

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КУРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ  
АКАДЕМИЯ ИМЕНИ И.И. ИВАНОВА»

На правах рукописи



Беседин Борис Павлович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОТОРНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА  
РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Специальность: 05.20.01 — Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель —  
доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор А.А. Шварц

Курск — 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДНИЯ.....	9
1.1. Агротехнические требования, применяемые к органо-минеральным удобрениям.....	9
1.2. Технологические особенности внесения органических и минеральных удобрений.....	14
1.3. Анализ конструкций машин и рабочих органов для поверхностного внесения гранулированных удобрений.....	18
1.4. Обзор исследований по внесению гранулированных удобрений.....	24
1.5. Цели и задачи исследования.....	29
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОРГАНА НИЗКОРАМНОГО РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ.....	31
2.1. Динамика движения частиц удобрения.....	31
2.2. Обоснование форм лопатки ротора.....	36
2.3. Аналитическое исследование движения удобрений по дефлектору.....	39
2.4. Стабилизация пространственного положения кузовного низкорамного разбрасывателя удобрений.....	45
3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	50
3.1. Программа исследований.....	50
3.2. Методика определения физико-механических свойств удобрений.....	50
3.3. Методика определения скорости воздушного потока в кожухе ротора.....	52
3.4. Устройство экспериментального низкорамного разбрасывателя органо-минеральных удобрений.....	53
3.5. Методика планирования многофакторного эксперимента.....	60
3.6. Подготовка к опытам.....	69

3.7. Методика исследования процессов распределения органо-минеральных удобрений рабочим органом.....	73
3.8. 3.8. Методика обработки экспериментальных данных.....	75
4. РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	78
4.1. Анализ основных физико-механических свойств удобрений.....	78
4.2. Обоснование основных конструктивных параметров лопатки.....	80
4.3. Результаты полевых испытаний разбрасывателя.....	86
4.4. Влияние конструктивных параметров дефлектора на траекторию полета частиц удобрения.....	90
4.5. Экспериментальная проверка стабилизации разбрасывателя на склонах.....	104
5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АГРЕГАТА НА ВНЕСЕНИИ ГОТОВЫХ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ.....	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	118
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	119
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	132

## ВВЕДЕНИЕ

Удобрения — вещества, применяемые для улучшения питания растений, свойств почвы, повышения урожаев. Эффект удобрений достигается отдачей недостающих химических компонентов растениям, которые необходимы для их роста и развития. Во всех сельскохозяйственных предприятиях России и мира, спросом пользуются удобрения органические, обогащающие почву азотом и негативно сказывающиеся на росте сорняков [15], и минеральные, содержащие в себе один элемент или группу элементов [65].

В связи с резким сокращением поголовья животных (крупного рогатого скота — в 2,3 раза, свиней — в 2,4, овец и коз — в 3,4 раза) выход навоза сократился, а необходимо вносить не менее 15 т/га [99]. Академик Д.Н. Прянишников установил, что повысить урожайность сельскохозяйственных культур на 40-60 %, можно за счет внесения органических удобрений. Исследования вопроса нехватки органических удобрений показали, что можно уменьшить дозы внесения удобрений за счет смеси органических и минеральных удобрений. Поэтому предлагается вносить сбалансированные органико-минеральные удобрения, имеющие в своем составе органическое вещество и минеральные соединения, которые связаны химически или абсорбционно [7]. В результате можно уменьшить дозы внесения органических удобрений, и добиться высокой агрохимической эффективности и повысить усвояемость минералов.

Совместное применение органических и минеральных удобрений может осуществляться в самых различных формах. Все зависит от особенности удобряемых культур и почв. Исследования опытных учреждений и практика передовых хозяйств доказывает, что применение готовых гранулированных органико-минеральных удобрений дает положительный эффект.

Агротехническая наука знает много различных способов внесения органических и минеральных удобрений. В начале 2000-х постепенно вводятся в эксплуатацию комбинированные агрегаты, позволяющие совмещать сразу

несколько операций, к примеру, высев семян и внесение удобрений. На сегодняшний день такие машины достаточно эффективны [9,55], но имеют сложную конструкцию, и требуют предварительной подготовки поля.

Наиболее простым в техническом исполнении и достаточно эффективным способом внесения органических и минеральных удобрений является поверхностный, с применением кузовных разбрасывателей [90]. Рационально использовать орано-минеральные удобрения невозможно без обеспечения сельскохозяйственных предприятий машинами, обеспечивающими подготовку, транспортировку, погрузку, и внесение. Перспективой развития исследований в данном направлении является повышение равномерности распределения удобрений по полю с одновременным сохранением производительности.

Во многих странах мира, в том числе и в России, используют разбрасыватели гранулированных удобрений с рабочими органами в виде дисков, смонтированных на вертикальной оси вращения. Однако у таких рабочих органов есть существенный недостаток: при увеличении количества подаваемых удобрений, часть материала не успевает достигнуть поверхности лопаток и сходит прямо с диска, не разогнавшись до необходимой скорости. Для устранения этой проблемы рекомендуется использование роторных рабочих органов на горизонтальной оси вращения.

В связи с этим, актуальность исследования заключается в совершенствовании процесса распределения гранулированных орано-минеральных удобрений роторными рабочими органами на горизонтальной оси вращения.

В данной работе излагаются результаты исследований по разработке конструкции, определению параметров и режимов работы низкорамного разбрасывателя орано-минеральных удобрений. Исследования по данной теме выполнялись с 2012 по 2017 г., на базе Курской государственной сельскохозяйственной академии имени И.И. Иванова, в соответствии со специальностью 05.20.01 - технологии и средства механизации сельского хозяйства.

**Степень разработанности темы.** Большой вклад в исследование процесса внесения удобрений, внесли такие ученые как: Бровченко А. Д., Личман Г. И., Макаров В. А., Марченко Н. М., Репетов А. Н., Скурятин Н. Ф., Черноволов В. А. и многие другие ученые.

Основным способом повышения равномерности распределения удобрений является создание и проверка рабочих органов с различными конструктивно-режимными параметрами. Поиск технических средств, позволяющих корректировать поток выбрасываемых удобрений и возможности соблюдать необходимую равномерность при работе кузовных разбрасывателей на пересеченной местности, является вторым немаловажным компонентом эффективной работы агрегата.

**Цель исследования.** Повышение равномерности распределения гранулированных органо-минеральных удобрений за счет совершенствования конструктивно-режимных параметров пневмомеханического рабочего органа роторного типа с горизонтальной осью вращения, на базе низкорамного кузовного разбрасывателя.

**Задачи исследования:**

1. Установить влияние основных конструктивных параметров лопаток ротора на качество внесения удобрений;
2. Разработать математическую модель процесса внесения гранулированных органо-минеральных удобрений рабочими органами роторного типа на горизонтальной оси вращения, позволяющую обосновать основные конструктивно-режимные параметры предлагаемого устройства;
3. Установить влияние параметров дефлектора на характеристику потока выбрасываемых удобрений;
4. Провести полевые исследования, проверить разработки в производственных условиях и установить агроэкономическую эффективность экспериментального низкорамного разбрасывателя с разработанным рабочим органом роторного типа.

**Объект исследования.** Технологический процесс поверхностного внесения органо-минеральных удобрений рабочим органом роторного типа.

**Предмет исследования.** Закономерности изменения качественных показателей работы роторного рабочего органа разбрасывателя.

**Методология и методы исследования.** Основным методом исследования — анализ и синтез технологического процесса внесения органо-минеральных удобрений пневмомеханическим рабочим органом с горизонтальной осью вращения и определение агротехнологических свойств разбрасывателя с учетом многофакторных полевых опытов в земледелии. В работе применялась экспертная оценка факторов и методика планирования многофакторного эксперимента. В соответствии с поставленными задачами разработаны общая и частные методики исследования.

**Научная новизна.** Обоснован технологический процесс внесения органо-минеральных удобрений роторным пневмомеханическим органом с горизонтальной осью вращения. Установлены аналитические зависимости для определения параметров и формы выгрузных лопаток и дефлектора. Выявлены основные закономерности полосы рассева в зависимости от конструктивных параметров и режимов работы машины. Рассмотрены вопросы особенностей эксплуатации низкорамного разбрасывателя в условиях пересяченного рельефа местности.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в реализации предлагаемого технического решения низкорамного кузовного разбрасывателя органо-минеральных удобрений с рабочим органом роторного типа (патенты), обеспечивающего качественные показатели работы в соответствии с агротехническими требованиями. Реализация теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы при проектировании и эксплуатации разбрасывателей удобрений.

**Степень достоверности и апробация результатов исследований.** Подтверждается результатами теоретических и экспериментальных исследований, полученных с использованием измерительной аппаратуры при доста-

точном количестве повторностей, обработкой опытных данных с использованием методов математической статистики и опытов. Материалы диссертации обсуждались на международных научно-практических конференциях в 2012-2017 гг.

**На защиту выносятся:**

- конструктивно-технологическая схема низкорамного разбрасывателя с рабочим органом роторного типа на горизонтальной оси вращения;
- аналитические зависимости основных конструктивно-режимных параметров, угла установки и формы лопаток ротора, позволяющие повысить качество поверхностного внесения удобрений;
- зависимости влияния дефлектора на характеристику потока выбрасываемых удобрений;
- результаты оптимизации показателей работы разбрасывателя в лабораторно-полевых и производственных условиях Центрального Черноземья.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 15 печатных работ, из них 5 входят в перечень рецензируемых научных изданий ВАК, 3 - патенты на полезную модель.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, списка использованных источников (122 наименования) и приложений. Диссертация изложена на 131 странице машинописного текста и включает 10 таблиц и 63 рисунка. Кроме того, работа содержит приложения с таблицами и рисунками на 23 страницах.



## 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1.1. Агротехнические требования, предъявляемые к органо-минеральным удобрениям

В настоящее время один из самых распространенных органических компонентов в оргаано-минеральных удобрениях — это навоз [99], но в связи с резким сокращением животноводческих ферм [101] выход навоза значительно сократился. Существенным минусом использования навоза в смеси с минеральными компонентами являются плохие физико-механические свойства навоза. Приготовление такой смеси возможно только компостированием, а при данной операции смешивание компонентов происходит неравномерно. Однако хорошо переработанный, высушенный, сыпучий навоз подходит для оргаано-минеральной смеси, но операция обработки и высушивания влечет очень большие затраты труда и финансов [59, 92]. Целесообразнее использовать более дешевые и доступные органические удобрения в качестве компонента для смеси оргаано-минеральных удобрений. Российская Федерация очень богата залежами торфа, из запасов которых используется только 50% [83]. Кроме того, торф обладает хорошей сыпучестью [22], поэтому в большинстве случаев принято использовать в оргаано-минеральных удобрениях именно его. Еще на заре разработки и внесения удобрений, были даны предложения по применению смеси из торфа, суперфосфата, фосфорной муки, извести и других компонентов [6, 12]. В начале 2000-х ученые установили положительное влияние органоминеральных удобрений на основе торфа и минеральных компонентов в дозе 50 кг/Га [59]. Состав оргаано-минерального удобрения на основе торфа регулируется непосредственно для каждой культуры и зависит от типа питания растений. К примеру, исходя из работ [70], оргаано-минеральные удобрения состоящие из 3-5 т торфа, 3-5 ц известковых материалов, 05-1 ц суперфосфата или 2-3 ц фосфорной муки значительно повышают урожай зерновых культур. Под кукурузу вносят 6-10 т торфа или

торфокомпоста, 1-2 ц. суперфосфата с 2-3 ц фосфорной муки и 3-5 ц известковых удобрений [100].

Важной особенностью использования торфяного компоста является то, что для его приготовления подойдут все виды торфа: верховой, переходный, и низинный [100]. Его можно смешивать с различными видами минеральных удобрений, известью [73]. Торф, согласно [26], должен отвечать следующим требованиям: степень разложения — не менее 20 %, зольность — до 25 %, содержание влаги — не более 60 %, размеры частиц торфа — не более 60 мм. Так же, в связи с различием фракционного состава смешиваемых удобрений, для повышения равномерности распределения необходимо добиться наиболее близкого размера гранул минеральных удобрений и частиц торфа [40].

Комплексное удобрение на основе торфа представляет собой смесь торфяных удобрений с частицей не более 25 мм, которые перемешивают, в последствии добавляя в них известковую муку и минеральные добавки [76].

Приготовление и смешивание органо-минеральных удобрений осуществляется по различным методикам. Исходя из опытных данных, на ручную погрузку 1т органических удобрений в автомобиль затрачивается от 0,12 до 0,15 человеко-дня при часовой выработке 0,8 т. При приготовлении смеси два человека могут произвести перегрузку лишь 6-7 т органических удобрений из одного штабеля в другой, а при добавлении минеральных удобрений, часовая выработка при этом не превысит 0,4 т/чел [41]. Следовательно, необходимо полностью механизировать процесс смешивания и погрузки удобрений. Существует ряд тукосмесителей, таких как СЗУ-2, УТМ-30. Но такие установки подойдут только для минеральных или для сухих сыпучих органических удобрений, так как при работе с органическими удобрениями повышенной влажности окно бункера будет забиваться, что нарушит выполнение предусмотренных агротребований.

Специальная установка измельчитель-растариватель АИР-20, которая совмещает в себе функции смешивания с одновременным удалением мешкотары и перемалыванием крупных частей слежавшихся удобрений и произво-

дительностью 20 т/ч, подойдет для измельчения сыпучих органических удобрений (торфа, навоза) с одновременным смешиванием их с минеральными [14].

Также существует способ смешивания удобрений с помощью бульдозеров, который подразумевает под собой укладывание удобрений слоями с последующим их перемешиванием бульдозерной лопатой. Но такой способ не дает качественного перемешивания удобрений и, соответственно, мало эффективен [99].

Известен так же способ [3], в котором рассматривается метод получения торфо-минерального удобрения путем смешивания торфа с водорастворимыми минеральными удобрениями, например калийными солями, в размере 20-60 % от массы торфа. Однако недостатком данного метода является низкая физиологическая активность органической части удобрения. Поэтому данный способ был усовершенствован [77]. Торф подвергали окислительно-гидролитической деструкции озонированным воздухом, и затем производили перемешивание с минеральными компонентами. Озонирование производилось в количестве 200-550 г/м сухой массы гумато-щелочных металлов, выделенных из торфа. Данный способ подразумевает под собой существенное удорожание процесса и экономически не выгоден.

На базе сибирского научно-исследовательского института торфа, в 1999 году исследовали еще один способ приготовления комплексного органо-минерального удобрения на основе торфа [79], в котором низинный торф со степенью разложения 29 %, средней зольностью 19 % и влажностью 55-60% смешали с минеральными удобрениями (карбамид, двойной суперфосфат и сульфат калия), в качестве сорбента добавили природный цеолитовый туф. Пропорции в пересчете на действующее вещество составили - 40 % минеральных удобрений и 20 % цеолита, от 100 % массы торфа.

Кроме того, добавление в торф таких веществ, как фосфорная мука, известь, зола помогают уменьшить его кислотность, а в случае с фосфорной

мукой кислотность торфа помогает еще и превратить фосфор в легкоусвояемое состояние вследствие растворения его кислотой [18].

Однако несмотря на все преимущества использования таких способов компостирования (простота приготовления, уменьшение кислотности торфа, переход некоторых веществ в легкоусвояемую растениями форму), существует один серьезный недостаток — невозможность добиться равномерного распределения минеральных компонентов по всей массе торфа. Плохо смешанные органо-минеральные удобрения теряют свою биологическую активность, а следовательно, и преимущества перед использованием органических и минеральных удобрений отдельно.

Добиться равномерного смешивания органических и минеральных компонентов можно только в производственных условиях химического завода или фабрики. Так, сегодня существует ряд заводов по производству гранулированных органо-минеральных удобрений. К примеру, ОАО «Буйский химический завод» производит удобрения для различных культур [42]. Основой всех этих удобрений, на которую закрепляются питательные элементы, так же является торф, содержание которого составляет 40-60 % от общей массы. Технологический процесс производства ОМУ позволяет комбинировать минеральные элементы и гуминовые соединения, в результате чего закрепляется и становится менее подвижным азот и калий, а фосфор переходит в легкоусвояемую форму. Это позволяет существенно снизить дозу внесения по сравнению с минеральными удобрениями, так как коэффициент использования питательных элементов достигает 90- 95%.

Для каждой культуры разработан подходящий по составу вид органо-минерального удобрения, набор химических элементов которого позволяет обеспечить наиболее эффективный рост и развитие растения. В таблицах 1.1 и 1.2 показан процент действующего вещества основных марок ОМУ.

При испытаниях в Италии на внесении под зерновые культуры, ОМУ «Универсал» получен результат, отличающийся от результата при примене-

нии обычных минеральных удобрений: период созревания сократился на 7 - 12 дней.

Еще одним преимуществом данного вида удобрений является то, что наряду с минеральной формой вносится органическая, которая закрепляет плодородие почвы и способствует постепенной отдаче минеральной составляющей, препятствуя тем самым загрязнению окружающей среды [72].

Таблица 1.1 — Состав органо-минеральных удобрений по маркам в % действующего вещества

Марка	N общ.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	S	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	B	Гуминовое вещество
Универсал	7	7	8	1,5	3,92	-	0,01	0,01	0,02	0,05	0,02	11,0
Картофельное	6	8	9	2,0	4,69	-	0,01	0,01	0,06	0,1	0,025	10,5
Осеннее	2	5	10	1,5	4,6	-	0,01	0,01	0,01	0,07	0,02	13,5
Летнее	5,5	9	9	1,25	4,09	-	0,01	0,01	0,01	0,07	0,02	11,1
Пшеничное	7	7	8	1,7	4,34	-	0,1	0,4	0,06	0,08	0,1	9,7
Свекловичное	4	6	5	1,1	3,16	1,0	0,01	0,01	0,15	-	0,4	14,9
Подсолнечное	7	10	5	0,5	1,97	-	0,2	0,2	0,1	-	0,25	11,1
Рапсовое	5	7	12	3,0	6,64	-	0,01	0,01	0,01	0,5	0,03	7,0
Хлопковое	13	9	4	0,5	1,81	-	0,2	0,25	0,03	0,5	-	10,5
Кукурузное	7	10	4	0,4	2,9	-	-	0,5	0,01	-	-	13,5

Таблица 1.2 — Дозы и особенности применения различных марок ОМУ

Марка	Доза внесения, время и особенности применения
Универсал	основное внесение - 500 - 700 кг/Га; подкормка - 100 - 300 кг/Га
Картофельное	под весеннюю культивацию почв - 500 кг/Га
Осеннее	подкормки во второй половине вегетации - 100 - 300 кг/Га
Летнее	подкормки в течение вегетации - 50-300 кг/Га
Пшеничное	при посеве - 50-100 кг/Га
Свекловичное	при посеве - 100-300 кг/Га
Подсолнечное	при посеве - 100-250 кг/Га
Рапсовое	при посеве - 100-300 кг/Га
Хлопковое	при посеве - 50-200 кг/Га

Из таблиц 1.1 и 1.2 видно, что ОМУ «Универсал» подходит для всех видов культур.

В связи с тем, что по сравнению с компостами, ОМУ производства ОАО «Буйский химический завод» являются сыпучими удобрениями и имеют размер гранул 1-6 мм [42], и при их внесении поверхностно удастся существенно снизить нагрузку на рабочие органы разбрасывателя, расход топлива и затраты на ТО и ремонт.

