,5 мм.

Также в процессе лабораторно-полевых исследований исследовались размеры борозды, глубина заделки семян и удобрений. Глубину заделки семян и удобрений измеряли с помощью линейки [50] (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Измерение глубины заделки семян сеялки УР 825А

В результате исследований установлено - стабильность глубины заделки семян и удобрений в пределах агротехнических требований с учетом заданной настройки сеялки. Глубина заделки семян составляла 0,03 м, глубина внесения удобрений около 0,015 м.

### **Выводы по главе 3**

1. Анализируя работу ФРЭФОСС установлено, что коэффициент формы отверстия влияет на протекание колебательных процессов внутри струи жидкости, а его рациональный выбор приводит к уменьшению расхода через поперечное сечение ФРЭФОСС и способствует лучшему каплеобразованию – уменьшению размера капель.

2. В результате экспериментальных исследований получено: наименьший размер капель достигается на ФРЭФОСС с соотношением большой оси к малой - 1,25.

3. В результате экспериментальных исследований установлено, что рациональными значениями являются: скорость агрегата- 1,99-2,05 м/с, высота форсунки–распылителя - 23-24 мм при расходе жидких удобрений 0,42 кг/100м<sup>2</sup> и ширине распыла форсунки – 24,5 мм.

## **4 РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА, ОСНАЩЕННОГО ФРЭФОСС**

### **4.1 Условия проведения и методика полевых исследований**

В начальный период роста растений важны именно азотные удобрения, но при основном внесении в почву они не используются из-за того, что азот твердых минеральных удобрений быстро улетучивается в атмосферу. Из-за чего, возникает снижение эффективности подкормки, поскольку растения не могут вовремя использовать азот. В доступной же форме (растворенные в воде до определенной концентрации) жидкие минеральные удобрения, такие как КАС 32, весьма эффективны хоть и обладают высокой концентрацией.

При использовании КАС 32, если вовремя не обеспечить защиту проростков и корневой системы произойдет химический ожог растений. Для защиты растений размещают семена на некотором расстоянии от зоны внесения удобрений.

Карбамид-аммиачная селитра – жидкое удобрение, содержащее 32% азота. Интересно производителям оно из-за содержания этого элемента питания в трех формах: нитратной, амидной и аммонийной. КАС теряет намного меньше азота, чем твердые минеральные удобрения. Поэтому припосевное применение этого удобрения наиболее целесообразно.

С учетом вышеизложенного - наиболее подходящей для внесения КАС 32 в рядок с последующей заделкой семян, является пропашная сеялка УР 825 А. Сошники этой сеялки отличаются высокой точностью высева, имеют длительный срок службы и их легче обслуживать, чем конкурентные аналоги. Конструкция параллелограммного крепления позволяет сохранять оптимальное рабочее положение сошника на любой поверхности [35, 43, 44, 45].

Большое стальное подпружиненное колесо ходового привода обеспечивает плотный контакт с поверхностью, что гарантирует высокую

точность внесения удобрений в почву. При междурядье 70 см и использовании технологии двойных рядов, возможно настроить необходимую конфигурацию сеялки в соответствии с условиями эксплуатации и, при этом, сохранить высокую точность высева [35].

Пропашная сеялка YP 825 А агрегатировалась с трактором McCORMICK TTX230 (рисунок 4.1)



Рисунок 4.1 – Общий вид агрегата: трактор McCORMICK TTX230  
сеялка Great Plains YP 825A

Принцип работы заключается в нарезании борозд и высева семян с последующей их заделкой. [51] При этом семена ложатся на одну глубину и в заданном диапазоне, а сошники регулируют глубину заделки семян.

Сеялка имеет раму с культивирующими органами и посевными секциями. Посевная секция имеет высевающий механизм, обеспечивающий подачу и укладку семян в рядок и заделывающее устройство (уплотнитель), закрывающее посевное ложе. Привод высевающего аппарата, как правило, осуществляется от колес сеялки с помощью цепей, валов и шестерен, реже от валов трактор либо от гидропривода.

- с централизованным бункером высева;

- в виде высевных секций как отдельных модулей в составе бункера и высевного аппарата;

- как комбинация на основе централизованного бункера и высевных секций модулей.

Неравномерность распределения удобрения между форсунками-распылителями по ширине захвата машины определяют не менее чем на трех дозах внесения удобрения (минимальной, средней, максимальной). Для оценки неравномерности распределения удобрения используют приспособление (рисунок 4.2), состоящее из насадок с боковыми отверстиями (по размеру форсунок-распылителей) с надетыми на них шлангами. Шланги должны быть соединены в единую систему при помощи планки. Насадки со шлангами надевают на распылители и закрепляют. Неравномерность распределения удобрений на штангах с числом распылителей более 15 допускается определять на половине штанги.

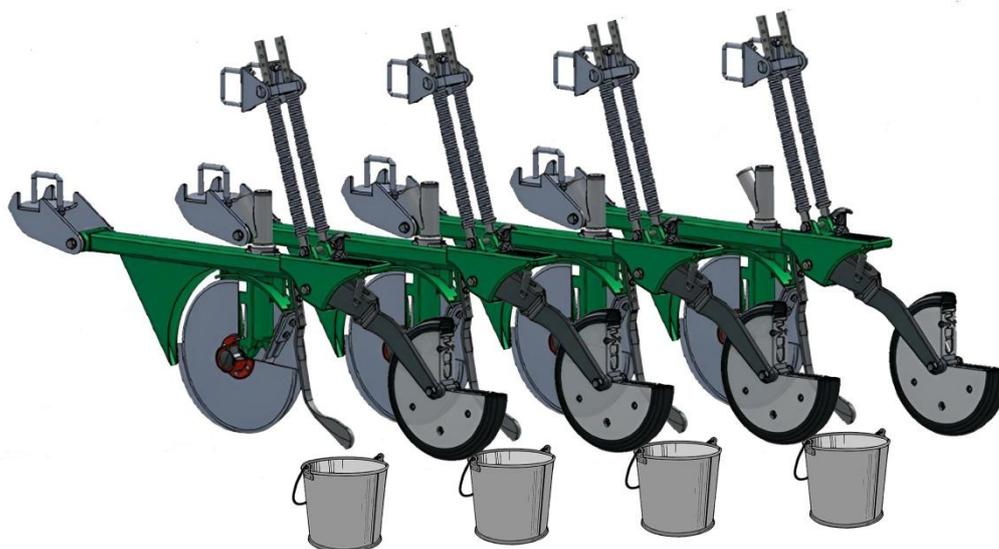


Рисунок 4.2 - Схема оценки неравномерности подачи жидких удобрений

Под каждой форсункой-распылителем подставляют два улавливающих сосуда: один - для улавливания удобрения при установке режима, другой - мерный.

Во время отбора проб шланги перемещают при помощи планки таким образом, чтобы удобрение поступало в мерные емкости. Продолжительность отбора проб при установившемся режиме работы форсунок-распылителей должна быть не менее 30 с. Повторность трехкратная. Количество поступившего в емкости удобрения определяют весовым или объемным методом с погрешностью  $\pm 1$  г (см<sup>3</sup>) [143].

Обработку данных выполняют в следующей последовательности:

1) вычисляют среднее арифметическое значение массы (объем) удобрения,  $\bar{q}$  (см<sup>3</sup>), поступившего в сосуды из всех форсунок-распылителей, по ширине внесения по формуле 4.1 [123]:

$$\bar{q} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n} \quad 4.1$$

«где  $\bar{q}$  - масса (объем) удобрения, поступившего в сосуды из форсунки-распылителя, г (см<sup>3</sup>);

$n$  - число форсунок-распылителей в системе;

2) вычисляют стандартное отклонение,  $\sigma$  (см<sup>3</sup>), по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{q} - q_i)^2}{n - 1}} \quad 4.2$$

3) неравномерность распределения удобрения  $\gamma$ , %, между отдельными распылителями (жиклерами), по ширине внесения вычисляют по формуле:

$$\gamma = \frac{\sigma}{\bar{q}} \cdot 10^2 \quad 4.3$$

## 4.2 Результаты полевых исследований

Полевые исследования сеялки УР 825Ас модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений проводились в ИП Глава

крестьянского (фермерского) хозяйства Гусев Е. А. Сапожковского района Рязанской области в период апрель ноябрь 2022 года.

Полевые исследования сеялки с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений велись по двум основным направлениям: оценка неравномерности внесения жидких минеральных удобрений ФРЭФОСС и сравнительная оценка показателей сеялки УР 825А с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений, с показателями серийно выпускаемой модели пропашной сеялки. На сошники сеялки устанавливали уплотнители с крыльями для засыпки борозды с семенами и ФРЭФОСС (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Монтаж модернизированных уплотнителей с ФРЭФОСС на сеялку УР 825А

Исследования проводились на подсолнечнике сорта «Ароматик» (рисунок 4.4) на площади 370 га. Предшественник яровая пшеница сорта «Ваник» , основная расход минеральных удобрений 220 кг/га диамофоски (10-26-26).



Рисунок 4.4 – Результаты посева подсолнечника сорта «Ароматик»

Полевые испытания показали:

1. Неравномерности внесения жидких минеральных удобрений ФРЭФОСС составила 7,6% при расходе 90 л/га КАС-32.

2. ФРЭФОСС при внесении жидких минеральных удобрений обеспечивает работоспособность на скоростях движения посевного агрегата трактор McCORMICK TTX230 + сеялка Great Plains YP 825A 8 км/ч. Глубина хода сошников составляла 2...4 см, глубина внесения жидких минеральных удобрений 1...2 см.