## **1.2. Технологические особенности внесения органических и минеральных удобрений**

Равномерное распределение удобрений по поверхности поля — основной критерий позволяющий получить качественный урожай, поэтому их повышением занимались многие ученые [32, 74, 90, 94, 105, 118]. Неравномерность выше 25 % приводит к неравномерному урожаю по всему участку, на который осуществляется внесение. Из-за разницы в количестве выброшенных на участках удобрений, растения развиваются по-разному. Поэтому равномерное внесение — залог хорошего и качественного урожая. Неравномерное внесение, например, минеральных удобрений, влечет за собой экологические проблемы [74]. Так, излишки удобрений вымываются подземными водами, разлагаются в почве, образуя летучие продукты, и поступают в атмосферу, что влечет за собой негативные влияния на здоровье человека [118]. Переизбыток азотного и фосфорного удобрения в большей степени влияет на загрязнение почвы. В почве накапливается большое количество  $P_2O_5$ , который, попадая в водоемы через сточные воды, загрязняют их, стимулируют чрезмерное цветение водных растений и делает водоем непригодным для пищевого употребления [50].

Переизбыток удобрений на некоторых участках вызывает полегание растений, особенно это касается колосовых. Возрастает масса надземной части растения, что приводит к большой нагрузке на нижнюю часть стебля и его

перегибу. Это влечет за собой сложность при уборке зерновых культур комбайном [31].

Систематическое неравномерное распределение органических удобрений приводит к отрицательным последствиям и образованию в почве большого количества усвояемого азота [43].

Основным свойством удобрений, влияющим на аэродинамические качества частиц, дальность их вылета и траекторию полета, является коэффициент парусности.

Гранулометрический состав — свойство сыпучих удобрений, обеспечивающее равномерное поступление удобрений к рабочим органам, особенно центробежных разбрасывателей [46]. В связи с различием физико-механических свойств компонентов сыпучих гранулированных удобрений происходит сильное их расслоение, отрицательно сказывающееся при транспортировке, погрузке и внесении [35]. Гранулированные минеральные и органо-минеральные удобрения требуют корректного хранения, транспортировки, смешивания и внесения [98]. Вдобавок при внесении удобрений центробежными рабочими органами некоторые гранулы разрушаются в следствии удара. Дробление, повышает массу порошковидной фракции, изменяя физико-механические и технологические свойства удобрений. Исследования показали, что при внесении минеральных удобрений до 11% гранул разрушаются [37, 56], способствуя тем самым потере биологических свойств и повышению неравномерности распределения их по полю.

Важнейшее свойство удобрений влияющее на динамику их выброса и разделение частиц по фракциям, — коэффициент трения [115]. В работе [118] установлено влияние силы трения на сепарацию частиц, обусловленное разностью скоростей движения и секторов метания частиц с различным коэффициентом трения.

Еще один показатель, влияющий на динамику движения частицы удобрения по рабочему органу, — влажность и влагоемкость. С влажностью взаимосвязаны все остальные критерии и физико-механические свойства

гранулированных удобрений [118]. В таблице 1.3 показана максимально допустимая влажность. Отклонения от этих показателей ведет к порче удобрений и изменению их физико-механических свойств. Влажность и влагоемкость удобрений напрямую зависят от их гигроскопичности, при высокой степени которой удобрения подвержены слеживанию, ухудшается прочность, плотность гранул и рассеиваемость их по полю. В результате неравномерность внесения выходит за рамки допустимых границ [44, 95].

Таблица 1.3 — Влажность минеральных удобрений

Виды минеральных удобрений	Допустимая влажность, %
Азотные	0,15...0,3
Суперфосфат	3...4
Известковая мука	1,5...4
Калийные	1...6
Водорастворимые фосфорные	3...5

Гигроскопичность оценивают по 10-бальной шкале (рисунок 1.1).

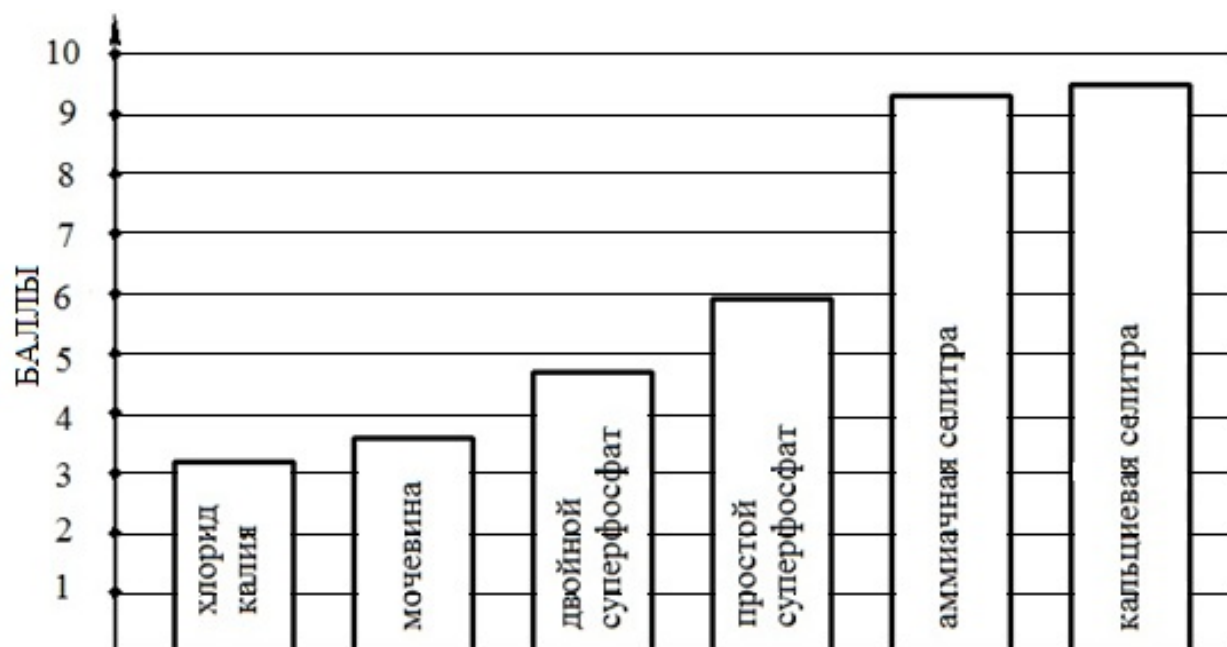


Рисунок 1.1 — Балльная система оценки гигроскопичности минеральных удобрений

Сульфат калия имеет практически нулевую гигроскопичность [114].



Повышение влажности удобрений вызывает их слеживаемость, показатель зависящий от условий, в которых хранятся удобрения [49]. Степени слеживаемости минеральных удобрений по 7-бальной шкале, представлены в таблице 1.4. Наибольшая 7-ая степень — сильнослеживаемые — характерна для карбомида и суперфосфата.

Таблица 1.4 — Степени слеживаемости минеральных удобрений

Степень	Название удобрения
1	Сульфат и хлорид калия, калимагnezия
2/3	Карбамид (фракция 1...3 мм)
4	Сульфат аммония
5	Аммиачная селитра
6	Суперфосфат гранулированный, хлорид калия, селвинит
7	Карбамид (фракция 0,2...1 мм), суперфосфат

Физико-механические свойства гранулированных удобрений находятся в непосредственной зависимости друг от друга: при повышении влажности увеличивается масса частиц, соответственно изменяется коэффициент трения. При работе роторных центробежных рабочих органов необходимо добиваться наименьшего процента раздробленных частиц.

В работе [53] выявлено влияние угла наклона рабочей поверхности лопастей рабочих органов на дробление и сектор метания частиц сыпучих минеральных удобрений. Установлено, что отрицательный угол наклона рабочей поверхности выбрасывающей лопасти уменьшает силу удара частиц удобрения об нее. Соответственно, для того чтобы добиться равномерного гранулометрического состава удобрений, необходимо снижать силу удара частиц, изменяя форму и параметры рабочих органов.

### 1.3. Анализ конструкций машин и рабочих органов для поверхностного внесения гранулированных удобрений

На сегодняшний день в Российской Федерации известно много различных способов и средств для внесения минеральных и органо-минеральных удобрений в твердом и жидком виде [57].

Несмотря на то что жидкие удобрения имеют меньшую стоимость по сравнению с твердыми удобрениями и легче усваиваются растениями, для их внесения необходимы специальные инструменты и технические средства (рисунок 1.2), которые не могут быть задействованы в других операциях. Кроме того, жидкие удобрения сложны в хранении и вызывают ожоги при попадании на листья.

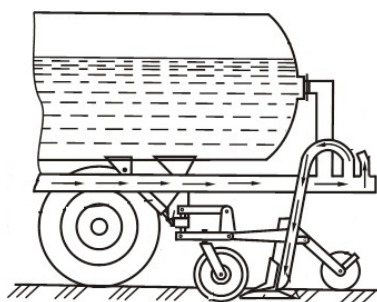


Рисунок 1.2 — Пример устройства для внесения жидких удобрений

Внесение же твердых удобрений подразделяется на поверхностное (разбросное) и локальное. На рисунке 1.3 изображен пример рабочего органа для локального внесения гранулированных удобрений [55].

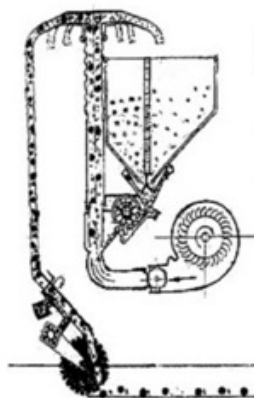


Рисунок 1.3 — Рабочий орган для локального внесения удобрений

Тем не менее локальное внесение имеет несколько существенных недостатков:

- значительное усложнение конструкции рабочих органов;
- невозможность использования машин для локального внесения на других сельскохозяйственных операциях;
- за счет использования комбинированных агрегатов преобладание одной операции в ущерб другой;
- повышенные требования к предварительной подготовке поля.

В связи с этим наиболее доступным способом внесения является поверхностный, с применением кузовных разбрасывателей. Преимущества кузовных разбрасывателей заключаются в простоте конструкции кузова и рабочих органов и невысокой стоимости. Кроме того, данные разбрасыватели можно применять в других сельскохозяйственных и не только операциях, например как прицепы для транспортировки различных материалов.

При поверхностном внесении значительный объем твердых удобрений, в зависимости от расстояния транспортировки от склада до поля, вносится по прямоточной [47, 75], перегрузочной [19, 61, 93] и перевалочной [10] технологии, с применением кузовных разбрасывателей. Технологическая схема работы у всех кузовных разбрасывателей идентична: загружаемые погрузчиками различного типа [52], удобрения продвигаются транспортером к рабочему органу, после чего происходит их выброс. Кузов разбрасывателей смонтирован на прицепе с одной или двумя осями. При снятии рабочих органов в некоторых случаях они могут быть использованы как обычный тракторный прицеп [47].

Для подачи удобрений к рабочим органам на разбрасывателях как минеральных, так и органических удобрений используют транспортеры различных типов: цепочно-планчатые, шнековые, вибрационные, ленточные [39] (рисунок 1.4).

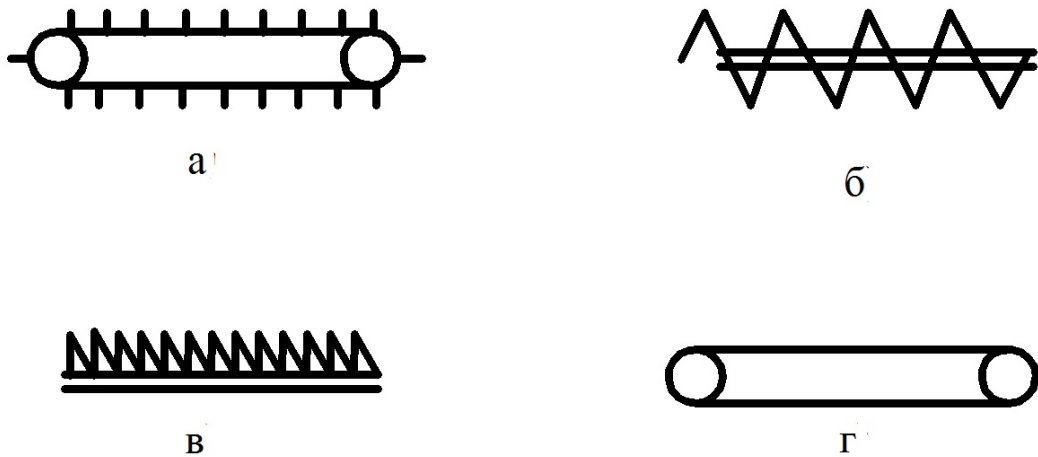


Рисунок 1.4 — Схемы различных транспортеров разбрасывателей:  
 а — цепочно-планчатые; б — шнековые;  
 в — вибрационные; г — ленточные.

Вибрационные транспортеры конструктивно просты и легки в ремонте и обслуживании, но мало подходят для сухих сыпучих органо-минеральных удобрений.

Шнековые транспортеры наиболее эффективно работают с сухими сыпучими удобрениями. Но при использовании торфо-минеральной смеси, торф может обладать высокой степенью влажности, что сведет на нет всю эффективность такого транспортера.

Цепочно-планчатые наиболее сложны в конструкции, ремонте и эксплуатации. Из-за большого количества деталей их очень сложно очищать. Хотя подходят для всех типов удобрений.

В отличие от твердых органических удобрений, для подачи которых к рабочему органу используются цепочно-планчатые и шнековые транспортеры [39], при внесении гранулированных удобрений с мелкой фракцией используют чаще всего ленточные транспортеры [53, 120].

Во многих странах мира, в том числе и в России, используют разбрасыватели минеральных удобрений с рабочими органами в виде дисков [40] (рисунок 1.5), смонтированных на вертикальной оси вращения, которые осуществляют вращение и выброс удобрений под действием центробежных сил.

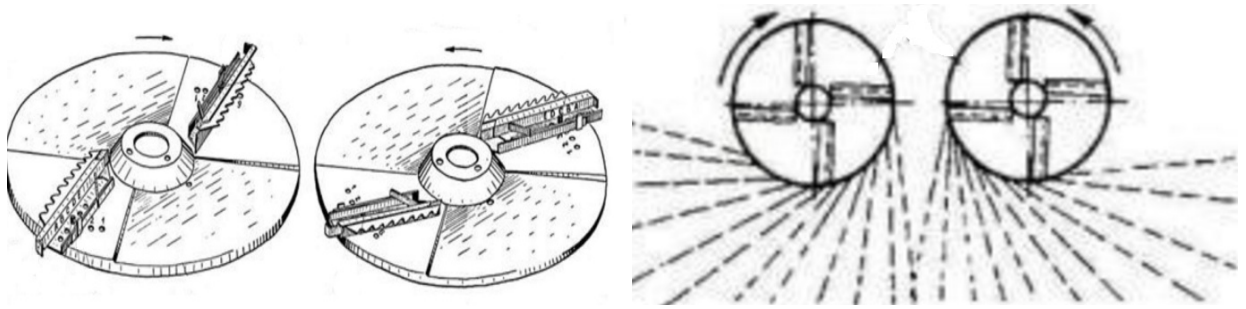


Рисунок 1.5 — Рабочие органы для внесения минеральных удобрений

Так, в России используют машины РУМ-(1.5, 3.0), 1 РМГ-4, МВУ-5, СТТ-10, в Белоруссии РДУ - (1.5, 3.0), РМУ 8000, в Германии — Amazone ZA, ZG-B [34, 102]. Дальность вылета удобрений при выбросе рабочими органами такого типа достигает 15-20 м.

Однако у горизонтальных рабочих органов есть существенный недостаток: при увеличении количества подаваемых удобрений часть материала не успевает достигнуть поверхности лопаток и сходит прямо с диска, не разогнавшись до необходимой скорости. В результате происходит ссыпание удобрений в непосредственной близости от диска, тем самым увеличивается неравномерность распределения. Как известно, переизбыток удобрений на определенном участке влечет за собой целый ряд проблем как для урожая, так и для его потребителей [43]. Усовершенствование данной лопатки чаще всего приводит к значительному усложнению конструкции и необходимости использования большого количества приводных механизмов.

Следующий, часто встречающийся тип рабочих органов для поверхностного внесения твердых удобрений — роторные, расположенные на горизонтальной оси вращения [13, 34], они используются как для внесения органических, так и минеральных удобрений. Они в основной своей массе представляют установленные посредством ступицы диск с лопатками. Количество лопаток обычно варьируется от 4 до 6 [54], в зависимости от вида материала и нагрузки на привод рабочего органа. Так в 1983 году был разработан шестилопастной рабочий орган с наклоном лопастей вперед на  $20^\circ$ , что позволило увеличить дальность вылета частиц удобрения. Однако это повлекло

за собой неравное количество выброшенных удобрений на начальном и конечном участке полосы рассева и понизило скорость полета частиц [1].

Известен рабочий орган разбрасывателя минеральных удобрений, состоящий из двух метателей роторного типа с лопастями, расположенными под положительным углом по отношению к горизонту, приводимых в движение ременной передачей (рисунок 1.6) [78].

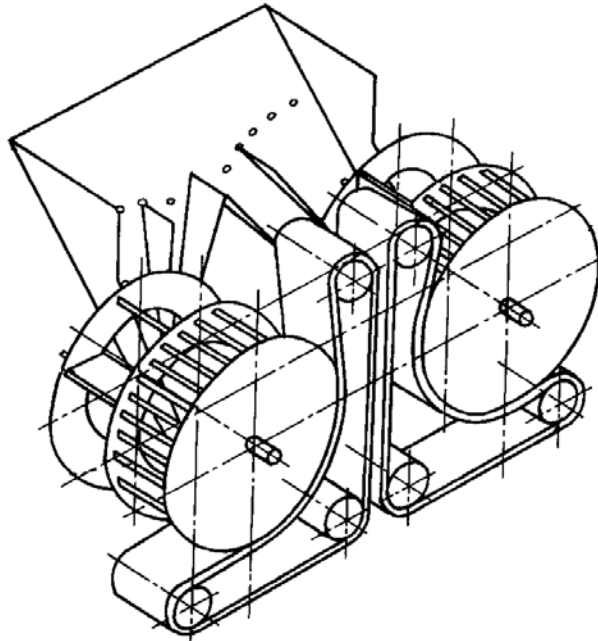


Рисунок 1.6 — Рабочий орган разбрасывателя минеральных удобрений

Использование ременной передачи для привода рабочих органов в разбрасывателях удобрений нецелесообразно из-за низкого срока службы ремня и невозможности передачи повышенной нагрузки. Для обеспечения выброса удобрений в пространство непосредственно под рабочим органом, необходимо уменьшать угол выброса, что уменьшает ширину захвата. А при выбросе удобрений под положительными углами к горизонту, частицы выбрасываются хаотично, тем самым образуя узкий веерный поток, в котором трудно обеспечить заданную равномерность.

В 1971г., на базе мастерской Есаульского совхоза Емельяновского района Красноярского края, А. Н Репетовым был изготовлен и в 1997г. О. М. Лепшеевым усовершенствован разбрасыватель с рабочим органом роторного типа, расположенном на горизонтальном валу. Принцип работы состоял в следующем: удобрения подавались ленточным транспортером к ротору и

разбрасывались вбок по ходу движения агрегата. В качестве метателя в данном рабочем органе использовался вентилятор-швырялка с кормоуборочного комбайна ПСН-1Н. Они бывают трех- (рисунок 1.7 а) или шестилопастные (рисунок 1.7 б). Использование такого рода роторного метателя с пятью лопастями обосновано. В работе [54] говорится о том, что оптимальное количество лопастей в данного вида рабочих органов составляет 4-5.

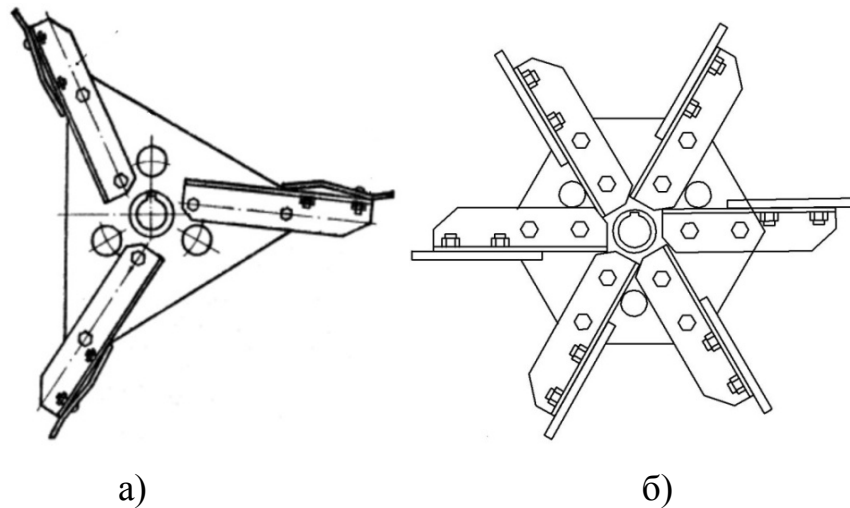


Рисунок 1.7 — Вентиляторы-швырялки кормоуборочных комбайнов

Недостатком данного роторного рабочего органа на горизонтальной оси вращения, как и всех предшествующих, послужила невозможность работать в ветряную погоду по причине малой плотности выбрасываемого потока удобрений (рисунок П.1). Выталкиваемые лопатками частицы разной массы, имеют различную траекторию полета, что способствует образованию неплотного широкого вертикального веера частиц (рисунок 1.8 а).

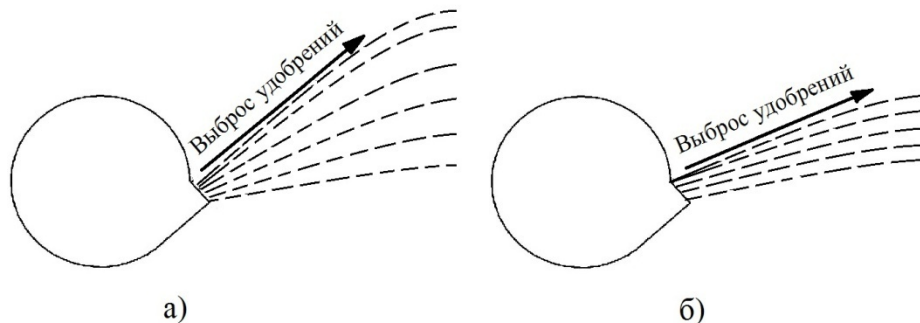


Рисунок 1.8 - Схема вертикального веерного распределения частиц удобрения: а - широкий веер частиц; б - узкий веер частиц.

Использование пневмомеханических рабочих органов, с горизонтальной осью [112] является эффективным, за исключением хаотичности траектории полета выброшенных частиц. Необходимо добиться уплотнения и устранения веерности выбрасываемого потока, путем изменения формы лопаток роторного рабочего органа или использования устройства для корректировки траектории. Таким устройством является дефлектор.

#### **1.4. Обзор исследований по внесению гранулированных удобрений**

Вопросом изучения процесса внесения удобрений, рабочими органами расположенными на горизонтальной и вертикальной осях, занимались многие ученые [9, 53, 84, 87, 107, 116 ].

В.В. Рядных утверждает, что центробежный рабочий орган может применяться на внесении всех видов сыпучих материалов и удобрений [94].

В первую очередь необходимо отметить исследования, касающиеся движения удобрений непосредственно по поверхности рабочего органа. Так, П. М. Василенко занимался изучением динамики движения частиц удобрения по поверхности диска, и сил действующих на них. Он утверждает, что траектория движения частиц удобрения по поверхности рабочего органа представляется логарифмической и архимедовой спиралью [17].

В свою очередь в работе [69] автор развивает теорию центробежного рабочего органа, выдвинутую П. М. Василенко, и получает дифференциальное уравнение движения частиц удобрения относительно лопатки рабочего органа в общем виде. Проведенный анализ позволил установить, что угол выброса удобрений увеличивается с увеличением коэффициента трения и парусности частицы. Однако угловая скорость при этом уменьшается.

Исходя из работы [105], коэффициент трения частиц удобрения, уменьшает относительную и абсолютную скорость движения их по поверхности рабочего органа. В связи с этим автор говорит что, необходимо



уменьшить коэффициент трения, путем использования лопастей с переменным изгибом рабочей поверхности.

Тем не менее, все гранулированные удобрения различны по своему гранулометрическому составу и имеют различные друг от друга физико-механические свойства. Данный факт позволяет предположить, что лопатки с переменным изгибом рабочей поверхности, будут эффективно работать не для всех видов гранулированных удобрений.

М. С. Хоменко [108] указал наиболее обоснованное положение места подачи гранулированных удобрений на центробежный рабочий орган и установил зависимость дальности выброса частицы удобрения от его частоты вращения и диаметра. По наблюдениям, наиболее целесообразный диаметр рабочего органа – 400 мм, а частота вращения —  $650 \text{ мин}^{-1}$ . А работа [86] сообщает нам, что размер сечения загрузочного окна должен соответствовать размеру рабочей поверхности лопасти для равномерного распределения удобрений на ней при подхвате.

Как бы то ни было, в центробежном рабочем органе, по мере приближения к центру вращения, центробежная сила уменьшается. Поэтому выталкивание частиц с разных мест рабочей поверхности будет происходить по разному и приведет к нарушению правильной траектории полета удобрения.

Однако слишком высокая частота вращения может способствовать разрушению гранул удобрения. В работе [109] профессор Василий Александрович Черноволов считает, что чем больше подача, тем выше скорость движения частицы удобрения при контакте с рабочей поверхностью центробежного органа, в результате чего возникает удар и ее разрушение. Процесс разрушения гранул так же зависит от физико-механических свойств удобрений, места их подачи, частоты вращения и диаметра рабочего органа.

В работе [51], установлено, что разрушение гранул начинается при частоте вращения более  $800 \text{ мин}^{-1}$ . Между тем такая частота вращения сможет обеспечить требуемую производительность и дальность вылета не для

всех видов удобрений. Данное обстоятельство приведет к увеличению затрат труда, денежных средств и снижению эффективности разбрасывателя.

Исходя из данных С. М. Закутского [37], увеличение частоты вращения центробежного рабочего органа на  $100 \text{ мин}^{-1}$ , повышает процент дробления гранул на 3%. Методом создания препятствия дроблению частиц, по словам автора, является поиск такой конструкции лопаток рабочего органа, которая позволит снизить силу удара. Естественно, как и форма рабочего органа, сократить процент раздробленных частиц, поможет уменьшение радиуса подачи удобрений на рабочий орган [84]. Но уменьшенный радиус подачи снизит производительность разбрасывателя, а как следствие возрастут трудовые затраты и затраты денежных средств. Успеть в оптимальные агротехнические сроки, как известно, — одна из основных задач сельскохозяйственного производства. Уменьшение же производительности может этому воспрепятствовать.

В. И. Якубаускас [120] отметил основные закономерности теории распределения гранулированных удобрений центробежными рабочими органами. Наиболее значимыми факторами являются дальность полета частиц, принципы распределения удобрений по поверхности поля и затраты на привод рабочих органов. Что касается траектории выброшенных удобрений, было установлено, что высота отражения гранул от поверхности рабочего органа возрастает с увеличением скорости подачи.

В работе [78] установлено, что максимальную дальность можно получить при углах вылета от  $30^\circ$  до  $50^\circ$ . В то время как результаты исследования [53] говорят об эффективности обеспечения угла вылета —  $35^\circ$ .

В научно-исследовательской работе [63] указано, что необходимый угол наклона лопасти в сторону вращения диска —  $10\text{...}15^\circ$ . Тем не менее, использование лопаток с положительным углом наклона в сторону вращения, в рабочем органе на горизонтальной оси вращения, повысит центробежную силу на их концах. В следствие, повысится сила удара рабочего органа о подаваемые удобрения и возрастет пылевидная фракция.

Существенным фактором при механизированном внесении сыпучих удобрений является равномерность распределения. М. П. Сергеев и А. Х. Хабиров [107] выявили и обосновали принципы, влияющие на равномерность распределения удобрений при сходе с лопатки, различных по гранулометрическому составу, удобрений. Однако в данной работе не обоснован диаметр самого рабочего органа и не исследовано влияние указанной частоты вращения  $1000...1100 \text{ мин}^{-1}$  на образование еще большего количества мелкой и пылевидной фракции.

Профессор А. Н. Репетов [87] разработав опытный образец разбрасывателя удобрений с роторным рабочим органом на горизонтальной оси вращения, испытал его в производственных условиях. Однако при заправке его удобрениями, в связи с большой высотой бортов кузова, присутствовали некоторые сложности значительно усложнявшие эксплуатацию. Кроме того, диаметр рабочего органа, равномерность распределения удобрений, форма и размеры кузова не имели достаточного обоснования.

Позже кандидат технических наук О. М. Лепшеев [53] усовершенствовал разработанный профессором А. Н. Репетовым разбрасыватель. Была полностью обоснована форма и размеры кузова разбрасывателя, а для удобной загрузки удобрениями с самосвала его сделали низкорамным. Было установлено, что наиболее рационально использовать рабочий орган с диаметром 920 мм и частотой вращения  $900 \text{ мин}^{-1}$ . Неравномерность внесения удобрений разбрасывателя с данными параметрами составила 16 %. Между тем не было полностью обосновано влияние формы лопаток дробление и динамику движения частиц удобрения. Не были рассмотрены и исследованы технические средства, позволяющие добиться уплотнения потока выбрасываемых удобрений.

Отличительной особенностью рабочего органа низкорамного разбрасывателя, разработанного А. Н. Репетовым и О. М. Лепшеевым, является то, что он пневмомеханический, то есть в кожухе рабочего органа создается воздушный напор, который помогает выталкивать удобрения. Исследованиями

было установлено значение воздушного напора, создаваемого ротором в кожухе, оно составило 156 мм водяного столба, тогда как обычные центробежные органы позволяют добиться не более 80 мм водяного столба. Авторы выяснили, что при установке кожуха на рабочий орган, благодаря создаваемому воздушному напору, дальность выброса удобрений возрастает на 3 метра. Тем не менее при частоте вращения  $1048 \text{ мин}^{-1}$ , гранулированные удобрения все равно принимают пылевидное состояние.

Таким образом, создание воздушного напора внутри кожуха рабочего органа позволяет получить прирост к дальности вылета удобрений — 20%, но никак не повлияет на дробление гранул.

Однако в вышеперечисленных работах не исследована возможность работы агрегатов на внесении удобрений в условиях пересеченного рельефа местности. Внимание к вопросу работы агрегатов для внесения удобрений на склонах в последнее время растет, так как при такой работе значительно ухудшается равномерность внесения. В работах [29,30] установлено, что при внесении удобрений на склонах основной проблемой является нарушение направления подачи удобрений к рабочему органу. То есть, из-за наклона в одну или другую сторону удобрения не попадают в полном объеме на рабочую поверхность органа и выбрасываются неравномерно. Исправить эту проблему пытались изменением места подачи удобрений путем монтажа дополнительных конструктивных элементов и питателей [119]. Решить эту задачу пытались установкой устройства для регулировки положения рабочих органов по отношению к поверхности поля, но это повлекло за собой один существенный недостаток — возрастание затрат труда и времени на постоянную регулировку рабочих органов при малейшем изменении угла склона и направления движения.

## **1.5. Цели и задачи исследования**

На основании анализа современного состояния вопроса, целью данного исследования является повышение равномерности распределения гранулированных органо-минеральных удобрений за счет совершенствования конструктивно-режимных параметров пневмомеханического рабочего органа роторного типа с горизонтальной осью вращения, на базе низкорамного кузовного разбрасывателя.

Для достижения данной цели необходимо решить задачи:

1. Установить влияние основных конструктивных параметров лопаток ротора на качество внесения удобрений;
2. Разработать математическую модель процесса внесения гранулированных органо-минеральных удобрений рабочими органами роторного типа на горизонтальной оси вращения, позволяющую обосновать основные конструктивно-режимные параметры предлагаемого устройства;
3. Установить влияние параметров дефлектора на характеристику потока выбрасываемых удобрений;
4. Провести полевые исследования, проверить разработки в производственных условиях и установить агроэкономическую эффективность экспериментального низкорамного разбрасывателя с разработанным рабочим органом роторного типа.

### **Выводы по разделу**

1. Рассмотрены агротехнические требования, предъявляемые к органическим и минеральным удобрениям. Проведен обзор возможных смесей органических и минеральных удобрений. Установлено, что гранулированные органо-минеральные удобрения — не менее эффективный вид удобрения. Выявлены основные свойства удобрений, влияющие на динамику движения и равномерность их распределения.

2. Анализ существующих конструкций и работ по исследованию поверхностного внесения гранулированных удобрений, позволил подтвердить целесообразность использования пневмомеханического рабочего органа расположенного на горизонтальной оси вращения.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОРГАНА НИЗКОРАМНОГО РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ

### 2.1. Динамика движения частиц удобрения

В теории рассева удобрений роторами с горизонтальной осью вращения имеет значение дальность полета частиц, закономерность распределения удобрений и затраты мощности на привод [25, 91].

Лопатки ротора могут быть расположены относительно центра вращения радиально, установлены назад или вперед. Так же угол наклона  $\varphi$  может оказывать влияние на динамику движения выбрасываемого груза [45, 113].

Рассмотрим все три варианта при условии равномерной подачи удобрения массой  $m$  на лопатку и частоте вращения  $\omega$ .

В варианте радиального расположения лопатки, угол наклона ее к оси ротора  $\varphi=0$  (рисунок 2.1).

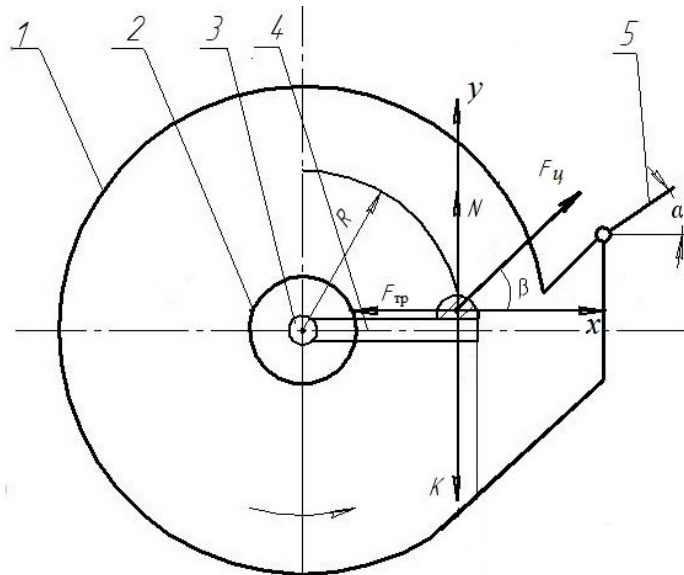


Рисунок 2.1 — Схема сил, действующих на частицу удобрения ( $\varphi=0$ )  
 1 — кожух; 2 — диск ротора; 3 — вал; 4 — лопатка;  
 5 — дефлектор.

Схема действия сил на частицу удобрений при расположении лопаток под углом  $\varphi < 0$  показана на рисунке 2.2.

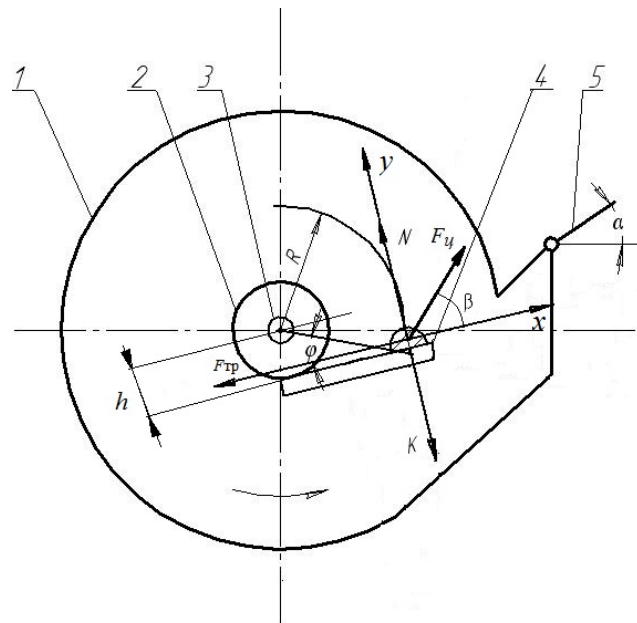


Рисунок 2.2 — Схема сил, действующих на частицу удобрения ( $\varphi < 0$ )  
 1 — кожух; 2 — диск ротора; 3 — вал; 4 — лопатка;  
 5 — дефлектор.

На рисунке 2.3 представлен третий вариант — расположение лопаток под углом  $\varphi > 0$ .

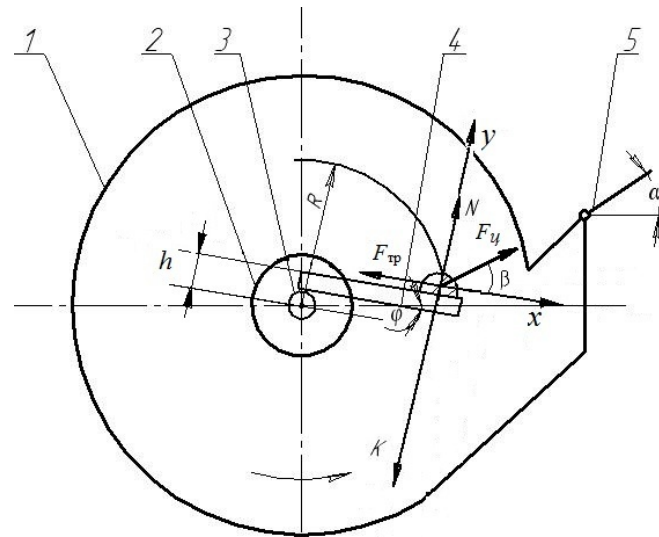


Рисунок 2.3 — Схема сил, действующих на частицу удобрения ( $\varphi > 0$ )  
 1 — кожух; 2 — диск ротора; 3 — вал; 4 — лопатка;  
 5 — дефлектор.

При этом:  $N$  — сила нормальной реакции;  $F_{ц}$  — центробежная сила инерции;  $F_{т}$  — сила трения;  $K$  — сила Кориолиса;  $R$  — радиус ротора (длина лопатки).



Выражая математически, получим

$$F_{ц} = m\omega^2 R = m\omega^2 \cdot \sqrt{x^2 + h^2}, \quad (2.1)$$

$$K = 2\omega\dot{x} \cdot m,$$

$$\sin\beta = \frac{h}{\sqrt{x^2 + h^2}},$$

$$\cos\beta = \frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}}.$$

Проанализировав схемы расположения лопаток ротора относительно центра вращения, пришли к выводу, что снизить силу трения удобрений по лопатке можно в третьем варианте — расположение лопаток над центром вращения при ( $\varphi > 0$ ). При таком расположении расстояние  $h$  уменьшает силу трения, а центробежная сила помогает сходу частиц с лопатки.

Расположение же лопаток ротора, показанное на рисунке 2.2, наоборот, увеличивает силу трения груза о поверхность лопатки, прибавляя к ней расстояние  $h$ . Вместе с тем центробежная сила стремится направить удобрения не в сторону выгрузного окна, а к центру вращения ротора.