3. Применение ФРЭФОСС при внесении жидких минеральных удобрений сеялкой Great Plains YP 825A позволило получить урожайность 32 ц/га, что на 18,5% больше, чем на контрольном участке.

На основе полученных результатов можно сделать заключение, что распределение высококонцентрированных жидких минеральных удобрений по ширине борозды с предварительной присыпкой семян почвой позволяет в условиях хозяйств повысить урожайность подсолнечника и улучшить структуру урожая.

#### **4.3 Экономический эффект от внедрения сеялки YP 825A с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений**

«Экономические показатели по сеялки YP 825A с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений определяют в расчете на единицу наработки 370 га».

«Затраты труда на единицу вида работы  $Z_{\text{тр}i}$ , чел.-ч/га, вычисляют по формуле»

$$Z_{\text{тр}i} = \frac{\lambda_{\text{мех}i}}{W_{\text{см}i}}, \quad (4.4)$$

где  $\lambda_{\text{мех}i}$  - «количество основного и вспомогательного персонала (механизаторы и вспомогательные рабочие), обслуживающего МТА в течение смены на уборке подсолнечника, чел. (1 механизатор и 10 вспомогательные рабочие);»

$W_{см_i}$  - «производительность по сеялке УР 825А с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений за 1 ч сменного времени при посеве подсолнечника, га/ч.»

Прямые эксплуатационные затраты денежных средств, приходящиеся на выполнение единицы наработки  $Z_{экс_i}$ , рублей/га, вычисляют по формуле

$$Z_{экс_i} = Z_{о.т_i} + Z_{тсм_i} + Z_{р_i} + A_i + И_{в.м_i}, \quad (4.5)$$

где  $Z_{о.т_i}$  - «затраты денежных средств на оплату труда обслуживающего персонала, руб /га;»

$Z_{тсм_i}$  - «затраты денежных средств на оплату горюче-смазочных материалов (далее - ГСМ), руб/га;»

$Z_{р_i}$  - «затраты денежных средств на ремонт и техническое обслуживание, руб /га;»

$A_i$  - «амортизационные отчисления, руб /га;»

$И_{в.м_i}$  - «издержки денежных средств на вспомогательные технологические материалы, руб /га.»

Затраты денежных средств на оплату труда обслуживающего персонала  $Z_{о.т_i}$  вычисляют по формуле

$$Z_{о.т_i} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{мех}} \lambda_k \tau_k K_3}{W_{см_i}}, \quad (4.6)$$

где  $\lambda_k$  - «количество обслуживающего персонала  $k$ -й квалификации, чел.;»

$\tau_k$  - «часовая оплата труда обслуживающего персонала  $k$ -й квалификации, руб/чел.-ч (использовать единую усредненную норму часовой

заработной платы, которая сложилась в аграрной отрасли конкретного государства в период, предшествующий периоду испытаний машины);»

$K_3$  - «коэффициент, учитывающий уровень социальных отчислений от зарплаты, регламентируемых законодательством конкретного государства;»

$n_{\text{мех}}$  - «число обслуживающего персонала, чел.»

Затраты денежных средств на оплату ГСМ вычисляют по формуле

$$Z_{\text{ГСМ}_i} = g_{T_i} \cdot C_T \cdot K_{\text{см.м}}, \quad (4.7)$$

где  $g_{T_i}$  - «удельный расход моторного топлива, кг /га;»

$C_T$  - «цена моторного топлива, руб/кг;»

$K_{\text{см.м}}$  - «коэффициент учета цены смазочных материалов.»

«Затраты денежных средств на ремонт и техническое обслуживание техники  $Z_{p_i}$  вычисляют по формуле»

$$Z_{p_i} = \frac{\sum_{j=1}^{n_M} B_{M_j} \cdot K_{p_j}}{W_{\text{ЭК}_i}} \cdot 10^{-4}, \quad (4.8)$$

где  $n_M$  - «число техники, входящей в МТА, шт.»

$B_{M_j}$  - «цена сеялки УР 825А с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений (без НДС), руб;»

$K_{p_j}$  - «значение отчислений на ремонт и техническое обслуживание от цены уборочной техники на 100 ч ее работы, принятый в конкретном государстве, %;»

$W_{\text{ЭК}_i}$  - «производительность по сеялке УР 825А с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений за 1 ч эксплуатационного времени, га.»

«Производительность -й техники по сеялке УР 825А с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений за 1 ч эксплуатационного времени  $W_{эк_i}$  вычисляют по формуле» [40]

$$W_{эк_i} = W_{о_i} \left( \frac{1}{K_{см_j}} + \frac{1}{K_{Г_j}} - 1 \right)^{-1}, \quad (4.9)$$

где  $W_{о_i}$  - «производительность по сеялке УР 825А с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений за 1 ч основного времени за период контрольных смен, га.» [41]

$K_{см_j}$  - «коэффициент использования сменного времени по сеялке УР 825А с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений за период контрольных смен;»

$K_{Г_j}$  - «коэффициент готовности [41] по сеялке УР 825А с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений по оперативному времени.»

«Амортизационные отчисления  $A_i$  вычисляют по формуле» [41]

$$A_i = \frac{1}{W_{эк_i}} \sum_{j=1}^{n_M} \frac{B_{M_j}}{R_{M_j}}, \quad (4.10)$$

где  $R_{M_j}$  - «значение амортизационного ресурса по сеялки УР 825А с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений , ч.

«Издержки денежных средств на вспомогательные технологические материалы  $I_{В.М_i}$  вычисляют по формуле» [41]

$$I_{В.М_i} = \sum_{f=1}^{n_{В.М}} g_f \Pi_{В.М_f}, \quad (4.11)$$

где  $g_f$  - «удельный расход  $f$ -го вспомогательного технологического материала, кг /га;»

$\Pi_{в.м.f}$  - «цена единицы  $f$ -го вспомогательного технологического материала, руб/кг;»

$n_{в.м}$  - «число наименований вспомогательных материалов, шт.»

«Совокупные затраты денежных средств на выполнение единицы наработки  $Z_{сов_i}$ , руб/га, вычисляют по формуле» [41]

$$Z_{сов_i} = Z_{экс_i} + \Pi_{п_i}, \quad (4.12)$$

где  $\Pi_{п_i}$  - «издержки денежных средств от потерь сельскохозяйственной продукции, руб /га вычисляют по формуле» [41]

$$\Pi_{п_i} = 0,01 Y_{сх} X_{сх_i} \Pi_{сх}, \quad (4.13)$$

«Совокупные затраты денежных средств за годовой условный объем  $Z_{сов.p_i}^Г$ , руб, вычисляют по формуле» [32]

$$Z_{сов.p_i}^Г = Z_{сов_i} F_y^Г, \quad (4.14)$$

где  $F_y^Г$  - «годовой условный объем по сеялке УР 825А с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений , га.»

Годовой фактический объем работы новой техники, выполнения вида работы, с учетом агротехнических сроков в климатической зоне, вычисляют по формуле

$$F_j^I = W_{эк} n_{агр} t$$

где  $n_{агр}$ . — агротехнический срок выполнения вида работы, принятый в зоне, дней:

$t$  — возможное время работы техники в сутки выработки, ч.

Таблица 4.1 – Показатели экономической оценки

Наименование показателя	Значение показателя по	
	аналогу	модернизированной технике
Вид механизированной работы	Посев подсолнечника	Посев подсолнечника
Марка техники (состав МТА)	McCORMICKTTX230 + УР 825А	McCORMICKTTX230 + УР 825А
Производительность МТА за 1 ч сменного времени, га/ч	3,58	3,81
Удельный расход моторного топлива, кг /га	11,90	12,14
Совокупные затраты денежных средств (себестоимость выполнения работы) всего, руб/га,	27178,28	18836,11
в том числе:		
- затраты на оплату труда	18465,08	17350,39
- затраты на ГСМ (электроэнергию, газ)	655,69	668,91
- затраты на ремонт, техническое обслуживание	350,48	372,99
- амортизационные отчисления	417,03	443,82
- затраты на вспомогательные материалы	-	-
- издержки от потерь основной продукции	-	-
Затраты труда, чел.-ч/га	0,28	0,26

«Годовую экономию совокупных затрат денежных средств в расчете на годовой условный объем  $\mathcal{E}_{г.р_i}$ , руб, вычисляют по формуле»

$$\mathcal{E}_{г.р_i} = \mathcal{Z}_{сов.р_i}^{г.а} - \mathcal{Z}_{сов.р_i}^{г.н}, \quad (4.15)$$

где  $\mathcal{Z}_{сов.р_i}^{г.а}$ ,  $\mathcal{Z}_{сов.р_i}^{г.н}$  - «совокупные затраты денежных средств в расчете на годовой условный объем работы по аналогу и модернизированной технике соответственно, руб..

Снижение себестоимости выполнения -й работы  $m_{с_i}$ , %, вычисляют по формуле [41]

$$m_{с_i} = \frac{\mathcal{Z}_{сов.р_i}^{г.н} - \mathcal{Z}_{сов.р_i}^{г.а}}{\mathcal{Z}_{сов.р_i}^{г.а}} 10^2. \quad (4.16)$$

Таблица 4.2 – «Показатели ресурсосбережения»

Наименование показателя	Значение показателя по	
	аналогу	новой технике
Совокупные затраты денежных средств на годовой фактический объем работы модернизированной техники, руб	10055963,6	6969360,7
Годовой условный объем вида работы, га	370	370
Совокупные затраты денежных средств на годовой условный объем вида работы, руб	17976149,24	11706416,33

Таблица 4.3 – «Показатели сравнительной экономической эффективности на условный объем вида работы»

Наименование показателя	Значение показателя по новой технике
Годовая экономия совокупных затрат денежных средств на годовой фактический объем работы модернизированной техники, руб	3086602,9
Снижение себестоимости выполнения работы, %	30,69

#### **Выводы по главе 4**

1. Неравномерности внесения жидких минеральных удобрений ФРЭФОСС составила 7,6% при расходе 90 л/га КАС-32.