Движение частицы удобрения массой  $m$ , находящейся на лопатке, можно выразить уравнением 2.2

$$m\ddot{x} = F_{ц} \cdot \cos\beta - F_{тр}. \quad (2.2)$$

Тогда

$$N + F_{ц} \cdot \sin\beta - K.$$

Выражая силу нормальной реакции,

$$N = K - F_{ц} \cdot \sin\beta \Rightarrow F_{тр} = fN = f(K - F_{ц} \sin\beta).$$

уравнение 2.2 примет вид

$$m\ddot{x} = m\omega^2 \sqrt{x^2 + h^2} \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + h^2}} - f \left( 2m\omega\dot{x} - m\omega^2 \sqrt{x^2 + h^2} \cdot \frac{h}{\sqrt{x^2 + h^2}} \right).$$

После сокращения при начальном условии  $x(0) = x_0$  и  $\dot{x}(0) = 0$  получим

$$\ddot{x} = \omega^2 x - 2f\omega\dot{x} + f\omega^2 \cdot h \quad (2.3)$$

Следовательно,

$$\ddot{x} + 2f\omega\dot{x} + \omega^2x = f\omega^2h,$$

Выполнив условие  $x = B$ ,  $\dot{x} = 0$ ,  $\ddot{x} = 0$ , установим

$$x(t) = x_{\text{одн}}(t) + x_{\text{неодн}}(t)$$

При этом  $x_{\text{неодн}}$

$$\omega^2x_{\text{неодн}}(t) = f\omega^2h,$$

После сокращения получим

$$x_{\text{неодн}} = fh.$$

Тогда  $x_{\text{одн}}(t)$  — это общее решение

$$\ddot{x} + 2f\omega\dot{x} + \omega^2x = 0 \quad (2.4)$$

Составим характеристическое уравнение

$$z^2 + 2f\omega z + \omega^2 = 0 \quad (2.5)$$

Из уравнения 2.5 выразим  $Z$

$$z = -f\omega \pm \sqrt{f^2\omega^2 - \omega^2} = -f\omega \pm \omega\sqrt{f^2 - 1}.$$

В этом случае

$$x_{\text{одн}}(t) = c_1 e^{(-f\omega + \omega\sqrt{f^2 - 1})t} + c_2 e^{(-f\omega - \omega\sqrt{f^2 - 1})t}.$$

Тогда

$$x(t) = c_1 e^{(-f\omega + \omega\sqrt{f^2 - 1})t} + c_2 e^{(-f\omega - \omega\sqrt{f^2 - 1})t} + fh \quad (2.6)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — постоянные интегрирования.

После ряда математических преобразований определим

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) = & \left(-f\omega + \omega\sqrt{f^2 - 1}\right) \cdot c_1 e^{(-f\omega + \omega\sqrt{f^2 - 1})t} + \\ & + \left(-f\omega - \omega\sqrt{f^2 - 1}\right) \cdot c_2 e^{(-f\omega - \omega\sqrt{f^2 - 1})t}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Составим систему уравнений

$$\begin{cases} x_0 = c_1 + c_2 + fh, \\ 0 = c_1 \left(-f\omega + \omega\sqrt{f^2 - 1}\right) + c_2 \left(-f\omega - \omega\sqrt{f^2 - 1}\right). \end{cases} \quad (2.8)$$

Найдем  $C_1$  и  $C_2$ , и подставив в формулу 2.6 вместо  $x(t)=R$ , можно найти  $t$  — время движения груза до конца лопатки.

Включив найденное значение  $t$  в формулу 2.7, определим относительную скорость ( $V_{отн}$ ) схода удобрений с лопатки.

Дальность полета частиц, тесно связанная со скоростью движения и парусностью удобрений [130], которая представлена на рисунке 2.4, определяется численным решением системы уравнений 2.9

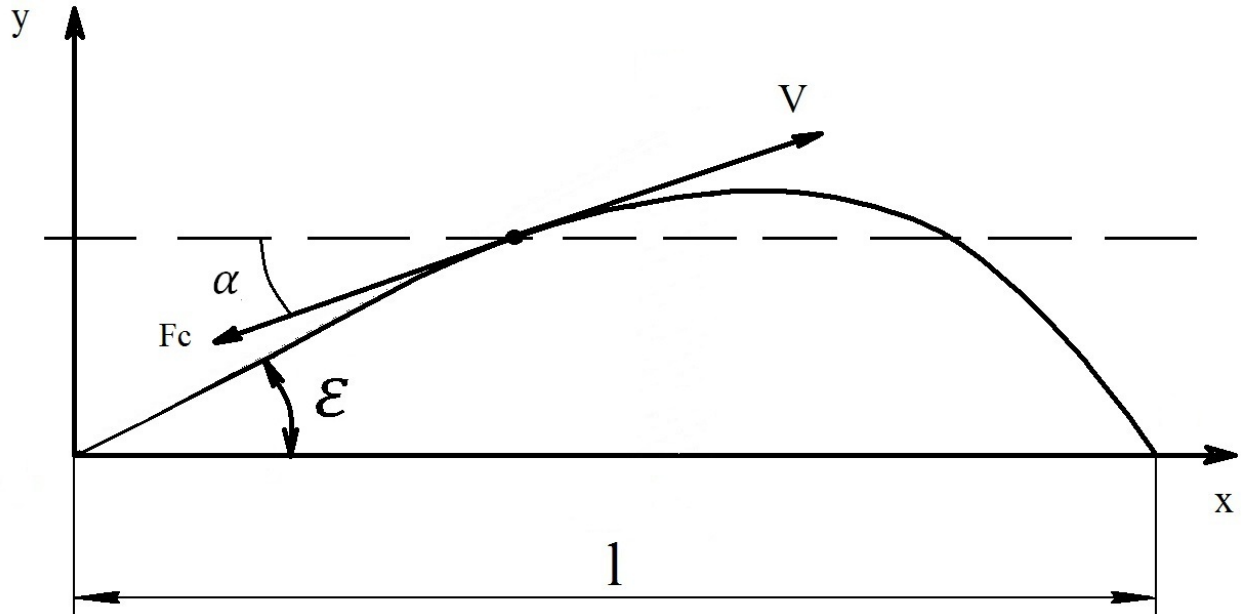


Рисунок 2.4 — Дальность полета частицы удобрения

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -mKV^2 \cos\alpha, \\ m\ddot{y} = -mKV^2 \sin\alpha - mg. \end{cases} \quad (2.9)$$

где  $V$  — скорость вылета частицы;  $K$  — коэффициент парусности;  
 $\epsilon$  — угол вылета удобрений;  $F_c$  — сила сопротивления воздуха ( $mKV^2$ ).

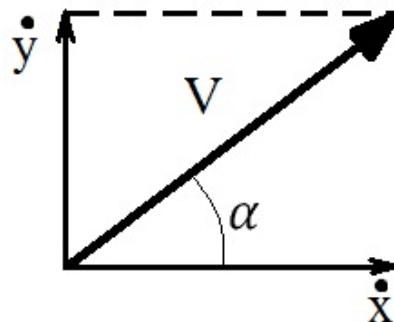


Рисунок 2.5 — Проекция скорости вылета частицы удобрения

Проектируя скорость вылета частицы на ось  $x$  и  $y$  (рисунок 2.5), получим

$$V = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}, \quad (2.10)$$

Из выражения 2.10 выделяем  $\sin\alpha$  и  $\cos\alpha$

$$\cos\alpha = \frac{\dot{x}}{V},$$

$$\sin\alpha = \frac{\dot{y}}{V}.$$

Тогда система уравнений примет вид

$$\begin{cases} \ddot{x} = -K\dot{x}V, \\ \ddot{y} = -K\dot{y}V - g. \end{cases}$$

Подставляя в данное выражение значение скорости, при начальном условии  $t = 0; x = 0; y = 0; \dot{x} = V_0 \cdot \cos \varepsilon; \dot{y} = V_0 \cdot \sin \varepsilon$ , получим

$$\begin{cases} \ddot{x} = -K\dot{x}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}, \\ \ddot{y} = -K\dot{y}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} - g. \end{cases} \quad (2.11)$$

В итоге необходимо отметить, что на скорость вылета, и дальность полета частиц, выброшенных роторным рабочим органом, влияет его радиус, угол вылета частиц и время движения удобрений по поверхности. лопатки, включая коэффициент трения и коэффициент парусности.

## 2.2 Обоснование форм лопатки ротора

На удобрения при высыпании с ленточного транспортера на лопатки вращающегося ротора, действует сила тяжести  $mg$ , инерции  $ma$  и сила трения  $F_{тр}$  груза о стенки кожуха, т.е

$$\sum P = mg + ma + F_{тр}; \quad (2.12)$$

где  $\sum P$  — вертикальная составляющая суммарной силы действия груза на поверхность лопатки.

Исходя из условия  $a = \frac{g^2}{R}$  и используя уравнение (2.12), определим ускорение груза в зависимости от угла поворота лопатки  $[a = \vartheta'(\varphi)]$ , в диапазоне начала и конца выгрузки

$$a = \frac{-R^2\omega^2 \cdot \sin\varphi + R^2\omega^2 f \cos\varphi - gR \sin\varphi + gRf \cos\varphi + gR \cos\varphi + gRf \sin\varphi}{2R\sqrt{R^2\omega^2 f^2 + R^2\omega^2(\cos\varphi + \sin\varphi) + gR(\cos\varphi + \sin\varphi) + gRf(\sin\varphi - \cos\varphi)}}$$

После преобразования получим

$$a = \frac{(R\omega^2 + g)(\cos\varphi - \sin\varphi) + gf(\cos\varphi + \sin\varphi)}{2\sqrt{R^2\omega^2 f^2 + R^2\omega^2(\cos\varphi + \sin\varphi) + gR(\cos\varphi + \sin\varphi) + gRf(\sin\varphi - \cos\varphi)}}; \quad (2.13)$$

Тогда зависимость (2.13) будет выглядеть

$$\sum P = mg + m \cdot \left( \frac{(R\omega^2 + g)(\cos\varphi - \sin\varphi) + gf(\cos\varphi + \sin\varphi)}{2\sqrt{R^2\omega^2 f^2 + R^2\omega^2(\cos\varphi + \sin\varphi) + gR(\cos\varphi + \sin\varphi) + gRf(\sin\varphi - \cos\varphi)}} \right) + F_{mp}; \quad (2.14)$$

Вертикальная составляющая силы  $\sum P$ , действуя на порцию груза лопатки, вызывает боковое давление  $P_{\delta}$

$$P_{\delta} = (mg + ma) \operatorname{ctg} \beta', \quad (2.15)$$

где  $\beta'$  - угол естественного откоса груза в движении.

Заменив составляющие выражения (2.15) их значениями, получим

$$P_{\delta} = m \left( g + \frac{(R\omega^2 + g)(\cos\varphi - \sin\varphi) + gf(\cos\varphi + \sin\varphi)}{2\sqrt{R^2\omega^2 f^2 + R^2\omega^2(\cos\varphi + \sin\varphi) + gR(\cos\varphi + \sin\varphi) + gRf(\sin\varphi - \cos\varphi)}} \right) \cdot \operatorname{ctg} \beta' \quad (2.16)$$

Величина боковой силы (горизонтальная составляющая  $\sum P$ ) будет также зависеть от объема груза на лопатке и ее формы и для плоской лопатки примет вид (рисунок 2.6)

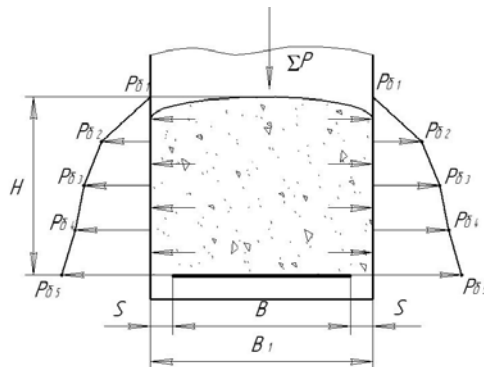


Рисунок 2.6 — Распределение бокового давления по ширине лопатки

где  $B$  — ширина лопатки;  $B_1$  — рабочая ширина кожуха;  $S$  — зазор между лопаткой и стенкой кожуха;  $H$  — высота груза на лопатке;  $P_{61}, \dots, P_{65}$  — по-слойные составляющие эпюры бокового давления.

По расчетным значениям  $P_6$  для каждого слоя строим эпюры этих сил, действующих в боковом направлении в точках соприкосновения со стенками барабана. Из рисунка 4 видно, что  $P_6$  растет с увеличением высоты порции груза на лопатке.

Следует отметить, что на частицы груза, находящихся у стенок кожуха, действует сила трения  $F_{тр}$

$$F_{mp} = f \cdot P_6; \quad (2.17)$$

где  $f$  — коэффициент трения удобрения о стенку кожуха.

Заменив  $P_6$  на его значение, получим,

$$F_{mp} = fm \left( g + \frac{(R\omega^2 + g)(\cos\varphi - \sin\varphi) + gf(\cos\varphi + \sin\varphi)}{2\sqrt{R^2\omega^2 f^2 + R^2\omega^2(\cos\varphi + \sin\varphi) + gR(\cos\varphi + \sin\varphi) + gRf(\sin\varphi - \cos\varphi)}} \right); \quad (2.18)$$

Высота  $H$  порции удобрения определяется

$$H = \frac{B}{ctg\beta}; \quad (2.19)$$

где  $B$  — ширина лопатки;

$\beta$  — угол естественного откоса удобрений в покое.

С учетом размеров лопатки и физико-механических свойств удобрений, выражение (2.19) преобразуется

$$H = \frac{m}{\gamma BL \cos\beta'}; \quad (2.20)$$

где  $m$  — масса груза;

$\gamma$  — плотность груза;

$B$  и  $L$  — соответственно, ширина и длина лопатки;

$\beta'$  — угол естественного откоса удобрений в движении.

В результате, вертикальная составляющая суммарной силы действия удобрения на поверхность лопатки примет вид

$$\sum P = 2mg + m \frac{(R\omega^2 + g)(\cos\varphi - \sin\varphi) + gf(\cos\varphi + \sin\varphi)}{\sqrt{R^2\omega^2 f^2 + R^2\omega^2(\cos\varphi + \sin\varphi) + gR(\cos\varphi + \sin\varphi) + gRf(\sin\varphi - \cos\varphi)}}. \quad (2.21)$$

Уменьшить действие боковой силы можно путем уменьшения значения  $H$ . Для этого целесообразно использовать лопадки ротора с бортами (рисунок 2.7а) или желобообразными (рисунок 2.7б)

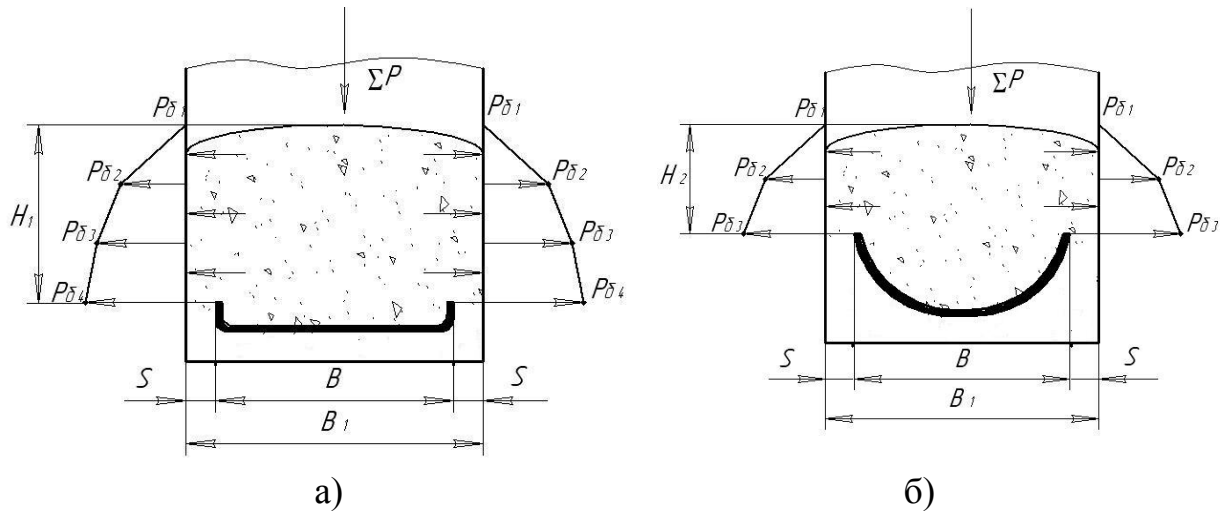


Рисунок 2.7 — Распределение бокового давления по ширине лопадки: а) с бортами; б) желобообразные.

Предлагаемые конструкции лопаток снижают силу трения удобрений о стенки кожуха, затраты мощности на привод рабочих органов и позволяют корректировать дальность выброса удобрений.

Создаваемый вращающимися лопатками воздушный напор также снижает действие боковой силы. Величина воздушного напора определяется экспериментальным путем по соответствующей методике.

### 2.3. Аналитическое исследование движения удобрений по дефлектору

Значительное место в теоретических исследованиях уделяется дефлектору как одному из элементов транспортирующей системы [2,8, 20,104].

Использование дефлектора в разбрасывающем аппарате барабанного типа позволяет исключить веерный (по вертикали) полет частиц удобрений и регулировать плотность и дальность его полета. Повышением плотности по-

тока органо-минеральных удобрений частично корректируется взаимодействием частиц удобрений с различной парусностью.

Исследуемые нами вопросы [110] направлены на обоснование конструктивно-режимных параметров дефлектора и его влияния на технологические показатели (рисунок 2.8). Удобрения движутся по длине дуги рабочей поверхности дефлектора, соответствующей углу  $90^\circ$ , за счет имеющегося у него запаса кинетической энергии при скорости  $V_d$  в конце дефлектора.

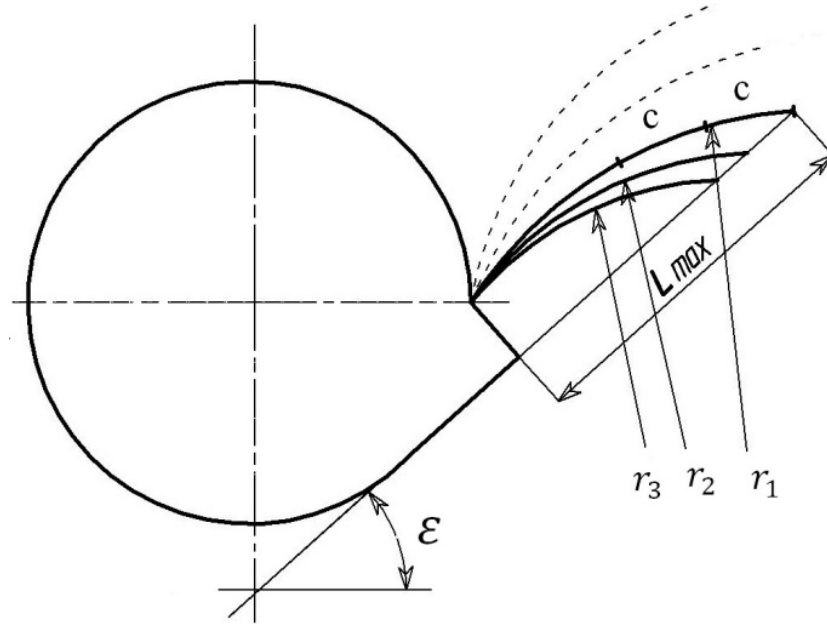


Рисунок 2.8 — Схема работы телескопического дефлектора

где  $\varepsilon$  — угол наклона выгрузного окна;

$c$  — шаг измерения длины телескопического дефлектора;

$L_{\max}$  — максимальная длина вылета.

Принимаем поверхность дефлектора постоянного радиуса (рисунок 2.9).