2. ФРЭФОСС при внесении жидких минеральных удобрений обеспечивает работоспособность на скоростях движения посевного агрегата трактор McCORMICK TTX230 + сеялка GreatPlains YP 825A 8 км/ч. Глубина хода сошников составляла 2...4 см, глубина внесения жидких минеральных удобрений 1...2 см.

3. Применение ФРЭФОСС при внесении жидких минеральных удобрений сеялкой GreatPlains YP 825A позволило получить урожайность 32 ц/га, что на 18,5% больше, чем на контрольном участке.

4. Снижение себестоимости применения сеялки YP 825A с ФРЭФОСС составило 30,69 %. Годовая экономия совокупных затрат денежных средств на годовой фактический объем работы модернизированной техники составила 3086602,9 рублей в расчете на одну сеялку с загрузкой 370 га в год.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ технико-технологических решений, применяемых при посеве с возможностью внесения жидких минеральных удобрений показал, что рациональным является оснащение сошника сеялки уплотнителем с эластичными крыльями и форсункой-распылителем (ФРЭФОСС).

2. Теоретически установлено, что для повышения равномерности внесения жидких минеральных удобрений при посеве необходимо применять форсунку-распылитель эллипсоидной формы отверстия сошника сеялки (ФРЭФОСС). Для обеспечения посева семян на глубине от 0,03 до 0,05 м рациональное значение угла между дисками сошника составляет 5 градусов при диаметре диска 0,4 м и расстоянии 0,025 м от нижней точки сошника до дна борозды.

3. Для количества вносимых жидких удобрений 90 кг/га и при использовании ФРЭФОСС с параметрами эллипсоидного отверстия  $a=0,004$  м,  $b=0,003$  м необходимо давление жидких минеральных удобрений в магистрали распределительного устройства около 200 кПа. Выявлено, что ФРЭФОСС обеспечивает равномерность внесения на 17% выше, чем форсунка с круглым отверстием.

4. В результате экспериментальных исследований получено: наименьший размер капель достигается на ФРЭФОСС. Рациональными значениями скорости движения являются 1,99-2,05 м/с при количества вносимых жидких удобрений 25 кг/га и ширине распыла форсунки – 0,0245 м.

5. Применение сошника ФРЭФОСС при внесении жидких минеральных удобрений позволило получить урожайность подсолнечника 32 ц/га, что на 18,5% больше, чем на контрольном участке. Годовой технико-экономический эффект от применения модернизированного посевного агрегата, оснащенного ФРЭФОСС, составил 3086602,9 рублей при загрузке сеялки 370 га в год.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

Совершенствование рабочих органов сеялки целесообразно продолжить в направлении внесения жидких минеральных удобрений в различных почвенных условиях.

### **Рекомендации к производству**

Для повышения эффективности внесения жидких минеральных удобрений, пропашную сеялку рационально оснастить форсунками-распылителями эллипсоидной формы отверстия.

## Библиографический список

1. Албутов С.П. Анализ конструкций зерновых сеялок / С. П. Албутов, А. С. Смирнов // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения: Материалы Национальной научно-практической конференции. Том II. / Технологический институт - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина", - Димитровград, 2018. – С. 73-82. – EDN YUXKWT.
2. Аленин П.Г. Комплексные микроэлементные удобрения в технологии возделывания яровой тритикале, рапса и клевера паннонского / П. Г. Аленин, С. А. Кшникаткин, А. В. Панфилов // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 4. – С. 3-8. – DOI 10.28983/asj.v0i4.444. – EDN XMHJOP.
3. Аленин П.Г. Урожайность и качество зерна овса сорта Конкур в зависимости от предпосевной обработке семян комплексными микроэлементными удобрениями и бактериальными препаратами / П. Г. Аленин, С. А. Кшникаткин, Т. В. Смирнова // Сурский вестник. – 2018. – № 4(4). – С. 22-25. – EDN YSFLUD.
4. Андреева, Е. В. Теоретический анализ распределительной системы пневмотранспорта на примере сеялок для внесения семян и удобрений./А.И.Завражнов, В.В.Коновалов, В.Ю.Зайцев, А.В.Кравцов, Ю.В.Родионов // Наука в центральной России.-2019.-N 3.-С. 5-14.-Реф. англ.-Библиогр.: с.13-14. Шифр П3682 / Е. В. Андреева // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. – 2020. – № 1. – С. 177. – EDN LVUYWE.
5. Андреев К.П. Исследование влияния параметров питающих устройств на качество внесения минеральных удобрений / К. П. Андреев, В. А. Макаров, Б. А. Нефедов [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – Рязань, 2017. – № 4(36). – С. 82-86. – EDN YKHLNN.

6. Анискин В.И. Проблемы управления качеством механизированного процесса дифференцированного применения удобрений / В.И. Анискин, Н.М. Марченко, Г.И. Личман // Автоматизация сельскохозяйственного производства: Тезисы докладов Международной конференции, т. 1, 1997 . – 155 с.

7. Афанасьев Р. А. Исследования эффективности припосевного дифференцированного внесения минеральных удобрений под зерновые культуры / Р. А. Афанасьев, Г. И. Личман, Н. М. Марченко [и др.] // Ресурсосберегающие технологии и техническое обеспечение производства зерна: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции / Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства - Москва, 2010. – С. 257-262. – EDN RVYLZV.

8. Ахалая Б. Х. Изменения в дозирующей системе высевающего устройства / Б. Х. Ахалая, С. И. Старовойтов, Р. К. Курбанов, М. В. Иванов // Сельский механизатор. – 2019. – № 8. – С. 12-13. – EDN SERQFS.

9. Ахалая Б. Х. Комбинированное почвообрабатывающее устройство / Б. Х. Ахалая, Ю. Х. Шогенов, С. И. Старовойтов, А. С. Золотарев // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2020. – № 2(54). – С. 70-73. – DOI 10.31563/1684-7628-2020-54-2-70-73. – EDN WJZWND.

10. Ахалая Б. Х. Трехсекционный почвообрабатывающий агрегат с универсальными сменными рабочими органами / Б. Х. Ахалая, Ю. Х. Шогенов, С. И. Старовойтов, Ю. С. Ценч, А. Х. Шогенов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14, № 3(54). – С. 92-95. – DOI 10.12737/article\_5db9656e2ade23.01560949. – EDN MZOGIZ.

11. Ахалая Б. Х. Усовершенствованные пневматические устройства для комбинированного высева семян пропашных культур / Б. Х. Ахалая, Ю. Х. Шогенов, С. И. Старовойтов, А. Х. Шогенов // Вестник российской

сельскохозяйственной науки. – 2020. – № 5. – С. 73-76. – DOI 10.30850/vrsn/2020/5/73-76. – EDN LGCHLN.

12. Ахалая Б.Х. Новые дозирующие системы пневматических высевальных аппаратов / Б. Х. Ахалая, С. И. Старовойтов, А.С. Золотарев, Л. С. Адамия // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2019. – № 3(35). – С. 69-72. – EDN LNOBKM.

13. Ахалая Б.Х. Эффективная технология минимальной энергосберегающей обработки почвы / Б. Х. Ахалая, С. И. Старовойтов, П. А. Еремин, М. В. Иванов, А. Ш. Акопян // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2019. – № 4(36). – С. 109-112. – EDN HSPWLБ.

14. Ахалая, Б. Х. Влияние конструктивных изменений в пневматических высевальных устройствах на качественные показатели высева семян / Б. Х. Ахалая, Ю. Х. Шогенов, С. И. Старовойтов // Российская сельскохозяйственная наука. – 2020. – № 6. – С. 67-70. – DOI 10.31857/S2500262720060162. – EDN ROFGSG.

15. Ахалая, Б. Х. Высевальный аппарат пневматической сеялки для совмещенного высева семян различных культур / Б. Х. Ахалая, Ю. Х. Шогенов, С. И. Старовойтов, С. Э. Лонин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17, № 2(66). – С. 55-58. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-53-56. – EDN MUOCKQ.

16. Ахалая, Б. Х. Конструктивная модернизация пневматических высевальных устройств / Б. Х. Ахалая, Ю. Х. Шогенов, С. И. Старовойтов, С. А. Квас // Российская сельскохозяйственная наука. – 2022. – № 6. – С. 69-72. – DOI 10.31857/S2500262722060138. – EDN MKWCPB.

17. Батурич В. А. Обоснование параметров пневмосистемы машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений / В. А. Батурич, Г. И. Личман // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2011. – № 6. – С. 26-30. – EDN OUXGZV.

18. Батурин В.А. Агрегат для припосевного внесения удобрений / В.А. Батурин, Н.М. Марченко // Сельский механизатор. - 2012. - №5. - С. 9

19. Батурин В.А. Алгоритм автоматизированной системы управления дифференцированным внесением минеральных удобрений при припосевном высеве под зерновые культуры / Г.И.Личман, С.А.Белых, Н.М.Марченко, В.А. Батурин, А.Н. Марченко // Сб. науч. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Ресурсосберегающие технологии и техническое обеспечение производства зерна». -М.: ВИМ, 2010. - С. 208-210.

20. Батурин В.А. Дифференцированное внесение комплексных удобрений / Г.И. Личман, В.А. Батурин, А.Н. Марченко // Сб. науч. докл. XIII междунар. науч.-практ. конф. «Научно-технический прогресс в животноводстве - инновационные технологии модернизация в отрасли». - Подольск, 2011. -Т.22. Ч.3.-С. 185-191.

21. Батурин В.А. К обоснованию требований к переходным режимам дозирующих рабочих органов машин для дифференцированного внесения удобрений / Г.И. Личман, А.Н. Марченко, В.А. Батурин // Сб. науч. докл. XI междунар. науч.-практ. конф. «Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве».- Углич, 2010. - 4.2. - С. 627-633.

22. Батурин В.А. Обоснование технологических параметров дозирующей системы машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений / В.А. Батурин // Сб. науч. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Инновационные технологии и техника нового поколения - основа модернизации сельского хозяйства». -М.: ВИМ, 2011.

23. Батурин В.А. Определение доз при дифференцированном внесении комплексных удобрений / Г.И. Личман, В.А. Батурин, А.Н. Марченко// Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2012. - №3. - С. 35-37

24. Беловолова А. А. Влияние минеральных удобрений на формирование биохимического состава подсолнечника, возделываемого на

засоленных почвах центрального Предкавказья / А. А. Беловолова, Н. В. Громова, Е. В. Голосной [и др.] // Вестник АПК Ставрополя. –Ставрополь, 2019. – № 4(36). – С. 48-53. – EDN UAFZET.

25. Белых С.А. Обоснование параметров дозирующей системы машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01., 05.13.06. / Белых Сергей Анеподистович. - Москва, 2004. - 139 с.

26. Бельский П.А. Обзор существующих конструкций зерновых сеялок и анализ их недостатков / П.А. Бельский // Студенческая наука об актуальных проблемах и перспективах инновационного развития регионального АПК: Материалы XXI научно-практической конференции обучающихся / Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, - Омск, 2022. – С. 49-55. – EDN XGTKEU.

27. Бердышев В. Е. Машины для посева: устройство, подготовка к работе и эксплуатация: Учебное пособие для СПО / В. Е. Бердышев, А. Р. Валиев, Б. Г. Зиганшин [и др.]Профобразование– Саратов, 2022. – 236 с. – EDN PKBGKX.

28. Бердышев В. Е. Сельскохозяйственные машины: Практикум / В. Е. Бердышев, Л. И. Ерошенко, А. Б. Калинин [и др.] // Проспект Науки– Санкт-Петербург, 2022. – 315 с. – EDN АНЕНТО.

29. Булавко И.А. Анализ конструкций сошников для зерновых сеялок / И.А. Булавко // Современные научные исследования и инновации. – 2020. – № 8(112). – С. 3. – EDN JQWACF.

30. Бутенина, А.А. Анализ и классификация сеялок Amazone / А.А. Бутенина, В.В. Чекалин // Научные технологии интеллектуальные системы: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции/ Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований" / Уфа, 2019. – С. 8-10. – EDN YUEVQT.

31. Быстров, С.Н. Анализ конструкций сошников для зерновых сеялок / С. Н. Быстров // Студенческая наука об актуальных проблемах и

перспективах инновационного развития регионального АПК: Материалы XXII научно-практической конференции обучающихся / Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина -Тара 2023. – С. 74-79. – EDN ZNCYEQ.

32. Воцкий З. И. Испытание сельскохозяйственной техники: учебное пособие / З. И. Воцкий. — Челябинск : ИАИ ЮУрГАУ, 2008. — 384 с.

33. Галимов М. М. Анализ перспективных машин для раздельно-параллельного высева семян и удобрений / М. М. Галимов, Д. Т. Халиуллин // Развитие АПК и сельских территорий в условиях модернизации экономики: Материалы I Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения д.э.н., профессора Н.С. Каткова /Казанский государственный аграрный университет - Казань:, 2018. – С. 66-68. – EDN EWCYNX.

34. Горобей В. П. Совершенствование механического высевающего аппарата сеялки овощных культур / В. П. Горобей, Л. В. Павлов, В. М. Дринча // Устойчивое развитие сельского хозяйства и агросистем будущего в Арктике: Сборник научных статей по материалам Всероссийской студенческой научно-практической конференции в рамках «Северного форума – 2022»/ Издательство "Знание-М" - Новокузнецк, 2022. – С. 131-138. – EDN MFNMNB.

35. Горянин, А. О. Анализ конструкций сеялок / А. О. Горянин // Материалы 66-й студенческой научно-практической конференции инженерного факультета ФГБОУ ВО "Самарский государственный аграрный университет": Сборник материалов конференции/ Самарский государственный аграрный университет – Кинель, 2021. – С. 209-215. – EDN TWZXZR.

36. Горячкина И.Н. Анализ технических средств для внесения биологических удобрений и биопрепаратов / И. Н. Горячкина, М. Ю. Костенко, Г. К. Рембалович [и др.] // Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса: Материалы 70-й

Международной научно-практической конференции, РТом Часть III / Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, - Рязань 2019. – С. 124-128. – С. 124-128. – EDN GMVMPO.

37. ГОСТ 20432-83 «Удобрения. Термины и определения». – М.: Из-во Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1983. – 19с.

38. ГОСТ 2-2013 «Селитра аммиачная. Технические условия». - М.: Из-во Стандартиформ, 2014. - 29с.

39. ГОСТ 30182-94 «Удобрения минеральные. Общие требования. Отбор проб». – Межгосударственный стандарт – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. – 4с.

40. ГОСТ 31345-2017 «Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытаний». - М.: Из-во Стандартиформ, 2018. - 58с.

41. ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки». - М.: Стандартиформ, 2018. – 15с.

42. ГОСТ Р 51520-99 «Удобрения минеральные. Общие технические условия». – М.: Из-во Госстандарт России, 2000. – 10с.

43. Губанова, А.Р. Анализ характеристик сеялок / А.Р. Губанова, В.В. Шумаев // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России: Сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых, Том III. / Пензенский государственный аграрный университет- Пенза, 2019. – С. 66-69. – EDN DSVIPF.

44. Дринча В.М. Современные тенденции развития сельскохозяйственных машин / В.М. Дринча, Б.И. Шихсаидов, Ч.М. Мутуев // Современные проблемы инновационного развития АПК: Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию "Дагестанского государственного аграрного университета имени М.М. Джамбулатова и 35-летию инженерного факультета/ ФГБОУ ВПО

"Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова" - Махачкала, 2012. – С. 49-53. – EDN YTBGQD.

45. Дринча В.М. Технологические особенности гидравлических распылителей и их применение в штанговых опрыскивателях / В.М. Дринча, С.С. Черкашин // Ларионовские чтения-2022: Сборник научно-исследовательских работ по итогам научно-практической конференции/ Издательский дом СВФУ - Якутск, 2022. – С. 147-161. – EDN DDVVKK.

46. Есаулко А. Н. Влияние припосевного внесения различных доз минеральных удобрений микробиологических удобрений на урожайность подсолнечника в условиях зоны неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья / А. Н. Есаулко, А. С. Котова, И. Ю. Вдовыдченко [и др.] // Эволюция и деградация почвенного покрова: Сборник научных статей по материалам VI Международной научной конференции /Общество с ограниченной ответственностью "СЕКВОЙЯ"- Ставрополь, 2022. – С. 117-119. – EDN ISERXE.

47. Есаулко А. Н. Влияние расчетных доз минеральных удобрений на динамику агрохимических показателей чернозема выщелоченного / А. Н. Есаулко, С. А. Коростылев, Е. В. Голосной [и др.] // Почвоведение - продовольственной и экологической безопасности страны: Тезисы докладов VII Съезда почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции, Том Часть II. /Издательский дом "Белгород" – Белгород, 2016. – С. 151-152. – EDN YJQVFT.

48. Есаулко А. Н. Влияние расчетных доз минеральных удобрений на урожайность сортов чечевицы в условиях Центрального Предкавказья / А. Н. Есаулко, М. С. Сигида, С. А. Коростылев [и др.] // Второй Международный форум "Зернобобовые культуры, развивающееся направление в России" / ФГБОУ ВО Омский ГАУ. – Омск: ООО "Полиграфический центр КАН", 2018. – С. 49-52. – EDN XTYVUT.

49. Есаулко А. Н. Влияние систем удобрения на содержание подвижного фосфора и урожайность озимой пшеницы на черноземе выщелоченном / А. Н. Есаулко, Е. В. Голосной, В. И. Радченко [и др.] // Современные ресурсосберегающие инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Северо-Кавказском федеральном округе: 78-я научно-практическая конференция Ставропольское / издательство "Параграф" - Ставрополь, 2014. – С. 90-93. – EDN THOYCN.

50. Зубарев, А. Г. Результаты исследований сошника зерновой сеялки с гасителем скорости семян / А. Г. Зубарев, Н. П. Ларюшин // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 8. – С. 38-43. – DOI 10.17513/snt.38170. – EDN QHIEFY.

51. Зубарев А. Г. Полевые исследования сеялки оснащенной сошниками с заделывающими устройствами борозд / А. Г. Зубарев, С. В. Бричков, Н. П. Ларюшин, А. В. Шуков // Наука в центральной России. – 2022. – № 4(58). – С. 84-90. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-4-84-90. – EDN RWAUSB.

52. Ибрагимова В. И. Роль питательного раствора при выращивании сельскохозяйственных культур по малообъемной технологии / В. И. Ибрагимова, Е. В. Голосной, Т. С. Айсанов // Почва и бобовые - симбиоз для жизни: Сборник трудов Международной молодежной научной конференции / РПА "АПП" - Москва, 2016. – С. 103-106. – EDN USXTVS.

53. Иванов, Б. Л. Аэропневматический распылитель пылевидных минеральных удобрений / Б. Л. Иванов, Б. Г. Зиганшин, И. Х. Гайфуллин // Агроинженерная наука XXI века: Научные труды Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвящённой 100 - летию Казанского ГАУ/ Казанский государственный аграрный университет - Казань, 2022. – С. 28-35. – EDN BKKXCA.