На частицу удобрения, находящуюся на поверхности дефлектора, действуют следующие силы: сила тяжести —  $mg$ ; составляющая силы тяжести —  $mg \cos \alpha$ , направленная по касательной к поверхности дефлектора; составляющая силы тяжести, направленная нормально к поверхности дефлектора —  $mg \sin \alpha$ ; центробежная сила инерции —  $\frac{mv^2}{r}$ ; сила инерции —  $m \frac{dv}{dt}$ .



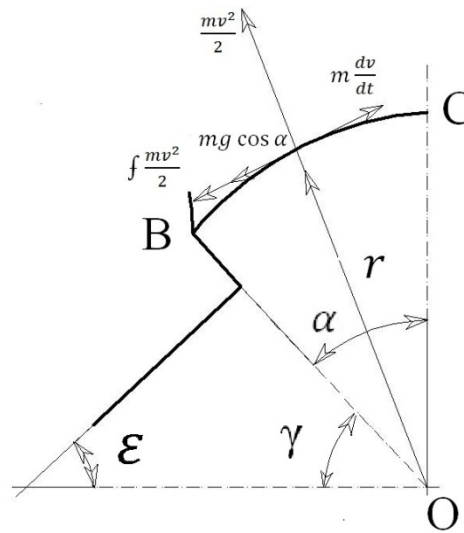


Рисунок 2.9 — Схема сил, действующих на частицу удобрения при движении ее по дефлектору

где  $\alpha = 55^\circ$ ,  $\varepsilon = 35^\circ$ ,  $\gamma = 55^\circ$ .

Уравнение движения удобрения по касательной к поверхности дефлектора составит

$$m \frac{dv}{dt} = -f \frac{mv^2}{r} - mg \cos \alpha. \quad (2.21)$$

При выходе удобрений из дефлектора, то есть  $\gamma + \alpha = 90^\circ$ , уравнение (2.21) примет вид

$$m \frac{dv}{dt} = -f \frac{mv^2}{r}.$$

Установлено что составляющая сила тяжести при максимальных значениях незначительна, в сравнении с силой трения, поэтому ею можно пренебречь.

Тогда при принятом допущении получим

$$\frac{dv}{v^2} = \frac{f}{r} dt.$$

Интегрируя это выражение в пределах от  $V_{тр}$  до  $V$  и от  $0$  до  $t$ , получим зависимость между скоростью движения транспортируемой массы по дефлектору и временем  $t$

$$V = V_p - \frac{r}{f \cdot t'} \quad (2.22)$$

где  $V_p$  — скорость движения удобрения при сходе с лопатки.

Как видно из формулы 2.22, скорость движения удобрений по дефлектору напрямую зависит от коэффициента трения и времени прохождения. Соответственно, увеличение длины дефлектора будет снижать скорость движения удобрений.

Ряд авторов в своих исследованиях [2, 8, 20, 104] рекомендует использовать параболическую форму дефлектора, которая наиболее приспособлена для транспортируемого материала, с учетом его физико-механических свойств.

Эффективность работы дефлектора проверялась при движении удобрений по рабочей поверхности, выполненной по параболе.

Форма параболического дефлектора (рисунок 2.10) должна совпадать с траекторией движения удобрений, выходящих в нижней области выгрузного окна.

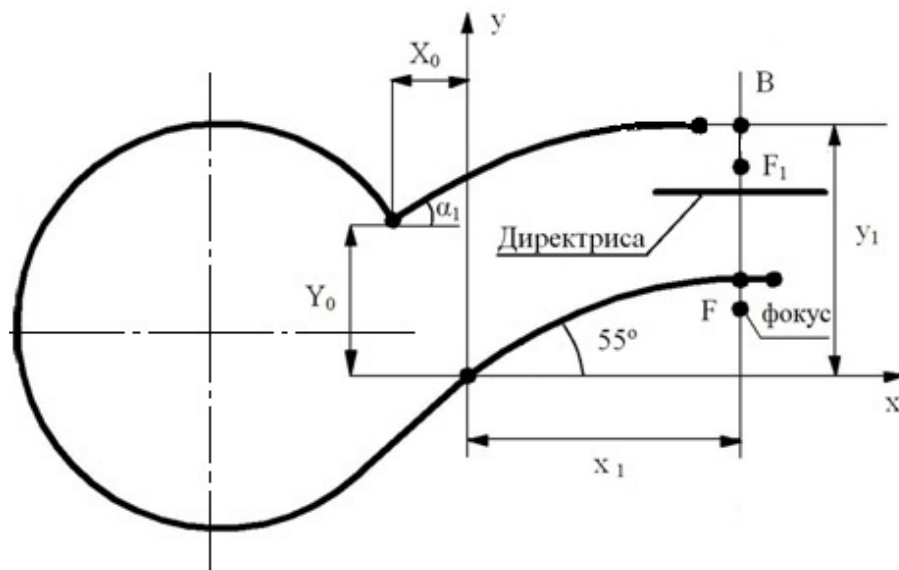


Рисунок 2.10 — Схема параболического дефлектора

Траектория движения тела, брошенного под углом к горизонту, выразится [85]

$$\begin{aligned}x &= v_0 \cdot t \cdot \cos\alpha, \\y &= v_0 \cdot t \cdot \sin\alpha - \frac{gt^2}{2}, \\t &= \frac{x}{v_0 \cos\alpha}, \\y &= \frac{x}{\cos\alpha} \cdot \sin\alpha - g \frac{x^2}{2v_0^2 \cos^2\alpha}.\end{aligned}$$

После математических преобразований получим

$$\begin{aligned}y &= x \cdot \operatorname{tg}\alpha - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cdot \cos^2\alpha}, \\y &= -\frac{gx^2}{2v_0^2 \cdot \cos^2\alpha} + x \cdot \operatorname{tg}\alpha.\end{aligned}\quad (2.23)$$

Парабола, ветви которой направлены вниз симметрично прямой  $x_v = \frac{v_0^2}{g} \cdot \cos^2\alpha \cdot \operatorname{tg}\alpha$ , при  $\alpha=55^\circ$ .

Уравнение дефлектора получаем переносом осей на величину  $y_0=200\text{мм}$ . Следовательно фокус параболы дефлектора будет расположен выше на то же расстояние  $x_b = -\frac{b}{2a}$  [85].

Необходимо получить уравнение формы дефлектора относительно оси параболы в виде

$$X^2 = 2pY. \quad (2.24)$$

Координаты вершины параболы дефлектора составят

$$\begin{cases}x_b = \frac{\operatorname{tg}\alpha \cdot 2v_0^2 \cdot \cos^2\alpha}{2g}, \\y_b = -g \frac{\operatorname{tg}^2\alpha \cdot v_0^4 \cdot \cos^4\alpha}{g^4 \cdot 2v_0^2 \cdot \cos^2\alpha} + \frac{\operatorname{tg}\alpha \cdot v_0^2 \cdot \cos^2\alpha}{g} + y_0.\end{cases}\quad (2.25)$$

При параллельном переносе осей уравнение дефлектора относительно оси параболы будет выглядеть

$$x = X + x_1,$$

$$y = Y + y_1.$$

$$Y + y_1 = -\frac{g(X + x_1)^2}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} + (X + x_1)tg\alpha + y_0,$$

$$Y = -\frac{g(X^2 + 2Xx_1 + x_1^2)}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} + Xtg\alpha + x_1tg\alpha + y_0 - y_1,$$

$$Y = \frac{-gX^2}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} - \frac{X \cdot x_1 g}{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} - \frac{x_1^2 g}{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} + Xtg\alpha + x_1tg\alpha + y_0 - y_1,$$

$$Y = -\frac{gX^2}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} + \left( \frac{-x_1 g}{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} + tg\alpha \right) \cdot X +$$

$$+ \left( -\frac{x_1 g}{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} + x_1tg\alpha + y_0 - y_1 \right).$$

Принимая

$$tg\alpha - \frac{x_1 g}{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} = 0,$$

получим

$$x_1 = \frac{tg\alpha \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha}{g},$$

тогда

$$\frac{x_1^2 g}{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} + x_1tg\alpha + y_0 - y_1 = 0.$$

В результате получим уравнение формы рабочей поверхности дефлектора относительно вершины его параболы

$$Y = -\frac{gX^2}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \tag{2.26}$$

или

$$X^2 = -\frac{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha}{g} \cdot Y. \tag{2.27}$$

Расстояние от вершины до фокуса, а также от вершины до директрисы параболы определяется следующим выражением

$$BF_1 = \frac{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha}{2g}. \quad (2.28)$$

Теоретические выкладки по определению рациональной формы рабочей поверхности дефлектора проверялись в условиях реальной эксплуатации разбрасывателя удобрений.

#### **2.4. Стабилизация пространственного положения кузовного низкорамного разбрасывателя удобрений**

Вследствие глубокой расчлененности рельефа в пределах Российской Федерации на склонах крутизной 1...10° расположено 60% пашни, сенокосов и пастбищ.

Эксплуатация машинно-тракторных агрегатов (МТА) в условиях склонового почвозащитного земледелия отличается от равнинной. Изменяются агротехнические требования, мощностные и экономические показатели. Это также относится и к разбрасывателям для поверхностного сплошного внесения удобрений, особенно к прицепным кузовным на пневматическом ходу.

Основные требования, предъявляемые к разбрасывателям — равномерное распределение удобрений. Этот вопрос принимает особое значение в условиях работы МТА на пересеченной местности.

Проблемой повышения равномерности распределения удобрений на склоновых полях занимались многие ученые [68, 97, 106].

Рассмотрим это на примере работы разбрасывателя органоминеральных удобрений.

Изменения микрорельефа, неравномерная деформация почвы под разными колесами, несимметричность радиальных и боковых деформаций шин и другие внешние воздействия приводят, даже при перемещении разбрасывателя по ровному участку, к совершению машиной боковых движений отно-

сительно положения статического равновесия. В принятой системе координат (рисунок 2.11) боковые перемещения кузова относительно поверхности поля можно характеризовать углом  $\varphi(t)$ , образованным осью  $OY$  и геоцентрической вертикалью.

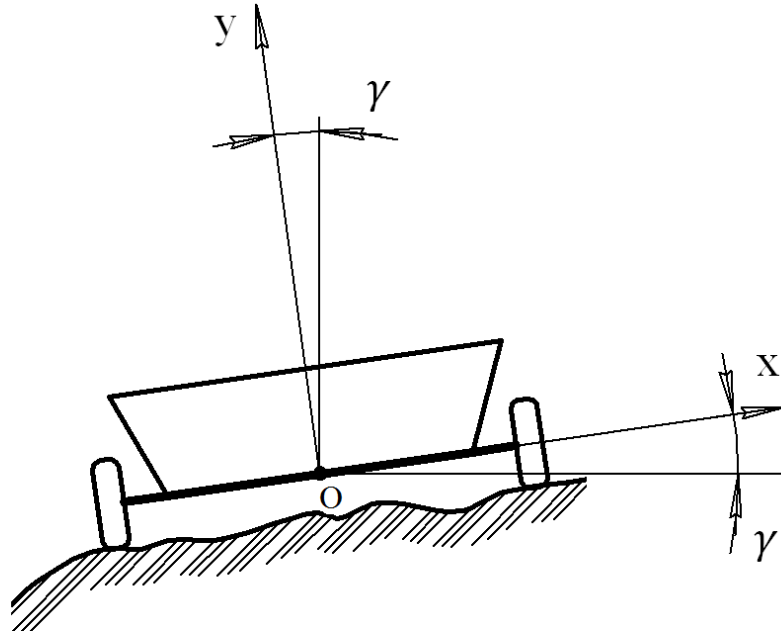


Рисунок 2.11 — Боковые угловые перемещения разбрасывателя

Влияние воздействий, вызывающих изменения угла  $\varphi$ , случайны, поэтому функция  $\gamma(t)$  — случайная функция времени. Она стационарна и центрирована относительно положения статического равновесия, а ее математическое ожидание  $M[\gamma(t)] = 0$ .

Рассмотренные возмущения, в силу инерционных свойств технологического процесса и частотных характеристик, оказывают незначительное влияние и чаще всего определяются экспериментальным путем.

Иначе обстоит дело при движении разбрасывателя поперек склона, являющимся обязательным требованием почвозащитного земледелия.

При движении разбрасывателя поперек склона (рисунок 2.12) угловое перемещение его будет определяться

$$\beta = \alpha + \gamma, \quad (2.29)$$

где  $\beta$  — суммарное угловое положение;  
 $\alpha$  — угол склона;  
 $\gamma$  — угол, вызванный воздействием микрорельефа поля.

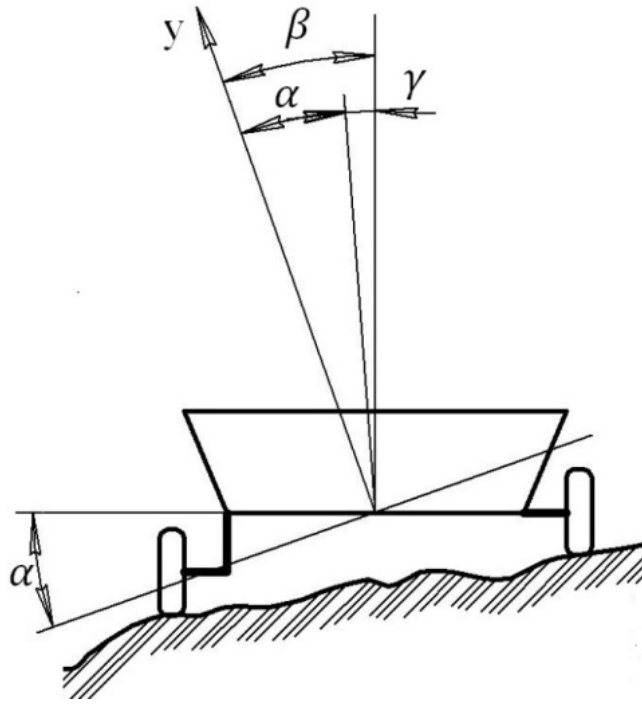


Рисунок 2.12 — Характер поперечных угловых движений разбрасывателя

Изменения  $\gamma(t)$  аналогичны колебаниям, возникающим при движении агрегата по ровному участку поля. В связи с принятым допущением положение статического равновесия определяется, в основном, углом склона  $\alpha$ , который в процессе движения разбрасывателя меняется случайным образом. Таким образом, изменение углового положения разбрасывателя можно рассматривать как случайный процесс  $\beta(t)$  с математическим ожиданием  $\alpha(t) = M[\beta(t)]$  и центрированной относительно него случайной функцией  $\gamma(t) = \beta(t) - M[\beta(t)]$ .

В наклонном положении разбрасывателя удобрение, находящееся на подающем транспортере кузова, сгружаются на одну сторону. При этом изменяется скорость и равномерность подачи удобрения к рабочим органам ротора, увеличивается нагрузка на нижнее по склону колесо, появляется разворачивающий момент, ухудшается маневренность и управляемость агрегата, нарушается норма внесения удобрения на стыковых проходах агрегата.

Следовательно, при работе разбрасывателя на пересеченной местности с соблюдением агротребований, необходимо регулировать его положение в соответствии с изменением угла наклона участков поля.

Выполнение поставленной задачи обеспечивается различными системами автоматического регулирования. Анализ конструкций управляющих элементов показал, что наиболее простым и надежным является датчик маятникового типа.

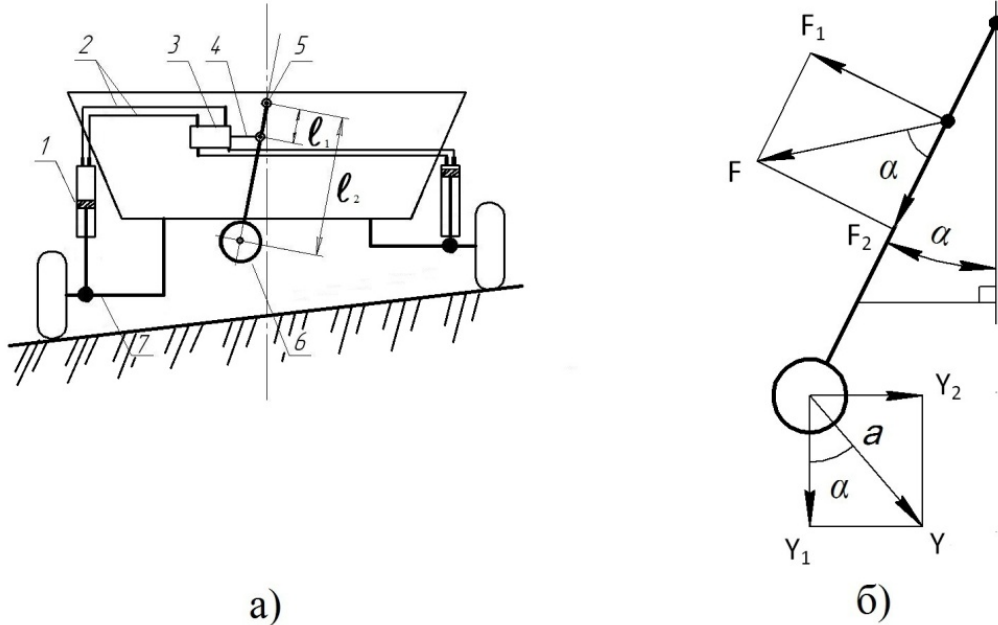


Рисунок 2.13 — Устройство и схема сил системы стабилизации низкорамного разбрасывателя

где 1 — гидроцилиндр; 2 — трубопроводы; 3 — гидрораспределитель; 4 — золотник гидрораспределителя; 5 — рычаг маятникового типа; 6 — груз; 7 — коленчатая ось.

При расчете основных параметров маятника мы имеем (рисунок 2.13 а, б)  $M_1=M_2$ , то есть для равновесия системы (одно из условий срабатывания стабилизатора) необходимо выполнить условие

$$F_1 l_1 = F_2 l_2,$$

где  $F_1$  - усилие перемещения золотника распределителя;

$F_2$  - усилие, необходимое для перемещения золотника с учетом плеч маятника;

$l_1, l_2$  - плечи маятника.

При отклонении маятника на угол  $\alpha$  будем иметь

$$F_2 = Y \cdot \sin \alpha,$$



где  $Y$  — вес маятника;

$\alpha$  — угол отклонения маятника или чувствительность системы.

Тогда

$$\frac{F_1 \cdot l_1}{l_2} = Y \sin \alpha, \quad (2.30)$$

откуда

$$Y = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2 \sin \alpha}$$

Из уравнения (2.30) видно, что при известном усилии на перемещение золотника выбранного распределителя и заданной чувствительности системы можно подобрать вес маятника и соотношение его плеч относительно точки подвеса.

Для проверки правильности наших предположений разработано и представлено стабилизирующее устройство.

### **Выводы по разделу**

1. Скорость движения частицы удобрения и их распределение зависит от частоты вращения ротора и его радиуса, а также формы, положения и угла установки лопаток.

2. Желобообразная форма лопаток рабочего органа в сравнении с плоской и с бортами позволяет уменьшить силу трения удобрений о стенки кожуха до 37%.

3. Применение дефлектора, установленного над выгрузным окном рабочего органа, позволяет скорректировать траекторию полета удобрений.

4. С целью сохранения агротехнических показателей работы разбрасывателя в условиях пересеченного рельефа местности целесообразно применить систему стабилизации бокового крена.

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

#### **3.1. Программа исследований**

Программа экспериментальных исследований направлена на решение следующих задач:

1. Установить влияние основных конструктивно-режимных параметров рабочего органа на дальность вылета удобрений.
2. Обоснование параметров и формы лопаток пневмомеханического рабочего органа разбрасывателя органо-минеральных удобрений.
3. Исследование равномерности распределения органо-минеральных удобрений роторным рабочим органом.
4. Определить зависимости длины, ширины полосы рассева и траектории полета удобрений от формы лопатки рабочего органа и параметров дефлектора.
5. Выполнить проверку работы экспериментального низкорамного разбрасывателя в условиях пересеченного рельефа местности.
6. Проверить экономическую эффективность применения низкорамного разбрасывателя.