54. Иванов, Б. Л. Повышение эффективности химической защиты растений с применением оригинальных форсунок / Б. Л. Иванов, Б. Г. Зиганшин, И. Х. Гайфуллин // Актуальные проблемы государственного и

муниципального управления в условиях цифровой трансформации экономики: Научные труды II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 100-летию Казанского ГАУ/ Казанский государственный аграрный университет - Казань, 2022. – С. 128-133. – EDN PICAOU.

55. Исследование инверсии струи дождевальными насадками с отверстием эллипсоидной формы / А. В. Кузнецов, Д. М. Юмаев, Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко, Н. А. Костенко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 3(47). – С. 133-137. – DOI 10.36508/RSATU.2020.23.36.023. – EDN WTDERH.

56. Исследование функциональной и принципиальной схем работы сошника / М. А. Папшев, А. В. Мачнев, В. В. Шумаев, А. Р. Губанова // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России : Сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых, Том III. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2019. – С. 135-137. – EDN RLJCTK.

57. Калабушев А. Н. Лабораторные исследования комбинированного сошника для разноуровневого посева семян зерновых культур и внесения удобрений/ А. Н. Калабушев, Н. П. Ларюшин, В. В. Шумаев // Наука центральной России. – 2018. – № 3(33). – С. 21-28. – EDN XSWBGH.

58. Калабушев, А. Н. Теоретический расчет некоторых параметров комбинированного сошника / А. Н. Калабушев, Н. П. Ларюшин, В. В. Шумаев // Нива Поволжья. – 2019. – № 1(50). – С. 151-156. – EDN ZOJZZX.

59. Каталог сельскохозяйственной техники «Агросто»: официальный сайт. – Ставрополь – URL: <https://agrsto.ru> (дата обращения: 22.07.2022).

60. Каталог сельскохозяйственной техники, расходных материалов и веществ «Агроимпорт»: официальный сайт. – ст. Староминская – URL: <https://agroimport.org> (дата обращения: 22.07.2022).

61. Кленин Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: учебник / Н.И. Кленин, В.А. Саун. – Москва: Колос, 1994. – 751 с.

62. Колдаева В. С. Основные факторы, влияющие на урожайность и качество семян сельскохозяйственных культур / В. С. Колдаева, С. А. Кшникаткин, И. А. Воронова // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Том I. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 101-103. – EDN ATVNMW.

63. Коннов И. А. К вопросу предпосевной обработки семян / И. А. Коннов, С. А. Кшникаткин // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Том II. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 164-166. – EDN QCICVV.

64. Коннов И. А. Обработка семян регуляторами роста в наноразмерном состоянии / И. А. Коннов, С. А. Кшникаткин // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Том III. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 25-27. – EDN SJEQNJ.

65. Коннов И. А. Факторы, влияющие на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур / И. А. Коннов, С. А. Кшникаткин // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Том II. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 167-169. – EDN DIOWJY.

66. Королева Н. М. Анализ сеялок / Н. М. Королева, А. К. Новичкова // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, Мичуринск-наукоград / Под общей редакцией И.П. Криволапова. – Мичуринск-наукоград:

Мичуринский государственный аграрный университет – Мичуринск, 2022. – С. 119-121. – EDN YNEMXT.

67. Крючин Н. П. Пневматическая сеялка для посева кукурузы на силос / Н. П. Крючин, Д. Н. Котов, С. В. Вдовкин, А. Н. Крючин // Сельский механизатор. – 2019. – № 6. – С. 6-7. – EDN PVMRLE.

68. Крючин, Н. П. Дозирование трудносыпучих семян высеваящим аппаратом / Н. П. Крючин, А. Н. Крючин // Инноватика и экспертиза: научные труды. – 2019. – № 1(26). – С. 203-214. – EDN QLOFMU.

69. Крючин Н. П. Методика определения скорости движения семявоздушного потока при посеве пропашных культур пневматическими сеялками с централизованным дозированием семян / Н. П. Крючин, В. Е. Востров // Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем : Материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, Оренбургский государственный аграрный университет. – Оренбург: Издательство "Перо", 2023. – С. 48-51. – EDN MNFJKI.

70. Крючин Н. П. Теоретическое обоснование углов установки семянаправителя сошника с бороздообразующим сферическим диском зерновой сеялки / М.И. Филатов, А. С. Путрин, Е. В. Большаков, С. В. Тарасова, Н. П. Крючин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 1(93). – С. 123-126. – EDN NYGRQO.

71. Крючин Н. П. Разработка анкерного сошника пневматической сеялки с комбинированной криволинейной режущей кромкой наральника / Н. П. Крючин, Д.Н. Котов, О.С. Володько, В.А. Шахов, А.П. Козловцев, П.Г. Учкин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 3(101). – С. 110-115. – DOI 10.37670/2073-0853-2023-101-3-110-115. – EDN VAWLQU.

72. Крючин Н.П. Анализ технологических процессов работы пневматических посевных машин / Н. П. Крючин, В. Е. Востров, А. П. Горбачев, О. А. Вострова // Совершенствование инженерно-технического

обеспечения производственных процессов и технологических систем: Материалы национальной научно-практической конференции с международным участием / Оренбургский государственный аграрный университет. – Оренбург: ООО "Агентство "Пресса", 2022. – С. 94-97. – EDN YTRMKA.

73. Крючин Н.П. Влияние расстановки стержней в рассеивателе на скорость семян подсолнечника / Н. П. Крючин, А. Н. Андреев, А. П. Горбачев, М. И. Филатов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 6(92). – С. 158-162. – EDN XQWDUB.

74. Купряшкин В.Ф. Анализ работы катушечного туковысевающего аппарата зерновой сеялки / В. Ф. Купряшкин, В. А. Овчинников, М. Г. Шляпников [и др.] // Научный формат. – 2019. – № 2(2). – С. 230-234. – EDN IKZHDC.

75. Курдюмов В. И. Определение режимов работы комбинированного рабочего органа пропашного культиватора / В. И. Курдюмов, Е. В. Софронов, С. Г. Мударисов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 11(97). – С. 79-82. – EDN PFYVNB.

76. Курдюмов В. И. Сошник для гребневого посева / В. И. Курдюмов, Е. С. Зыкин, И. В. Бирюков // Сельский механизатор. – 2010. – № 10. – С. 5-6. – EDN OILKIX.

77. Курдюмов В.И. Сошник для разноуровневого высева семян и удобрений / В. И. Курдюмов, Е. С. Зыкин, С. А. Лазуткина // Фундаментальные основы и прикладные решения актуальных проблем возделывания зерновых бобовых культур : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной Памяти ректора Ульяновского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина, Почётного работника высшего профессионального образования РФ, Почётного работника агропромышленного комплекса России, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Дозорова Александра

Владимировича / Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина– Ульяновск, 2020. – С. 238-242. – EDN IBVKJF.

78. Кшникаткин С.А. Агрэкологические аспекты предпосевной подготовки семян в технологии возделывания черноголовника многобрачного (*PoteriumPolygamumWaldst*) сорта СУЛТАН / С. А. Кшникаткин, П. Г. Аленин, А. В. Панфилов [и др.] // Нива Поволжья. – 2022. – № 4(64). – С. 1011. – DOI 10.36461/NP.2022.64.4.016. – EDN YIGEDN.

79. Кшникаткин С.А. Агрэкологические аспекты предпосевной подготовки семян в технологии возделывания клевера паннонского (*TrifoliumpannonicumJacq.*) сорта АНИК / С. А. Кшникаткин, П. Г. Аленин, И. А. Воронова [и др.] // Нива Поволжья. – 2022. – № 3(63). – С. 1002. – DOI 10.36461/NP.2022.63.3.005. – EDN TJJUIR.

80. Кшникаткина А. Н. Применения биопрепаратов, регуляторов роста и комплексных удобрений в технологии возделывания кормовых и лекарственных культур / А. Н. Кшникаткина, А. А. Галиуллин, С. А. Кшникаткин [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20, № 5-2(85). – С. 234-240. – EDN YZVGPB.

81. Ларюшин Н. П. Обзор зерновых сеялок и посевных комплексов / Н. П. Ларюшин, А. В. Шуков, И. А. Сурков // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: материалы Международной научно-практической конференции, – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2022. – С. 86-90. – EDN UGSASM.

82. Ларюшин Н.П. Конструкция катушечного высевающего аппарата сеялки для посева зерновых культур / Н. П. Ларюшин, А. В. Шуков, Т. А. Кирюхина, А. В. Абакумов // Нива Поволжья. – 2019. – № 1(50). – С. 109-113. – EDN YZQYXZ.

83. Ларюшин Н.П. Конструкция высевающего аппарата зерновой сеялки с наклоном ребер и желобков и перегородками желобков секционной катушки / Н. П. Ларюшин, А. Ю. Вершигоров, А. В. Шуков, Т. А. Кирюхина

// Нива Поволжья. – 2021. – № 1(58). – С. 132-136. – DOI 10.36461/NP.2021.58.1.017. – EDN IBFFXD.

84. Ларюшин Н.П. Конструкция сошника с заделывающим устройством борозды для зерновой сеялки / Н. П. Ларюшин, С. В. Бричков, А. В. Шуков, Т. А. Кирюхина // Нива Поволжья. – 2021. – № 1(58). – С. 127-131. – DOI 10.36461/NP.2021.58.1.015. – EDN ONJMWQ.