#### **3.2. Методика определения физико-механических свойств удобрений**

В процессе научных исследований по внесению удобрений, характеристика разбрасываемого материала влияет на правильность полученных результатов. Поэтому для обоснования оптимальных параметров и режимов работы низкорамного разбрасывателя органо-минеральных удобрений, необходимо знать физико-механические свойства и особенности удобрений. К основным физико-механическим свойствам удобрений относятся: влажность,

гранулометрический состав, угол (коэффициент) трения, объемная масса и угол естественного откоса [23, 95].

Сначала необходимо определить значение влажности удобрений. Для этого, в трех повторностях взвешивают, а затем высушивают удобрения в сушильном шкафу, определяя тем самым разность масс высушенных и невысушенных удобрений (формула 3.1)

$$W = \frac{G_{\text{пр}} - G_{\text{выс}}}{G_{\text{пр}}} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

где  $G_{\text{пр}}$  — масса удобрений до сушки, г;

$G_{\text{выс}}$  — масса удобрений после сушки, г.

Среднее арифметическое из трех полученных значений и будет показателем влажности удобрений.

Гранулометрический состав характеризует размеры частиц удобрений. Для его определения используют набор сит с диаметром ячеек 0,2...10 мм, через которые просеиваются удобрения. Размер частиц выражается в процентном соотношении к общей массе.

Объемная масса определяется по формуле 3.2, с помощью менной пурки

$$M_V = \frac{m}{V}, \quad (3.2)$$

где  $m$  — масса удобрений г;

$V$  — объем пробоотборника, м<sup>3</sup>.

Угол трения и коэффициент трения определяется с помощью специального стенда, который состоит из доски с подвижной шкалой угломера, закрепленной шарнирно на раме. На доску прикручивается металлическая пластина на которую выкладываются удобрения. Доску поднимают до тех пор, пока удобрения не начнут движение.

Угол естественного откоса удобрений определяют сыпая их из ящика, или любого резервуара на горизонтальную поверхность, через отверстие.

Принимая конусовидную форму, сыпавшиеся удобрения и показывают угол естественного откоса  $\alpha$  (рисунок 3.1)

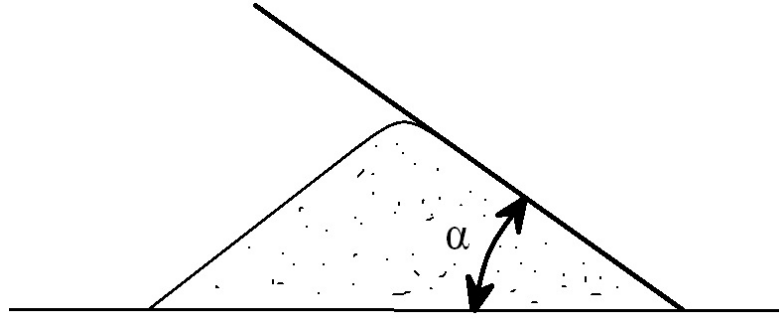


Рисунок 3.1 — Угол естественного откоса удобрений

Полученные значения физико-механических свойств заносим в таблицу для анализа.

### 3.3. Методика определения скорости воздушного потока в кожухе ротора

Качество работы машины для внесения удобрений и дальность полета частицы напрямую зависит от скорости воздушного потока, создаваемого рабочим органом в кожухе [53]. Для оценки работы разбрасывателя органоминеральных удобрений необходимо найти величину этой скорости.

Измерения скорости воздушного потока необходимо проводить в поперечном сечении выгрузного окна кожуха. При этом в каждой его точке она будет различна. Методика нахождения скорости воздушного потока включает в себя измерения в пяти разных точках окна. Для этого окно квадратного сечения необходимо условно разделить на четыре равных прямоугольника. Замеры проводят в центральной точке самого сечения окна и каждого из четырех прямоугольников (рисунок 3.2).

Скорость воздушного потока в каждой точке определяется по формуле

$$V_i = 4 \sqrt{(h_d)_i} , \quad (3.1)$$

где  $h_d$  — величина динамического напора;  $i$  — точка замеров (1-5).

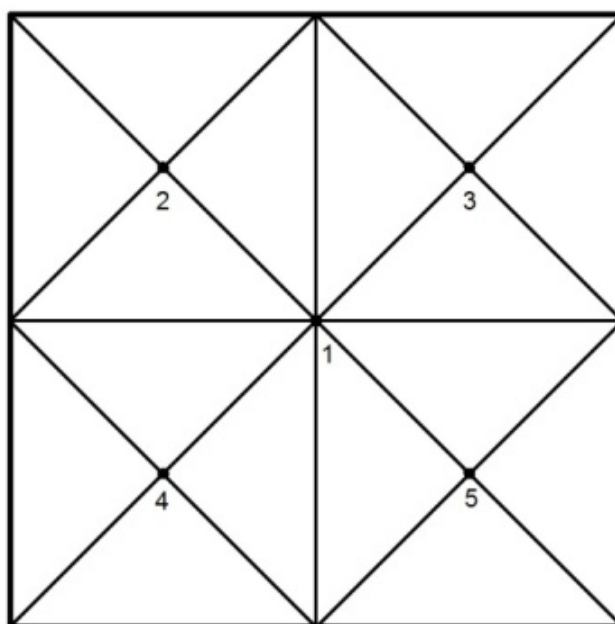


Рисунок 3.2 — Расположение точек для замера скорости воздушного потока

Величина динамического напора  $h_d$  (м. вод. ст.) определяется чашечным микроманометром с пневматической трубкой, отверстие которой поочередно подводится к каждой из пяти точек.

Средняя скорость воздушного потока  $V_{cp}$  (м/с) определяется по формуле

$$V_{cp} = \frac{\sum V_i}{5}. \quad (3.2)$$

По аналогичному формуле 3.2 уравнению, определяется значение среднего воздушного напора в кожухе ротора  $h_d$  мм. вод. ст.

### **3.4. Устройство экспериментального низкорамного разбрасывателя органо-минеральных удобрений**

Для исследования процесса внесения гранулированных органо-минеральных удобрений, с учетом анализа имеющихся машин, рабочих органов и схем работы на базе лаборатории Курской ГСХА был усовершенствован опытный образец установки для внесения органо-

минеральных удобрений (рисунок 3.3). За основу разбрасывателя был взят опытный образец, разработанный Репетовым А.Н. и в последствии усовершенствованный кандидатом технических наук Лепшеевым О.М. [87, 89].

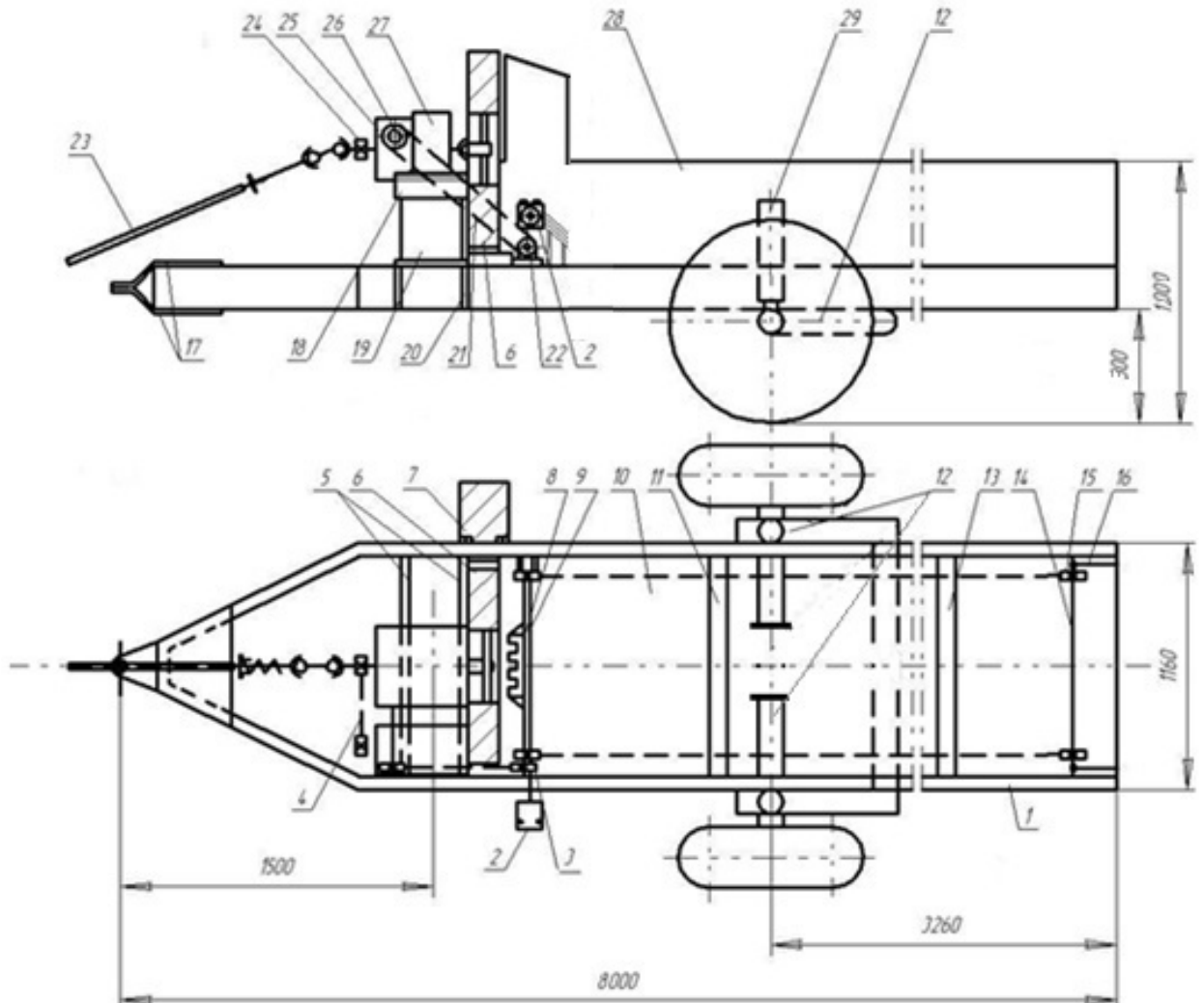


Рисунок 3.3 — Схема низкорамного разбрасывателя:

Разбрасыватель состоит: 1 — рама; 2 — гидромотор; 3 — ведущий вал транспортера; 4 — цепь с шагом, 5 — балки; 6 — рабочий орган роторного типа; 7 — дефлектор; 8 — шнек; 9 — вал шнека; 10 — ленточный транспортер; 11,13 — пластины; 12 — коленчатый полуоси; 14 — ведомый вал транспортера; 15 — звездочка; 16 — натяжное устройство транспортера; 17 — пластины; 18 — опора; 19 — стойка; 20 — ребро жесткости; 21 — цепь; 22 — звездочка; 23 — карданная передача; 24 — звездочка; 25 — стойка; 26 — опора; 27 — редуктор; 28 — бункер; 29 — гидроцилиндр.

Раму 1 изготовили из рамы автомобиля ГАЗ-53, которую установили на две полуоси с гидроцилиндром, изменяющим угол наклона кузова в зависимости от угла склона поверхности поля, позволяющую разбрасывателю увеличить дорожный просвет для беспроблемной транспортировки. На раму установили приемный бункер 31 от машины ПБ-2 с ленточным транспортером 10. На раме перед наклонной частью ленточного транспортера установили барабан с рабочим органом роторного типа изготовленный по аналогии с вентилятором-швырялкой с комбайна роторного прицепного «РОСЬ-2» (рисунок 3.4). Исходя из материалов экспериментальных исследований, оптимальное количество лопастей в роторных рабочих органах составляет 4...5 [54]. У опытного образца пять лопастей. Это уменьшит нагрузку на сам рабочий орган, в силу уменьшения объемной массы сдвигаемого пласта. Привод рабочего органа осуществляется через редуктор и карданную передачу от ВОМ трактора.

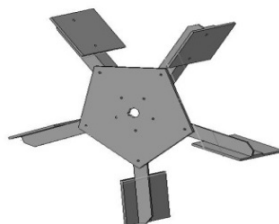


Рисунок 3.4. — Модель экспериментального рабочего органа роторного типа.

Выброс удобрений осуществляется через выгрузное окно квадратного сечения 250 x 250 мм. Гидромотор 2 приводит в движение транспортер, что очень удобно, так как позволяет, не выходя из кабины трактора, регулировать скорость движения ленты, и как следствие, количество подаваемых к рабочему органу удобрений. Для направленной подачи удобрений к рабочему органу используется шнек 8, который приводится движение цепной передачей 4, с вала редуктора.

Привод рабочего органа осуществляется от ВОМ трактора, через редуктор 1 и звездочки 4 (количество зубьев - 12) и 3 (количество зубьев-17), соединенные между собой цепной передачей (рисунок 3.5).

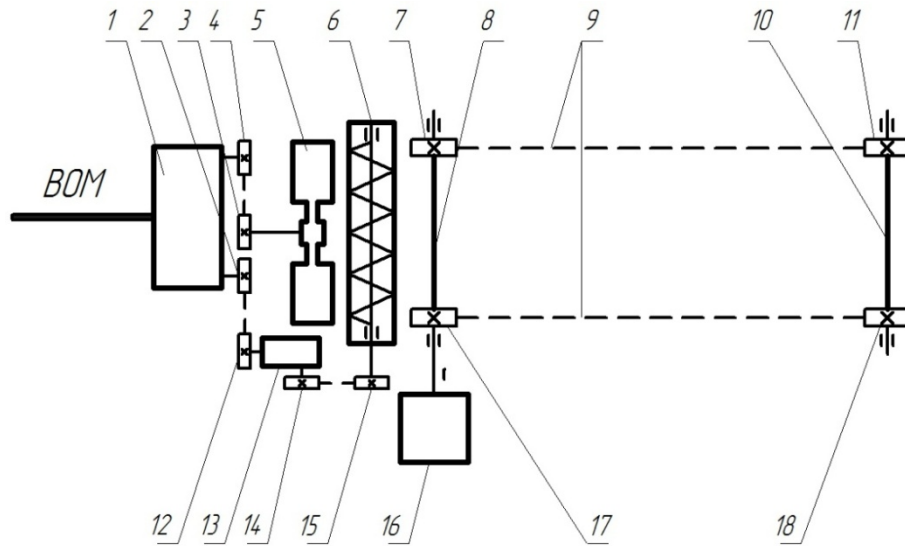


Рисунок 3.5 — Кинематическая схема низкорамного разбрасывателя

где 1 — редуктор; 2 — звездочка ( $z=15$ ); 3 — звездочка ( $z=17$ ); 4 — звездочка ( $z=12$ ); 5 — роторный рабочий орган; 6 — шнек; 7,11,17,18 — звездочки; 9 — цепи транспортера; 10 — валы транспортера; 12 — звездочка ( $z=26$ ); 13 — редуктор; 14 — звездочка ( $z=25$ ); 15 — звездочка ( $z=22$ ); 16 — гидромотор.

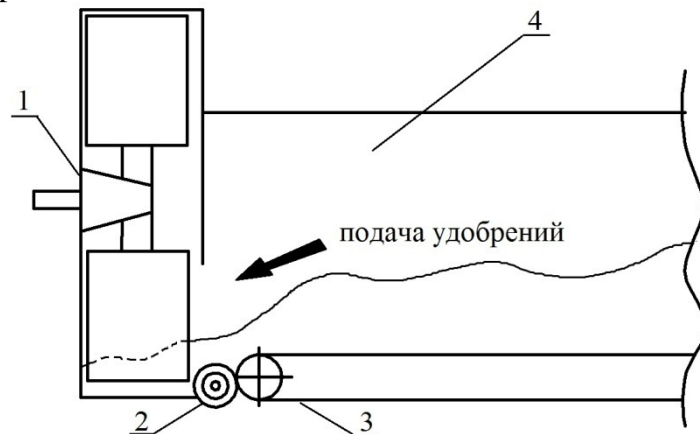


Рисунок 3.6 — Схема подачи удобрений к рабочему органу

где 1 — пневмомеханический рабочий орган роторного типа; 2 — шнек-питатель; 3 — ленточный транспортер; 4 — кузов разбрасывателя с удобрениями.

Более детальная схема подачи гранулированных удобрений к рабочему органу представлена на рисунке 3.6.

Для испытаний рабочего органа и подтверждения теоретических исследований, разработали три вида лопаток (рисунок П.3; П.4; П.5): плоские (рисунок 3.7), с бортами (рисунок 3.8), желобообразные (рисунок 3.9).



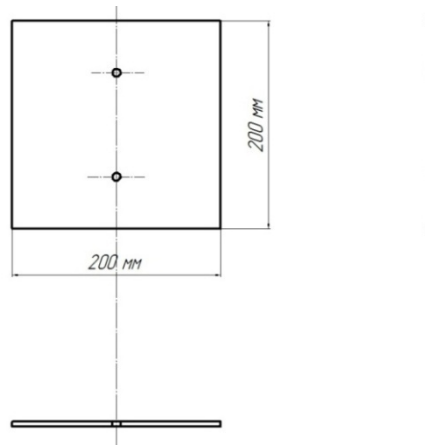


Рисунок 3.7 - Схема плоских лопаток

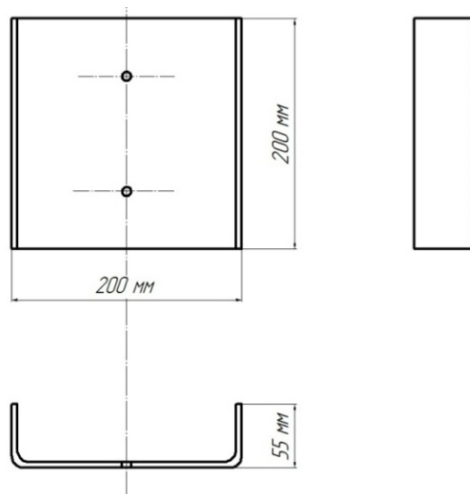


Рисунок 3.8 - Схема лопаток с бортами

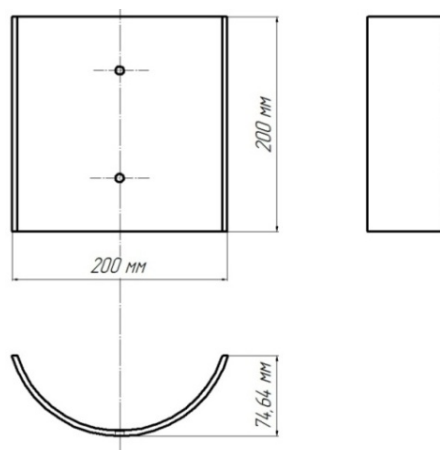


Рисунок 3.9 - Схема желобообразных лопаток

Лопатки выполнены из стали толщиной 3 мм. Габаритным размер их составляет - 200 x 200 мм, что позволяет наиболее полно захватывать и выбрасывать подаваемый на них груз. Крепятся лопатки с помощью болтов к лопасти ротора. В случае с желобообразными лопатками необходимо исполь-

зовать дополнительное усиление для более надежного крепления их к лопасти ротора.

Габаритные размеры и форма кузова были выбраны исходя из наработок [53]. Форма кузова — призматическая, с углом наклона бортов  $55^\circ$ , что больше угла естественного откоса удобрений, так как частицы в ней располагаются более равномерно (рисунок 3.10). Масса удобрений вмещающихся в кузов, — 5 т.

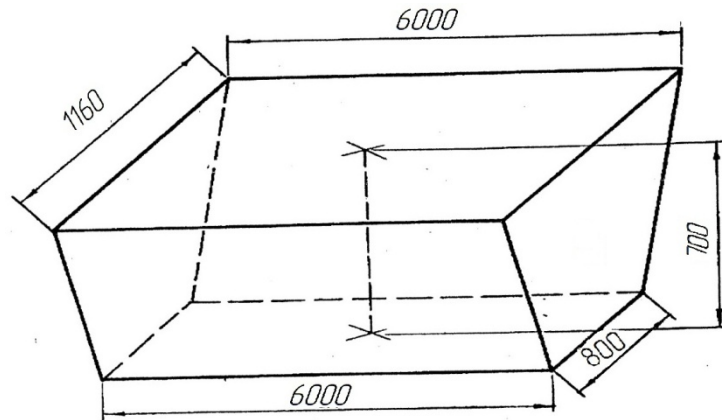


Рисунок 3.10 — Форма кузова разбрасывателя органо-минеральных удобрений

Скорость движения ленточного транспортера была выбрана исходя из данных [53] и составила  $0,0008...0,013$  м/с, что позволяет обеспечить равномерную подачу удобрений к рабочему органу при нормах внесения  $0,1...2$  т/га.

Для удобной загрузки разбрасывателя самосвалами любого типа (рисунок П.2) его сделали низкорамным. Полуоси опускаются в нижнее положение, параллельное поверхности поля, после чего происходит загрузка автомобилями-самосвалами. При этом дорожный просвет между разбрасывателем и поверхностью поля составляет 300 мм (рисунок 3.11). После загрузки колесчатые полуоси поднимают кузов в рабочее положение в зависимости от агрофона. В данном случае агрофон позволяет работать при величине дорожного просвета 500 мм (рисунок 3.11).

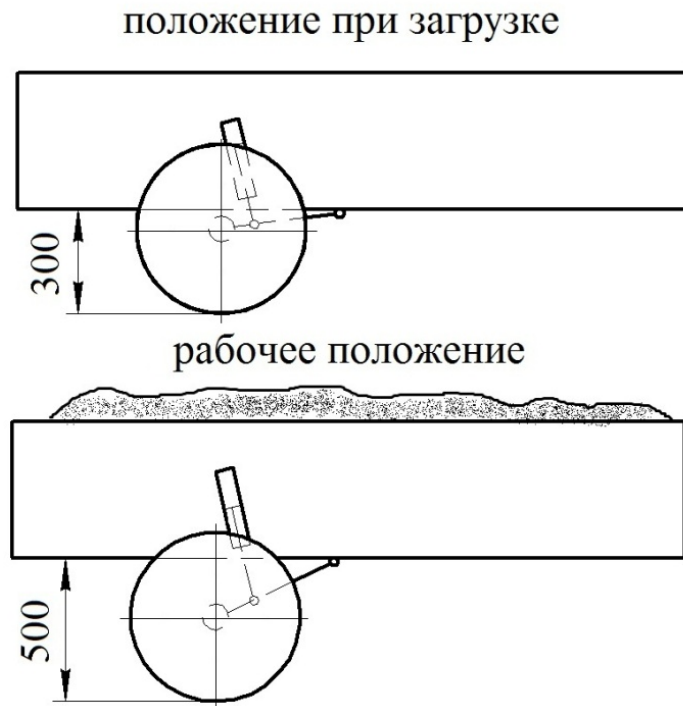


Рисунок 3.11 — Величина дорожного просвета разбрасывателя при загрузке и в рабочем положении.

Технология загрузки разбрасывателя зависит от величины расстояния между хранилищем удобрений и полем, на которое будет производиться внесение.

В редких случаях, когда поле находится в непосредственной близости от хранилища удобрений, погрузка может осуществляться без помощи самосвалов. Так как гранулированные удобрения производятся в основном в мешкотаре массой по 500 кг, специальный кран-погрузчик поднимает мешки над кузовом. После чего в мешке делается разрез, через который удобрения сыплются в кузов.

В основных случаях разбрасыватель загружается посредством самосвалов. Технологическая схема погрузки осуществляется следующим образом: автомобиль-самосвал в хранилище загружают удобрениями из мешкотары, после чего автомобиль доставляет удобрения к месту работы разбрасывателя и перегружает их в его кузов (рисунок 3.12). Для загрузки удобрений в кузов разбрасывателя он условно делится на два сектора. Приняв примерно поло-

вину объема удобрений в первый сектор, агрегат проезжает 2-3 м, после чего загружается второй сектор.

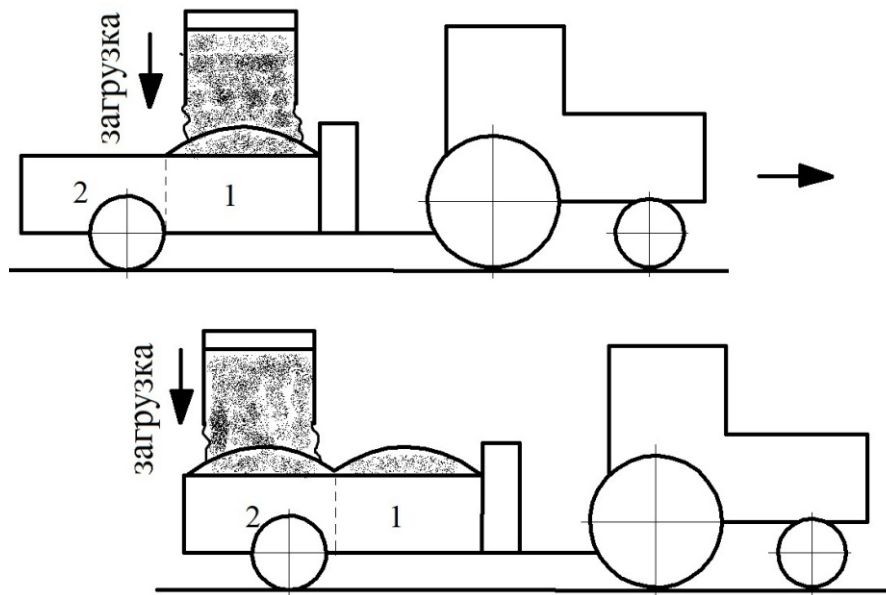


Рисунок 3.12 — Схема загрузки разбрасывателя

Необходимо отметить, что в зависимости от дозы внесения и удаленности поля от хранилища, для обеспечения бесперебойной работы разбрасывателя можно использовать одновременно два автомобиля самосвала.

### 3.5. Методика планирования многофакторного эксперимента

Для выяснения идеального сочетания всех параметров и режимов работы разбрасывателя органо-минеральных удобрений, и влияние их на равномерность внесения, необходимо построить математическую модель технологического процесса внесения удобрений и провести многофакторный эксперимент (рисунок П.6). С этой целью применили рототабельный композиционный план второго порядка [4, 62, 66, 77, 117].

Для правильного отображения процесса внесения удобрений на поле необходимо, чтобы его математическая модель включала все факторы, влияющие на дальность вылета удобрений. Если не учесть хотя бы один значимый фактор, можно получить ошибочную интерпретацию явлений, протекающих во время внесения удобрений, что в свою очередь послужит причи-

ной серьезной ошибки в решениях, применяемых с помощью модели. При исследовании сложного процесса внесения удобрений, на который воздействует большое число факторов, заранее было не известно какие из этих факторов значимы. Необходимо было выделить основные, наиболее значимые факторы на фоне остальных. Вследствие того что обычные методы выделения существенных факторов, такие как регрессионный анализ, нам не подходили, в силу того, что требовали большого числа экспериментов и недопустимых затрат времени на обработку данных, мы воспользовались специальным методом сверхнасыщенных факторных планов, который не требует множества экспериментов и временных затрат.

Предложенный метод дисперсного анализа подразумевает под собой построение полного факторного плана из семи факторов

где  $x_1$  — частота вращения ротора;  $x_2$  — радиус ротора;  $x_3$  — масса выбрасываемого груза;  $x_4$  — скорость груза по лопатке;  $x_5$  — ширина лопатки;  $x_6$  — длина лопатки;  $x_7$  — угол наклона раструба выгрузного окна.

По заданному плану с помощью программы Microsoft Excel: Сервис → Анализ данных → Регрессия (таблица П.1), получили уравнение

$$y = 17.9625 + 1.3125 * x_1 + 0.4875 * x_2 - 0.7375 * x_3 + 0.1375 * x_4 - 0.3875 * x_5 + 0.0875 * x_6 - 0.0625 * x_7$$

Определили критерий существенности  $\varepsilon$  по формуле:

$$\varepsilon = t_{кр} * S_i, \quad (3.1)$$

где  $t_{кр}$  — критическое значение Стьюдента;

$S_i$  — дисперсия характеризующая ошибки опытов.

Получили критерий существенности  $\varepsilon = 0,4053$

Сравнивая коэффициенты полученной модели с критерием существенности  $\varepsilon$ , установили, что существенными являются только три фактора:

$x_1$  — частота вращения ротора;

$x_2$  — радиус ротора;

$x_3$  — масса выбрасываемого груза.

Остальные имеющиеся коэффициенты по абсолютной величине, линейной модели меньше, чем  $\varepsilon$ , являются не существенными. Поэтому дальнейшее проведение эксперимента осуществлялось по трем факторам с применением рототабельного центрального композиционного плана второго порядка.

Параметром оптимизации назначили дальность полета частицы удобрения D, в качестве исследуемого удобрения использовали гранулированные органо-минеральные.

В таблице 3.1 показаны реальные значения каждого фактора, определенные с помощью теоретических исследований и опытов, уровням которых присвоены кодовые значения -1, 0, +1.

Таблица 3.1 — Интервалы и уровни варьирования факторов

Показатели	Кодовые значения	Реальные значения факторов		
	$x_1, x_2, x_3$	$N \text{ мин}^{-1} (x_1)$	R, м ( $x_2$ )	m, кг/с ( $x_3$ )
Верхний уровень	+1	950	0,56	6
Средний уровень	0	850	0,46	5
Нижний уровень	-1	750	0,36	4
Интервалы варьирования	-	100	0,1	1

При построении рототабельных композиционных планов 2-го порядка так же, как и в случае ортогонального плана, в качестве ядра при количестве факторов  $\leq 4$  выбирают полные факторные планы. Матрица полного факторного плана включает в себя 20 опытов, 8 из которых являются ядром плана, 6 — количество звездных точек и 6 опытов на нулевом уровне. Величина звездного плеча  $\alpha = 1,682$ .

В результате проведения предварительного эксперимента в трех повторностях (рисунок П.5) были получены натуральные значения параметра оптимизации  $y$  и определены их средние значения в каждой точке.

Таблица 3.2 — Матрица планирования и результаты эксперимента

№ п/п	x1	x2	x3	Дальность D, м				
				y1	y2	y3	Y средн	Y расч
1	-1	-1	-1	16,1	16,4	17,9	16,8	16,83
2	1	-1	-1	19,1	20,6	19,7	19,8	19,23
3	-1	1	-1	17,1	16,8	17,7	17,2	17,61
4	1	1	-1	20,5	21,1	21,3	21	20,57
5	-1	-1	1	15,5	15,9	16	15,8	16,55
6	1	-1	1	17,2	17,4	17,9	17,5	17,39
7	-1	1	1	16,7	16,5	17,2	16,8	17,33
8	1	1	1	18,3	19,1	19	18,8	18,73
9	-1,682	0	0	19	18,8	19,2	19	18,03
10	1,682	0	0	20,1	19,7	21,7	20,5	21,22
11	0	-1,682	0	17,7	18,3	18,3	18,1	18,08
12	0	1,682	0	19,5	20,5	20,3	20,1	19,87
13	0	0	-1,682	16,3	15,6	16,1	16	16,36
14	0	0	1,682	14,9	15,4	15,3	15,2	14,58
15	0	0	0	17,7	18,2	17,8	17,9	17,96
16	0	0	0	18,3	18,5	17,5	18,1	17,96
17	0	0	0	17,3	18,2	17,9	17,8	17,96
18	0	0	0	18,1	18,2	18,6	18,3	17,96
19	0	0	0	18	17,6	17,5	17,7	17,96
20	0	0	0	17,8	18,3	17,9	18	17,96

Далее осуществляли расчет коэффициентов регрессии. С помощью программы Microsoft Office excel рассчитали коэффициенты регрессии квад-

ратичной модели  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_{11}, a_{22}, a_{33}, a_{12}, a_{13}, a_{23}$  (таблица П.2) используя формулы

$$a_0 = b_1 \sum_{u=1}^N \bar{y}_u - b_2 \sum_1^k \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \bar{y}_u \quad (3.2)$$

$$a_i = b_3 \sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u \quad (3.3)$$

$$a_{ii} = b_4 \sum_{u=1}^N x_{ij}^2 \bar{y}_u + b_5 \sum_1^k x_{ij}^2 \bar{y}_u - b_6 \sum_{u=1}^N \bar{y}_u \quad (3.4)$$

$$a_{ij} = b_7 \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u, \quad i, j = 1, 2, \dots, k; \quad (3.5)$$

где  $N$  — число опытов;

$k$  — число факторов;

$x_{iu}, x_{ju}$  — кодированные значения факторов;

$b_1 \dots b_7$  — коэффициенты, находящиеся в зависимости от количества варьирующих факторов.

Получено,  $a_0 = 17,95$  (при  $b_1 = 0,1663, b_2 = 0,0568$ );

$a_1 = 0,95; a_2 = 0,53; a_3 = -0,53$  (при  $b_3 = 0,0732$ );

$a_{11} = 0,59; a_{22} = 0,36; a_{33} = -0,88$  (при  $b_4 = 0,0625, b_5 = 0,0068, b_6 = 0,0568$ );

$a_{12} = 0,14; a_{13} = -0,39; a_{23} = 0,09$  (при  $b_7 = 0,125$ ).

Для проверки точности (значимости) полученных коэффициентов  $a_0, a_i, a_{ij}, a_{ii}$  определили их дисперсию при помощи программы Microsoft Office excel (таблица П.2) по формулам

$$S_{a_0}^2 = \frac{2A \cdot (\lambda_4^*)^2 \cdot (k + 2) \cdot S_y^2}{N}, \quad (3.6)$$

$$S_{a_i}^2 = \frac{C \cdot S_y^2}{N}, \quad (3.7)$$



$$S_{a_{ii}}^2 = \frac{A[(k+1)\lambda_4^* - (k-1)]C^2 \cdot S_y^2}{N}, \quad (3.8)$$

$$S_{a_{ij}}^2 = \frac{C^2 \cdot S_y^2}{\lambda_4^* \cdot N},$$

$$\text{где } \lambda_4^* = \frac{N}{(\sum_{u=1}^N x_{iu}^2)^2} \cdot \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \cdot x_{ju}^2; C = \frac{N}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2}, \quad (3.9)$$

$$A = \frac{1}{2 \cdot \lambda_4^* \cdot [(k+2)\lambda_4^* - k]},$$

При нахождении  $\lambda_4^*$  необходимо выполнить условие

$$\lambda_4^* \geq \frac{k}{k+2}. \quad (3.10)$$

Получили  $C=2,143$ ;  $A=0,454$ ;  $\lambda_4^*=0,857$ .

Так как  $0,857 > 0,6$  то условие (3.10) выполнено.

Дисперсия ошибок опытов, определяется по формуле

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^N \cdot \sum_{u=1}^m (y_{iu} - \bar{y})^2}{N(m-1)}, \quad (3.11)$$

где  $m$  — количество повторностей одного опыта;

$y_{iu}$  — значение критерия оптимизации в параллельных опытах.

Путем расчетов имеем

$$S_y^2 = 0,0466; S_{a_0}^2 = 0,0077; S_{a_1}^2 = S_{a_2}^2 = S_{a_3}^2 = 0,0050;$$

$$S_{a_{11}}^2 = S_{a_{22}}^2 = S_{a_{33}}^2 = 0,0032; S_{a_{12}}^2 = S_{a_{13}}^2 = S_{a_{23}}^2 = 0,0058.$$

Извлекая квадратный корень получили

$$S_y = 0,2160; S_{a_0} = 0,0882; S_{a_1} = S_{a_2} = S_{a_3} = 0,0707,$$

$$S_{a_{11}} = S_{a_{22}} = S_{a_{33}} = 0,0840; S_{a_{12}} = S_{a_{13}} = S_{a_{23}} = 0,0763$$

Эмпирические значения критерия Стьюдента нашли по формуле

$$t = t_{кр} \cdot S_a, \quad (3.12)$$

где  $t_{кр}$  — критическое значения критерия Стьюдента при уровне значимости 0,2 и 5 степенях свободы равно 1,4758.

Подставив значения в формулу получили:

$$t_0=0,1301;$$

$$t_1=t_2=t_3=0,1043;$$

$$t_{11}=t_{22}=t_{33}=0,0840;$$

$$t_{12}=t_{13}=t_{23}=0,1127.$$

После сравнения коэффициентов регрессии с полученными эмпирическими значениями критерия Стьюдента установили, что все коэффициенты, кроме  $a_{23}$ , значимы на уровне 0.2 ( $a_{23} < t_{23}$ ), то есть вероятность того, что эти коэффициенты точны, составляет 80%.

После отсева коэффициента  $a_{23}$  математическая модель объекта исследования примет вид

$$y = 17,95 + 0,95x_1 + 0,53x_2 - 0,53x_3 + 0,59x_1^2 + 0,36x_2^2 - 0,88x_3^2 + 0,14x_1x_2 - 0,39x_1x_3. \quad (3,13)$$

Адекватность модели определена по  $F$  — критерию Фишера аналогично рассмотренным ранее моделям. Значение отклонения расчетной величины  $y$ , от полученной в ходе опытов, рассмотрели в одних и тех же точках плана. Величина, определяющая неадекватность модели, называемая дисперсией адекватности, была определена по формуле

$$S_{ад}^2 = \frac{m}{N-d} \cdot \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \widehat{y}_u)^2, \quad (3.14)$$

где  $d$  — число членов аппроксимирующего полинома.

Расчетное значение  $F$  выражается отношением:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_{вос}^2}. \quad (3.15)$$

Так как критическое значение  $F_{кр} = 9.96$  (при уровне значимости 0.05) больше получившегося расчетного значения 9,66 (таблица П.2), делаем вы-

вод, что данная математическая модель является адекватной на 95% и подходит реальному объекту.

Полученная регрессионная модель содержит нормированные (кодированные) факторы влияющие на выходной параметр  $y$ . Данную модель, с целью более удобного использования в реальных условиях, преобразуем к реальным значениям факторов, используя формулы нормирования:

$$x_1 = \frac{x_1^p - 850}{100}, \quad (3.16)$$

$$x_2 = \frac{x_2^p - 0,46}{0,1}, \quad (3.17)$$

$$x_3 = \frac{x_3^p - 50}{10}. \quad (3.18)$$

Полученная модель в реальных величинах примет вид

$$y = 27,2311 - 0,07774x_1 - 39,72x_2 + 1,1585x_3 + 0,00059x_1^2 + 36x_2^2 - 0,0088x_3^2 + 0,014x_1x_2 - 0,00039x_1x_3. \quad (3.19)$$

Данная модель позволяет, без проведения дополнительных экспериментов, при различных сочетаниях показателей, влияющих на результирующий показатель, определить расчетным путем величину этого показателя. Если провести дополнительное исследование, эта модель позволит определить оптимальное соотношение показателей, влияющих на результирующий.

Нами методом классического анализа и программы Microsoft Excel (таблица П.3) установлено, что минимальная дальность полета частицы удобрений достигается при  $x_1 = -0,78$  (реальная величина —  $772,118 \text{ мин}^{-1}$ ),  $x_2 = -0,58$  (реальная величина —  $0,4 \text{ м}$ ) и  $x_3 = -0,13$  (реальная величина —  $4,87$ ) и составит  $17,14 \text{ м}$ .