85. Личман Г. И. Алгоритм формирования заданного состава жидких органоминеральных удобрений для внутрипочвенного внесения / Г. И. Личман, Н. М. Марченко, А. Н. Марченко // Экологические аспекты производства продукции растениеводства, мобильной энергетики и сельскохозяйственных машин, Том 2, Государственное научное учреждение Северо-Западный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук– Санкт-Петербург, 2009. – С. 57-61. – EDN SIZGPR.

86. Личман Г. И. Мониторинг урожайности сельскохозяйственных культур в точном земледелии / Г. И. Личман, И. Г. Смирнов, А. И. Беленков // Фермер. Поволжье. – 2017. – № 10(63). – С. 34-38. – EDN YQYUOH.

87. 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. – EDN ZSLLGX.

88. Личман Г. И. Способы внесения удобрений в системе точного земледелия / Г. И. Личман, С. А. Белых, А. Н. Марченко // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12, № 4. – С. 4-9. – DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-4-9. – EDN XZIZBJ.

89. Личман, Г.И. Определение доз при дифференцированном внесении комплексных удобрений / Г.И. Личман, В.А. Батулин, А.Н. Марченко // Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2012.-ЖЗ.- С.35-40.

90. Личман, Г.И. Переходные режимы дозирующих органов машин для внесения удобрений / Г.И. Личман, Н.М. Марченко, В.А. Колесникова, А.Н. Марченко // Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2010. - №4. - С. 30-33

91. Марченко Н.М. Итоги и основные направления исследований проблемы дифференцированного применения удобрений / Н.М. Марченко, В.И. Анискин // Машинные технологии дифференцированного удобрений и мелиорантов : Труды 2-й Междунар. науч.-практич. конф. По проблеме дифференцированного применения удобрений в системе координатного земледелия. - Рязань, 2001.-С. 12-18

92. Мачнев А. В. Обоснование применения ротационного питателя в пневматических машинах и агрегатах / А. В. Мачнев, В. А. Мачнев, К. З. Кухмазов [и др.] // Нива Поволжья. – 2022. – № 1(61). – С. 3001. – DOI 10.36461/NP.2022.61.1.002. – EDN ERAZIK.

93. Мелешков С. И. Выбор параметров для сечения эллипсоидной формы для тукового сошника / С. И. Мелешков, Н. Ф. Ащанулов // Электроэнергетика сегодня и завтра: сборник научных статей 2-й Международной научно-технической конференции / Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова. Том 1 / Закрытое акционерное общество "Университетская книга"– Курск, 2023. – С. 353-356. – EDN NHRBRF.

94. Меметов А. А. Анализ конструкций высевающих систем зерновых сеялок / А. А. Меметов // Материалы 66-й студенческой научно-практической конференции инженерного факультета ФГБОУ ВО / Самарский государственный аграрный университет – Кинель, 2021. – С. 247-251. – EDN TVSXVB.

95. Методика проведения лабораторных исследований по обоснованию конструктивных параметров дискового сошника пневматической сеялки / М. А. Папшев, А. В. Мачнев, В. В. Шумаев, А. Р. Губанова // Инновационные идеи молодых исследователей для

агропромышленного комплекса России : Сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых, Пенза, 28–29 марта 2019 года. Том III. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2019. – С. 137-140. – EDN AKFQLL.

96. Милюткин В. А. Комплектация опрыскивателей необходимым оборудованием для внесения жидких минеральных удобрений по эффективным технологиям / В. А. Милюткин // Технологии земледелия и защиты растений: интеллектуальные, инновационные и цифровые ресурсы – 2020 : материалы II-й Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 95-летию Заслуженного деятеля науки Российской Федерации, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Михаила Николаевича Гуренёва/ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова». Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук». – г. Пермь: ИПЦ Прокрость, 2021. – С. 72-76. – EDN NXOPCX.

97. Милюткин, В. А. Повышение урожайности и качества зерна озимой пшеницы за счет применения инновационных удобрений и сельхозмаши / В. А. Милюткин, В. А. Овчинников // Инженерные технологии и системы. – 2023. – Т. 33, № 1. – С. 52-67. – DOI 10.15507/2658-4123.033.202301.052-067. – EDN YXGKUR.

98. Милюткин, В. А. Повышение эффективности опрыскивателей для внесения жидких минеральных удобрений / В. А. Милюткин, В. Э. Буксман // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург, 2018. – № 1(69). – С. 119-122. – EDN YSHRXS.

99. Овчинников В. А. Комбинированный сошник / В. А. Овчинников // Современные проблемы территориального развития. – 2019. – № 1. – С. 7. – EDN ZAKMEN.

100. Овчинников В. А. Рабочий орган для внесения минеральных удобрений / В. А. Овчинников, А. В. Овчинникова // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – № 2. – С. 13-16. – EDN WDOWBN.

101. Овчинников В. А. Совершенствование процесса внесения минеральных удобрений / В. А. Овчинников, Н. А. Жалнин, А. В. Овчинникова // Научное обозрение. Международный научно-практический журнал. – 2020. – № 4. – С. 15. – EDN AMQUTU.

102. Овчинников В. А. Устройство для повышения равномерности внесения минеральных удобрений / В. А. Овчинников, Н. А. Жалнин, А. В. Овчинникова // Научное обозрение. Международный научно-практический журнал. – 2020. – № 2. – С. 1. – EDN PCLOZA.

103. Овчинников, А. Д. Анализ конструкций распределителей современных пневматических сеялок / А. Д. Овчинников // Идеи молодых ученых - агропромышленному комплексу: агроинженерные науки: Материалы студенческой научной конференции Института агроинженерии, Под редакцией Н.С. Низамутдиновой / Южно-Уральский государственный аграрный университет – Челябинск, 2022. – С. 62-66. – EDN BUUVSM.

104. Ожередова А.Ю. Влияние минеральных удобрений на динамику содержания подвижных форм фосфора, калия и серы в черноземе выщелоченном и продуктивность кукурузы в условиях зоны неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья / А.Ю. Ожередова, А.Н. Есаулко, Е.В. Голосной [и др.] // Вестник АПК Ставрополя. – Ставрополь, 2022. – № 1(45). – С. 37-42. – EDN DVCMAS.

105. Оптимизация минерального питания подсолнечника в условиях Центрального Предкавказья / А. Н. Есаулко, А. С. Котова, М. К. Р. Аль-

Аттафи [и др.] // Плодородие. – 2022. – № 6(129). – С. 12-14. – EDN UPADBD.

106. Официальный сайт производителя техники Horsch [Электронный ресурс]. URL:<https://www.horsch.com> (Дата обращения 25.03.2021).

107. Официальный сайт производителя техники JohnDeere [Электронный ресурс]. URL:<https://www.deere.ru> (Дата обращения 25.03.2021).

108. Официальный сайт сельскохозяйственной техники GreatPlains [Электронный ресурс]. URL: <https://www.greatplainsag.com> (Дата обращения 25.03.2021).

109. Парфенов Д. Ю. Лабораторные исследования высевающего аппарата зерновой сеялки со сплошным покрытием клапана из резины с шипами, выполненными в форме усеченных конусов / Д. Ю. Парфенов, Н. П. Ларюшин, А. В. Шуков, Р. Р. Девликамов // Нива Поволжья. – 2022. – № 1(61). – С. 3004. – DOI 10.36461/NP.2022.61.1.010. – EDN NBJVVA.

110. Парфенов, Д. Ю. Существующие технологии и технические средства для посева семян зерновых культур / Д. Ю. Парфенов, Н. П. Ларюшин // Роль вузовской науки в решении проблем АПК : Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция, посвященная 90-летию со дня рождения профессора Г.Б. Гальдина, Том II. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2018. – С. 45-48. – EDN YODFOR.

111. Патент № 2642645 С1 Российская Федерация, МПК А01М 7/00. Устройство для испытания распылителей: № 2017113918: заявл. 21.04.2017 :опубл. 25.01.2018 / А. Ю. Измайлов, Л. А. Марченко, И. Г. Смирнов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ). – EDN XRBNBU.

112. Патент на полезную модель № 123630 U1 Российская Федерация, МПК А01С 23/00. опрыскиватель: № 2012123846/13: заявл. 09.06.2012 :опубл. 10.01.2013 / А. Ю. Измайлов, И. Б. Козлов, Г. В. Романов [и др.];

заявитель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВИМ Россельхозакадемии). – EDN MPPSYS.

113. Патент на полезную модель № 125897 U1 Российская Федерация, МПК В05В 7/12. пневматический распылитель: № 2012128602/05: заявл. 06.07.2012 :опубл. 20.03.2013 / М. Б. Латышенко, А. В. Шемякин, М. Ю. Костенко [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN IDKDQY.

114. Патент на полезную модель № 195491 U1 Российская Федерация, МПК В05В 7/04. Распылитель жидкости: № 2019123645: заявл. 22.07.2019 :опубл. 29.01.2020 / Р. Ф. Сабиров, А. Р. Валиев, Б. Г. Зиганшин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ). – EDN QIVITJ.

115. Патент на полезную модель № 213790 U1 Российская Федерация, МПК А01С 7/20. сошник: № 2022115755 :заявл. 09.06.2022 :опубл. 29.09.2022 / Н. В. Липатов, В. С. Тетерин, М. Ю. Костенко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN EFGYQU.

116. Патент на полезную модель № 216451 U1 Российская Федерация, МПК В05В 7/00. пневматический распылитель : № 2022128998 : заявл. 08.11.2022 :опубл. 06.02.2023 / Б. Л. Иванов, Б. Г. Зиганшин, И. Х. Гайфуллин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный аграрный университет". – EDN ACCIUW.

117. Патент на полезную модель № 82984 U1 Российская Федерация, МПК А01С 7/20. Сошник: № 2008145569/22 :заявл. 18.11.2008 :опубл. 20.05.2009 / В. И. Курдюмов, Е. С. Зыкин, И. В. Бирюков ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия". – EDN VOBCNW.

118. Патент на полезную модель № 82985 U1 Российская Федерация, МПК А01С 7/20. Сошник: № 2008150958/22 :заявл. 22.12.2008 :опубл. 20.05.2009 / В. И. Курдюмов, Е. С. Зыкин, И. В. Бирюков ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия". – EDN UMOFFI.

119. Патент на полезную модель № 84663 U1 Российская Федерация, МПК А01С 7/20. Сошник: № 2008150959/22: заявл. 22.12.2008 :опубл. 20.07.2009 / В. И. Курдюмов, Е. С. Зыкин, И. В. Бирюков; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия". – EDN KSVIYO.

120. Патент на полезную модель № 87861 U1 Российская Федерация, МПК А01С 7/20. сошник: № 2009128455/22: заявл. 22.07.2009 :опубл. 27.10.2009 / В. И. Курдюмов, Е. С. Зыкин, Е. А. Зыкина; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия". – EDN GTKPBC.

121. Пашинский В. С. Совершенствование конструкции сошника зерновой сеялки СЗ-3,6 / В. С. Пашинский, А. С. Сергунцов // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам 76-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР, 3 Том Часть 2. / Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина– Краснодар, 2021. – С. 504-506. – EDN ЕСУOJN.

122. Подколзин А. И. Влияние способов обработки почвы на эффективность применения систем удобрений в посевах подсолнечника на черноземе выщелоченном / А. И. Подколзин, Е. В. Голосной, М. С. Кузьменко // Современные ресурсосберегающие инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Северо-Кавказском федеральном округе – Ставрополь, 2012. – С. 66-68. – EDN RXMZRP.

123. Потемкин Р. А. Особенности испытаний распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей / Р. А. Потемкин, А. С. Свиридов // Технический сервис машин. – 2020. – № 4(141). – С. 47-53. – DOI 10.22314/2618-8287-2020-58-4-47-53. – EDN DQUAMI.

124. Почивалов Д. А. Анализ конструкций сошников сеялок для посева семян зерновых культур / Д. А. Почивалов, Н. П. Ларюшин // Ресурсосберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства: Сборник статей IV Международной научно-практической конференции / Пензенский государственный аграрный университет – Пенза, 2018. – С. 145-150. – EDN SLVVJJ.

125. Прокопчук Р.Е. Обоснование рациональных параметров и режимов работы агрегата для внесения жидких минеральных удобрений: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.20.01; [Место защиты: ФГБОУ ВО АГАУ] — Барнаул, 2022. — 125 с.

126. Птицына В. Д. К выбору сеялок и посевных комплексов при возделывании озимой пшеницы / В. Д. Птицына, Е. И. Логачев, А. В. Мачнев // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Том IV. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 81-85. – EDN DXZFBC.

127. Руденко Н. Е. Многофункциональный сошник пропашной сеялки / Н. Е. Руденко, Е. В. Кулаев, В. Н. Руденко, А. В. Семинский // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – № 4. – С. 26-30. – EDN XWIITR.

128. Свиридов А. С. Анализ типов распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей / А. С. Свиридов, Ю. В. Катаев, М. Г. Загоруйко // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 6. – С. 96-100. – EDN ASWQTO.

129. Сельскохозяйственные машины. Машины для посева: Учебное пособие / В. Е. Бердышев, А. Р. Валиев, Б. Г. Зиганшин [и др.] // Ай Пи Ар Медиа– Москва, 2022. – 239 с. – EDN PEFTAU.

130. Сенников, В. А. Анализ сошников зерновых сеялок / В. А. Сенников, А. М. Сивоконь // АгроЭкоИнфо. – 2022. – № 5(53). – DOI 10.51419/202125509. – EDN GCPWUO.

131. Ситников А. С. Обзор установок для предпосевной обработки семян бобовых трав / А. С. Ситников, С. А. Кшникаткин, П. Г. Аленин [и др.] // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Том II. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 80-83. – EDN FJHOIR.

132. Скурятин, Н. Ф. Повышение эффективности комбинированного посева зерновых / Н. Ф. Скурятин, А. С. Новицкий // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2019. – № 1(21). – С. 61-71. – EDN MDOJJK.

133. Старовойтов, С. И. Конструктивные особенности рабочих органов для уплотнения и выравнивания поверхности почвы / С. И. Старовойтов, Б. Х. Ахалая, А. В. Миронова // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2019. – № 4(37). – С. 51-56. – EDN WOCRCH.

134. Теория распыливания жидкости форсунками / Б. Л. Иванов, Б. Г. Зиганшин, Р. Ф. Шарафеев, И. Р. Сагбиев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14, № 2(53). – С. 95-99. – DOI 10.12737/article\_5d3e174f90fe69.76703992. – EDN JZozPE.

135. Тетерина О. А. К вопросу совершенствования технологии локального внесения удобрений при посадке и уходе за растениями картофеля / О. А. Тетерина, М. Ю. Костенко, Н. В. Липатов, В. С. Тетерин //

Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации : Материалы 72-й международной научно-практической конференции / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». Том Часть II. – Рязань, 2021. – С. 392-397. – EDN AUGQCU.

136. Успенский И. А. Моделирование влияния удобрений на динамику контуров увлажнения при капельном орошении / И. А. Успенский, И. В. Фадеев, В. В. Алексеев, В. П. Филиппов // Инженерные технологии и системы. – 2021. – Т. 31, № 1. – С. 97-108. – DOI 10.15507/2658-4123.031.202101.097-108. – EDN YRZKLU.

137. Устименко Е. А. Влияние применения минеральных удобрений на продуктивность подсолнечника в условиях зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края / Е. А. Устименко, С. А. Коростылев, Е. В. Голосной, М. С. Сигида // Рисоводство. – 2022. – № 4(57). – С. 55-60. – EDN UVYWOO.

138. Утков Ю. А. Технологические и технические требования к сельскохозяйственным опрыскивателям: Монография / Ю. А. Утков, В. В. Бычков, В. М. Дринча // Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства Российской академии сельскохозяйственных наук – Москва, 2015. – 186 с. – EDN XQAJCT.

139. Худайкулиев Р.Р. Обзор и анализ конструкции существующих сеялок / Р. Р. Худайкулиев, А. П. Уринов, М. М. Мирзаева [и др.] // TheScientificHeritage. – 2021. – № 78-3(78). – С. 21-25. – DOI 10.24412/9215-0365-2021-78-3-21-25. – EDN PVKUQK.

140. Цепляев А. Н. Машины для обработки почвы посева и посадки: учебное пособие / А. Н. Цепляев, В. Г. Абезин, Д. В. Скрипкин, А. В. Харлашин/ Волгоградский ГАУ - Волгоград, 2015. — 148 с.

141. Чаткин, М. Н. Анализ способов посева пропашных культур / М. Н. Чаткин, В. А. Овчинников, Е. А. Иконников // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы : материалы Международной научно-практической конференции – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2019. – С. 135-138. – EDN SPRMMV.

142. Шараби Н. Н. Сравнительный анализ сеялок точного высева / Н. Н. Шараби, А. Ф. Кольцов, А. В. Бутовченко // Инновационные технологии в науке и образовании: сборник трудов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ДГТУ (РИСХМ)/ Общество с ограниченной ответственностью "ДГТУ-ПРИНТ" - Дивноморское, 2019. – С. 244-250. – DOI 10.23947/itno.2019.244-250. – EDN ZJVTXI.

143. Экспериментальная установка для определения равномерности внесения минеральных удобрений / В. А. Овчинников, А. В. Овчинникова, Н. А. Жалнин [и др.] // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции : материалы XVII международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию образования Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва и памяти профессора Сергея Александровича Лапшина – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2021. – С. 254-257. – EDN JCDJWB.

144. Юмаев Д. М. Исследование особенностей машин для внесения удобрений / Д. М. Юмаев, А. С. Лазутин, Г. К. Рембалович // Инновационные решения для АПК, Рязань, 16 февраля 2023 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» совет молодых учёных ФГБОУВОРГАТУ совет молодых учёных и

специалистов Рязанской области / Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева– Рязань, 2023. – С. 207-213. – EDN HUKMSZ.

145. Юмаев Д. М. Исследование параметров современных систем внесения жидких удобрений на основании анализа форсунок-распылителей / Д. М. Юмаев, Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко, А. В. Ерохин // Инновационные решения в области развития транспортных систем и дорожной инфраструктуры / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева» автодорожный факультет инженерный факультет – Рязань, 2022. – С. 335-340. – EDN GDJTKA.

146. Юмаев Д. М. Исследование процессов 3D печати форсунок-распылителей для внесения жидких минеральных удобрений / Д. М. Юмаев, А. С. Лазутин, Г. К. Рембалович // Инновационные решения для АПК, Рязань, 16 февраля 2023 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» совет молодых учёных ФГБОУ ВО РГАТУ совет молодых учёных и специалистов Рязанской области Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева - Рязань, 2023. – С. 202-207.

147. Юмаев Д. М. Экспериментальное обоснование параметров форсунки-распылителя для агропромышленного комплекса / Д. М. Юмаев, Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – Рязань, 2022. – Т. 14, № 4. – С. 193-200. – DOI 10.36508/RSATU.2022.10.18.025. – EDN TZCHSB.

148. Юмаев Д. М. Исследование параметров современных систем внесения жидких удобрений на основании анализа форсунок-распылителей / Д. М. Юмаев, Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко, А. В. Ерохин // Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития: Материалы II Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора техн. наук, профессора Н.В. Бышова/ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева – Рязань, 2022. – С. 224-228. – EDN JMWZII.

149. Юмаев Д.М. Теоретическое обоснование параметров сошника сеялки / Д.М. Юмаев, Г.К. Рембалович, М.Ю. Костенко, А.В. Шемякин, С.Н. Борычев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – № 3(59). – С. 178-184. DOI 10.36508/RSATU.2023.42.41.023

150. Юмаев, Д.М. К вопросу об особенностях сошников пропашных сеялок / Д.М. Юмаев, А.С. Пчелкин, Г.К. Рембалович // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Н.Н. Колчина, 24 мая 2023 года. — Рязань: РГАТУ, 2023. — С. 17-21.

151. Юмаев, Д.М. Типы и особенности минеральных удобрений для предпосевного внесения / Д.М. Юмаев, А.А. Желтоухов, Г.К. Рембалович // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Н.Н. Колчина, 24 мая 2023 года. — Рязань: РГАТУ, 2023. — С. 28-33.

152. Ярошенко Т. М. Влияние удобрений на урожайность подсолнечника в Нижнем Поволжье / Т. М. Ярошенко, Д. Ю. Журавлев, Н. Ф. Климова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2019. – Т. 21, № 6(92). – С. 137-142. – EDN VQYKZV.

153. Ambuel, J.R, T.S. Colvin and D.L. Karlen. 1994. A fuzzy logic yield simulator for prescription farming. *Transactions of the ASAE*. 37(6): 1999-2009.
154. Balsari, P, M. Tamagnone, & A. Bertola. 1997. Directional control of agricultural vehicles. In: *Proceedings of Firrt European Conference on Precision Agriculture*, edited by J.V. Stafford. Oxford, UK: BIOS Scientific, 551-558.
155. Barnett, V, S. Landau, J.J. Colls, J. Craigon, R.A.C. Mitchell and R.W. Payne. 1997. Predicting wheat yields: the search for valid and precise models. In *Precision Agriculture: Spatial and Temporal Variability of Environmental Quality*. 79-99. Wageningen, Netherlands, 21-23 January.
156. Blachmore, B.S, 1994, *Precision Farming - an introduction* . *Outlook on Agriculture*, 23 (4), pp.275-280, CAB International.
157. Boon-Prins, E.R, G.H.J, deKoning, C.A. van Diepen and F.W.T. Penning de Vries, 1993. Crop specific parameters for yield forecasting across the European Community. *Simulation Report CABO-TT nr. 32*, Wageningen, The Netherlands.
158. Carr, P.M., G.R. Carlson, J.S. Jacobsen, G.A. Nielsen, and E.O. Skogley. 1991. Farming soils, not fields: a strategy for increasing fertilizer profitability. *Journal of Production Agriculture*. 4(1): 57-61
159. Gripenrog H.-W., Persson K. A Model to determine the positional lag for fertilizers spreaders. *Third European conference on precision agriculture*. Vol.2. ECPA 2001. pp. 671 -676.
160. Haskett, J.D., Y. A. Pachepsky and B. Acock. 1995. *Agricultural Systems*. 48: 73-86.
161. Reets II.F., Jr. *Site-Specific Nutrient Management Systems for the 1990s*. *Better Crops with Plant Food*. Vol. LXXVIII, N4, Fiai 1994, pp. 14-19
162. Sawyer J.E.. 1994. *Concepts of Variable Rate Technology with Considerations for Fertilizer Applications*. *Journal of Production Agriculture*, vol.7, pp. 195-201.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

«УТВЕРЖДАЮ»

ИП Глава крестьянского  
(фермерского) хозяйства

Гусев Евгений  
Александрович  
Индивидуальный  
предприниматель  
Сапожковского района  
Рязанской области

 Гусев Е.А.

«26» декабря 2022 года

#### АКТ

исследований показателей качества работы сеялки Great Plains UP 825A с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений (ФРЭФОСС) в ИП Глава крестьянского (фермерского) хозяйства Гусев Евгений Александрович Сапожковского района Рязанской области

Комиссия в составе: представителей ИП КФХ «Гусев Е.А.» агронома Гусева А.С., тракториста Нистарова В.Н., представителей ФГБОУ ВО РГАТУ заведующий кафедрой ТМ и РМ ФГБОУ ВО РГАТУ Рембаловича Г.К., профессора кафедры ТМ и РМ Костенко М.Ю., доцента кафедры ТМиРМ Безносюка Р.В. и аспирантов кафедры ТМ и РМ Юмаева Д.М., Ликучева А.И., Желтоухова А.А., составила настоящий акт о том, что сеялка UP 825A с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений (ФРЭФОСС) проходила испытания в 2022 году в ИП Глава крестьянского (фермерского) хозяйства Гусев Евгений Александрович.

Полевые исследования велись по двум основным направлениям: 1) сравнительная оценка показателей работы сеялки UP 825A - серийно выпускаемой модели пропашной сеялки, оснащенной существующей системой внесения жидких минеральных удобрений, и такой же сеялки с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений (ФРЭФОСС); 2) оценка неравномерности внесения жидких минеральных

удобрений различными системами (существующей и ФРЭФОСС). Исследования проводились на подсолнечнике сорта «Ароматик» на площади 25 га. Предшественник - яровая пшеница сорта «Ваник», основная норма внесения минеральных удобрений 220 кг/га диамофоски (10-26-26). Уборка проводилась в ноябре-декабре 2022 года.

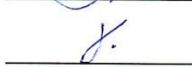
Полевые исследования показали:

1. Неравномерность внесения жидких минеральных удобрений форсунками-распылителями ФРЭФОСС составила 7,6% при норме внесения 90 л/га КАС-32.

2. Модернизированная система внесения жидких минеральных удобрений ФРЭФОСС обеспечивает работоспособность на скоростях движения посевного агрегата трактор МсCORMИСК ТТХ230 + сеялка Great Plains УР 825А 8 км/ч. Глубина хода сошников составляла 2...4 см, глубина внесения жидких минеральных удобрений 1...2 см.

3. На участке, засеянном с применением сеялки Great Plains УР 825А, оборудованной модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений ФРЭФОСС, получена урожайность 33 ц/га, что на 18,2% больше чем на контрольном участке (27 ц/га).

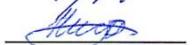
Приложения: Протокол № 1. Протокол №2.

Агроном ИП ГКФХ «Гусев Е.А.»		Гусев А.С.
Тракторист ИП ГКФХ «Гусев Е.А.»		Нистаров В.Н.
Заведующий кафедрой ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Рембалович Г.К.
Профессор кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Костенко М.Ю.
Доцент кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Безносюк Р.В.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Юмаев Д.М.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Ликучев А.И.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Желтоухов А.А.

ПРОТОКОЛ №1 от 20 апреля 2022 года  
Характеристика участка при полевых исследованиях в ИП ГКФХ «Гусев Е.А.»  
Сапожковского района Рязанской области

Присутствовали: представители ИП ГКФХ «Гусев Е.А.» агроном Гусев А.С., тракторист Нистаров В.Н., представители ФГБОУ ВО РГАТУ заведующий кафедрой ТМ и РМ Рембалович Г.К., профессор кафедры ТМ и РМ Костенко М.Ю., доцент кафедры ТМ и РМ Безносюк Р.В. и аспиранты кафедры ТМиРМ Юмаев Д.М., Ликучев А.И., Желтоухов А.А..

Наименование показателей	Значение показателей
1. Площадь поля	370 га
2. Сорт подсолнечника	Ароматик
3. Период начала высадки подсолнечника	19.04-20.04
4. Норма внесения, препарат	90 л/га, КАС 32
5. Норма высева семян, шт./га	67 960
6. Ширина междурядий, см	70

Агроном ИП ГКФХ «Гусев Е.А.»		Гусев А.С.
Тракторист ИП ГКФХ «Гусев Е.А.»		Нистаров В.Н.
Заведующий кафедрой ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Рембалович Г.К.
Профессор кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Костенко М.Ю.
Доцент кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Безносюк Р.В.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Юмаев Д.М.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Ликучев А.И.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Желтоухов А.А.

ПРОТОКОЛ №2 от 20 апреля 2022 года  
Сравнительные показатели качества работы сеялки Great Plains YP 825A с  
различными системами внесения жидких минеральных удобрений

Присутствовали: представители ИП ГКФХ «Гусев Е.А.» агроном Гусев А.С., тракторист Нистаров В.Н., представители ФГБОУ ВО РГАТУ заведующий кафедрой ТМ и РМ д.т.н., заведующий кафедрой ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ Рембалович Г.К., д.т.н., профессор кафедры ТМиРМ Костенко М.Ю., доцент кафедры ТМиРМ Безносюк Р.В., аспиранты кафедры ТМиРМ Юмаев Д.М., Ликучев А.И., Желтоухов А.А..

Показатели работы	Значение показателей сеялок YP 825A	
	YP 825A с существующей системой внесения жидких минеральных удобрений	YP 825A с модернизированной системой внесения жидких минеральных удобрений ФРЭФОСС
1. Норма внесения жидких удобрений, кг/га	90	90
2. Скорость движения, км/ч	8-10	8-12
3. Ширина факела распыла, мм	капельно	24,5
4. Глубина высева семян, см	2-4	2-4
5. Неравномерность внесения жидких минеральных удобрений, %	9,2	7,6

Агроном ИП ГКФХ «Гусев Е.А.»		Гусев А.С.
Тракторист ИП ГКФХ «Гусев Е.А.»		Нистаров В.Н.
Заведующий кафедрой ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Рембалович Г.К.
Профессор кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Костенко М.Ю.
Доцент кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Безносюк Р.В.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Юмаев Д.М.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Ликучев А.И.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Желтоухов А.А.