Дальнейший анализ изучаемого процесса произведен с помощью построения графиков при очередном фиксировании одного из трех показателей на среднем уровне. Построение поверхности производили с помощью про-

граммы Microsoft Excel→Вставка→Диаграммы→Поверхность, поочередно решая уравнение регрессии для каждой точки графика (таблица П.4). Так, зафиксировав показатель массы выбрасываемого груза  $x_3$  на уровне 0, получили уравнение

$$y = 17,95 + 0,95x_1 + 0,53x_2 + 0,59x_1^2 + 0,36x_2^2 + 0,14x_1x_2 \quad (3.20)$$

График этой зависимости имеет вид

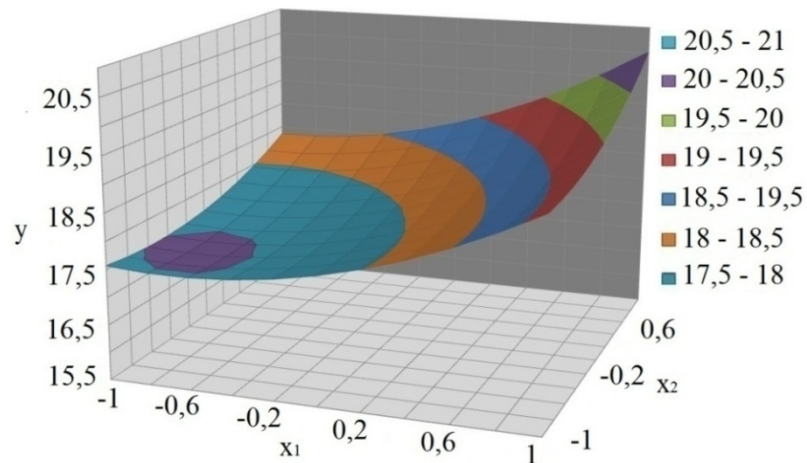


Рисунок 3.13 Поверхность при  $x_3=0$

На рисунке 3.13 видно, что максимальное значение дальности полета частицы  $y$  изменяется от 20,5 до 21 м, при частоте вращения от 0,8 до 1 (от 930 до 950 мин<sup>-1</sup>, в реальных величинах) и при радиусе ротора от 0,8 до 1 (от 0,54 до 0,56 м, в реальных величинах).

Зафиксировав показатель радиуса ротора  $x_2$ , получили уравнение

$$y = 17,95 + 0,95x_1 - 0,53x_3 + 0,59x_1^2 - 0,88x_3^2 - 0,39x_1x_3 \quad (3.21)$$

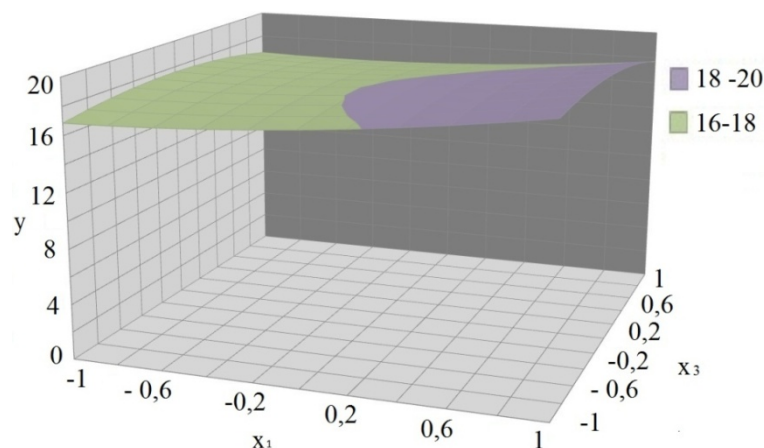


Рисунок 3.14 - Поверхность при  $x_2=0$

На рисунке 3.14 видно, что максимальное значение дальности полета частицы удобрения  $y$  изменяется в пределах от 18 до 20 м, при частоте вращения ротора от 0 до 1 (от 850 до 950 мин<sup>-1</sup>, в реальных величинах) и массе выбрасываемого груза от -0,2 до 0,2 (от 48 до 52 кг/мин).

В третьем варианте зафиксирован показатель частоты вращения ротора на средней отметке и уравнение приняло вид

$$y = 17,95 + 0,53x_2 - 0,53x_3 + 0,36x_2^2 - 0,88x_3^2 \quad (3.22)$$

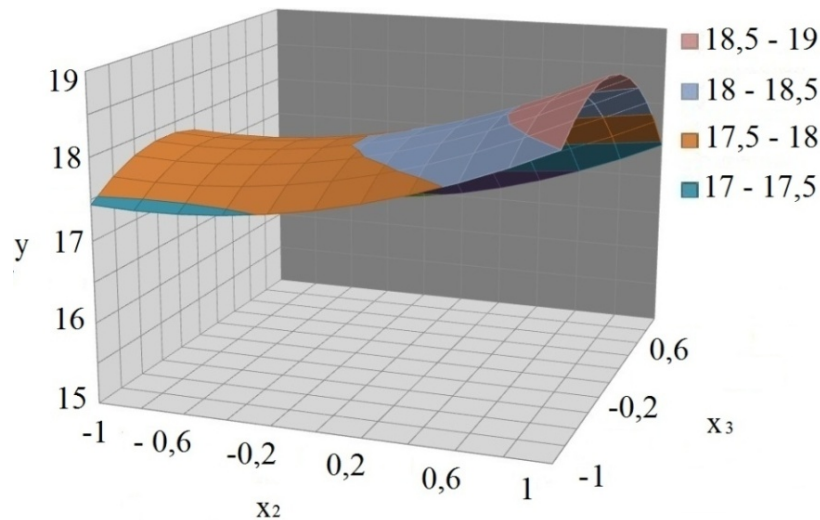


Рисунок 3.15 - Поверхность при  $x_1=0$

На рисунке 3.15 видно, что максимальное значение дальности полета частицы удобрения  $y$  изменяется в пределах от 18,5 до 19 м, при радиусе ротора от 0,6 до 1 (от 0,52 до 0,56 м, в реальных величинах) и массе выбрасываемого груза от -0,2 до 0,2 (от 48 до 52 кг/мин, в реальных величинах).

Анализ полученных поверхностей показал, что наибольшее влияние на дальность вылета частицы удобрений оказывает радиус и частота вращения ротора. Максимальной дальности вылета частиц удобрений можно добиться при частоте вращения 950 мин<sup>-1</sup>, радиусе ротора 0,56 м и массе выбрасываемого груза зафиксированном на среднем показателе 50 кг/мин.

### 3.6. Подготовка к опытам

Во время подготовки к опытам приготовили журнал испытаний и

приобретены приборы и оборудование необходимые для проведения опытов и изготовления опытной полевой установки.

Привели эксплуатационно-техническую оценку машин для внесения удобрений в соответствии с [40]. Произвели сравнение эксплуатационно-технических показателей базовой и испытываемой машин. В качестве базовой использовали машину МВУ-5.

Согласно [24]:

- Определили техническое состояние испытываемых машин;
- Подобрали энергетическое средство соответствующее нормативам, и удовлетворяющее нормам безопасности и гигиены труда;
- Была произведена обкатка и регулировка испытываемой и базовой машины согласно инструкции по эксплуатации, с использованием соответствующих технических средств и персонала.

Основные приборы и технические средства приведены в таблице 3.3. В соответствии с [64] осуществили их проверку, на основании которой определили и зафиксировали в журнале допустимую погрешность измерений. После готовности приборов и оборудования провели опыты.

Таблица 3.3 — Измеряемые параметры и приборы и допустимые значения погрешности измерений

Измеряемые параметры	Наименование прибора, оборудования, установки	Допустимая погрешность измерений
Насыпная плотность удобрений, т/м <sup>3</sup>	Ящик размером 0,25 × 0,25 × 0,25м	НСИ 2Г
Линейная скорость транспортера, м/с	Рулетка, линейка, секундомер	1% 0.1 с
Определение формы и размеров рабочего органа	Модель рабочего органа Рулетка, линейка.	НСИ 1%

Продолжение таблицы 3.3 — Измеряемые параметры и приборы и допустимые значения погрешности измерений

Измеряемые параметры	Наименование прибора, оборудования, установки	Допустимая погрешность измерений
Частота вращения рабочего органа	Тахометр ТЭ-205	1 %
Производительность ленточного транспортера, кг/с	Опытная установка Рулетка Секундомер Весы ВНЦ-2 ГОСТ Р 53228-2008	НСИ 0,01м ±1 с 2г
Температура воздуха, °С	Термометр ГОСТ 112	±1°
Влажность удобрений, %	Сушильный шкаф Весы лабораторные ВЛР-200г №320-130	2 класс
Скорость ветра, м/с	Анемометр чашечный МС-13 ГОСТ 6376-74	±0,3 м/с
Размеры пятна рассева удобрений	Рулетка	1%
Расход топлива, кг	Топливометр	5%
Масса удобрений, кг	Весы автомобильные ГОСТ Р 8.603-2003	±10 кг
Обработка результатов опытов	Микрокалькулятор CITIZEN SRP-145NGR Подпрограмма Microsoft Office Excel 2007	

Для получения точных результатов поверка приборов и оборудования осуществляется следующим образом.

Необходимо осуществить поверку вращательного динамографа. Его закрепляют в тисках, и в трех повторностях последовательно нагружают, а затем разгружают. Результаты испытаний фиксируют в таблицу и подставляют полученные значения в формулу для нахождения абсолютной погрешности динамографа

$$\Delta h = \pm \frac{h'_i - h_i}{2}, \quad (3.22)$$

где  $h'_i$  — среднее значение при разгрузке;

$h_i$  — среднее значение при нагрузке.

Относительная статическая погрешность определяется по формуле:

$$\Delta_0 = \pm \frac{\Delta h}{h_{\text{ср}}} = \pm \frac{h'_i - h_i}{2h_{\text{ср}}} \cdot 100\%, \quad (3.23)$$

где  $h_{\text{ср}}$  — среднее значение по погрузке и разгрузке.

Так же необходимо выполнить поверку тахометра по эталонному электродвигателю.

Погрешность определяется по формуле

$$\Delta_n = \frac{n_{\text{н}} - n_{\text{д}}}{n_{\text{н}}} \cdot 100\%, \quad (3.24)$$

где  $n_{\text{н}}$  — показания тахометра,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_{\text{д}}$  — частота вращения вала электродвигателя,  $\text{мин}^{-1}$ .

Поверку секундомера необходимо проводить по образцовому секундомеру. Оба секундомера одновременно включают и по прошествии заданного времени выключают.

Формула для определения поправки времени

$$\Delta t = \frac{t_{\text{к}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{к}}} \cdot 100\%, \quad (3.25)$$

где  $t_{\text{к}}$  — показания образцового секундомера;

$t_{\text{н}}$  — показания поверяемого секундомера.

Поверка термометра осуществляется так же по образцовому.



На поле необходимо проверить эффективную мощность двигателя, поочередно замеряя частоту вращения коленчатого вала при работе каждого цилиндра по отдельности.

Мощность цилиндра определяется

$$N = P \cdot (n_1 - n_2), \quad (3.26)$$

где  $N$  — мощность цилиндра, кВт;

$P$  — коэффициент пропорциональности;

$n_1$  — нормативная частота вращения коленчатого вала,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$n_2$  — фактическая частота вращения коленчатого вала,  $\text{мин}^{-1}$ .

Если разница в частоте вращения коленчатого вала при работе разных цилиндров превышает  $150 \text{ мин}^{-1}$ , то двигатель не исправен.

### **3.7. Методика исследования процессов распределения органо-минеральных удобрений рабочим органом**

Исследование процессов распределения органо-минеральных удобрений роторным рабочим органом с горизонтальной осью вращения, установленном на опытном низкорамном разбрасывателе, проводились на поле в реальных условиях по методике [16, 21].

В соответствии с [21] определяются метеорологические условия испытаний, такие как скорость ветра, температура и относительная влажность воздуха.

Для исследования рабочего органа необходимо было загрузить кузов машины удобрениями, в соответствии с его грузоподъемностью и вместимостью.

До начала основных исследований проводились предварительные исследования машины на стационаре, что позволило определить длину и ширину полосы посева удобрений, форму лопаток рабочего органа и наиболее рациональные параметры дефлектора, которые будут обеспечивать наиболее эффективный выброс удобрений. Для этого расставили пробоотборники раз-

мером 0,5 х 0,5 м, в 8 рядов вплотную друг к другу, при этом длина каждого ряда составляла 24 м (рисунок 3.16).

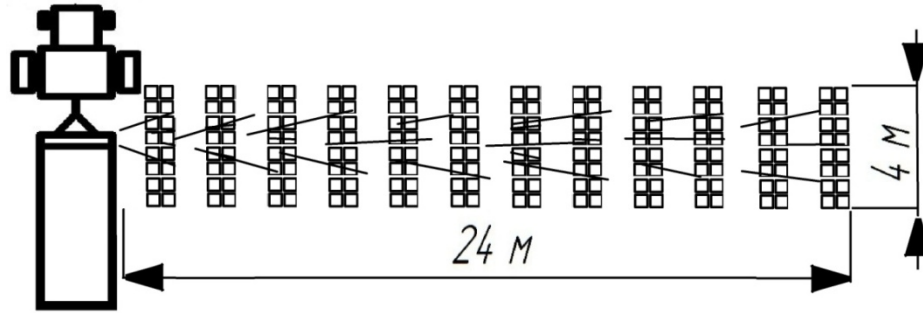


Рисунок 3.16 — Схема размещения пробоотборников при стационарных испытаниях

После стационарных исследований, для определения оптимальной скорости и проверки равномерности внесения удобрений проводили эксперименты в движении. Для этого выбрали площадку 240 м<sup>2</sup> (длина — 10 м, ширина — 24 м). На площадке устанавливалось 56 пробоотборников, каждый из которых имел площадь 1 м<sup>2</sup>. Расстановка производилась в шахматном порядке, в 10 рядов, с межосевым расстоянием 1 м (рисунок 3.17).

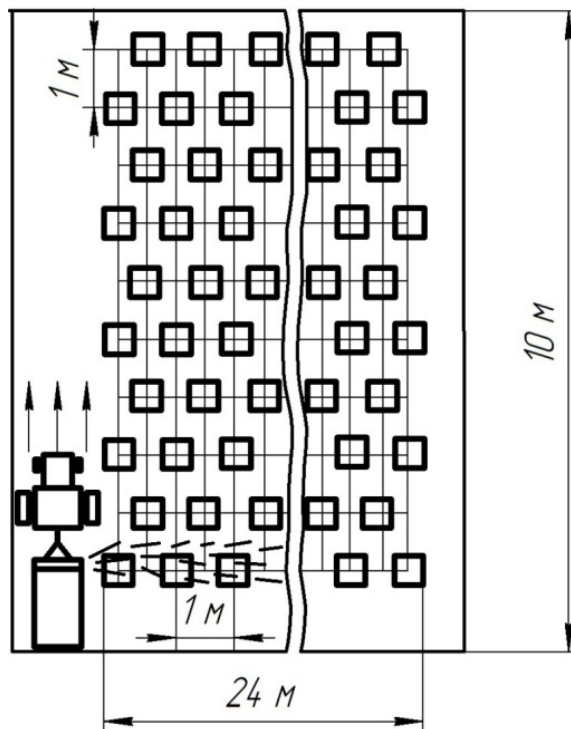


Рисунок 3.17 — Схема размещения пробоотборников при испытаниях в движении

Испытания проводили в трех повторностях, на различных режимах, и комбинациях параметров разбрасывателя удобрений.

Агрегат двигался с постоянной скоростью 1,38 м/с.

Рабочий орган включали за 15 м до начала контрольной площадки, и после ее прохождения взвешивали каждый пробоотборник с попавшими в него удобрениями. Результат фиксировали в журнал.

Обработка полученных в ходе опыта данных производилась с помощью статистических и математических методов.

### 3.8. Методика обработки экспериментальных данных

После проведения испытаний полученные данные имеют достаточно хаотичное распределение и в них сложно увидеть закономерности.

Для возможности дальнейшего исследования этих данных необходимо внести порядок и сделать их более удобными для чтения и обзора. Именно для этих целей и существует методика обработки экспериментальных данных [16].

В первую очередь требуется определить дозу внесения удобрений  $Q$  (кг/Га)

$$Q_{\text{зад}} = \frac{10^4 q}{LVt}, \quad (3.33)$$

где  $q$  — масса навески, кг;

$L$  — длина полосы рассева, м

$V$  — скорость движения агрегата, м/с

$T$  — время подачи удобрений, с.

Далее необходимо определить среднюю массу навески по противням  $Q_{\text{ср}}$  (г) используя формулу 3.34

$$Q_{\text{ср}} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n}{k}, \quad (3.34)$$

где  $Q_1 \dots Q_n$  — масса навесок в противнях, г;  
 $k$  — количество противней.

Общую среднюю массу по трем повторностям находят по формуле

$$Q_{\text{общ ср}} = \frac{Q_{\text{ср 1}} + Q_{\text{ср 2}} + Q_{\text{ср 3}}}{3}. \quad (3.35)$$

А фактическую дозу  $Q_{\text{ф}}$  (кг/Га)

$$Q_{\text{ф}} = 40 \cdot Q_{\text{общ ср}}. \quad (3.36)$$

Коэффициент вариации (%) по длине полосы рассева определяется по выражению

$$A = \frac{\Delta Q_{\text{общ ср}}}{Q_{\text{общ ср}}}, \quad (3.37)$$

где, отклонение от среднего количества удобрений по каждому противню  $\Delta Q_{\text{общ ср}}$  (г)

$$\Delta Q_{\text{общ ср}} = \frac{\Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \dots + \Delta Q_n}{k}. \quad (3.38)$$

По результатам расчетов необходимо построить заданную и фактическую кривые, отображающие характер и дозы внесения удобрений на каждый метр длины пятна рассева. На основании данной методики проводили экспериментальные исследования.

### **Выводы по разделу**

1. Представлена конструкция экспериментального низкорамного разбрасывателя с пневмомеханическим рабочим органом расположенным на горизонтальной оси вращения.

2. Для определения эффективности рассеивания удобрений предложены три варианта форм лопаток рабочего органа: плоская, с бортами и желобообразная.

3. С целью исследования распределения удобрений в зоне рассева рабочим органом роторного типа, предложена соответствующая методика.

4. На основании предварительных экспериментов, получена математическая модель объекта исследования, описывающая наиболее предпочтительное сочетание факторов, влияющих на дальность вылета удобрений.

## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4.1. Анализ основных физико-механических свойств удобрений

При проведении экспериментальных исследований по внесению органико-минеральных удобрений, согласно методики [23], прежде всего установили их физико-механические свойства. Проверке подвергались: торф, суперфосфат, хлористый калий, аммиачная селитра, смесь торфа с суперфасфатом. Также проверяли гранулированные органико-минеральные удобрения изготавливаемые ОАО «Буйский химический завод», таких марок как: «Универсал», «Картофельное», «Пшеничное», «Свекловичное» и «Рапсовое». Проверку произвели по методике, изложенной в пункте 3.2, данной работы.

Известно, что для всех видов удобрений, физико-механические свойства напрямую зависят от влажности. Влажность ОМУ,  $W$  (%), определяли в трехкратной повторности с помощью весов и сушильного шкафа. Для этого взвесили разные пробы и поместили в сушильный шкаф. После сушки повторно взвесили и полученные данные подставили в формулу 3.1.

Объемную массу удобрений, влияющую на качество работы разбрасывателя, определили с помощью зерновой пурки ПХ-1. После замеров результат рассчитали формуле 3.2.

Размер частиц определяли с помощью последовательного просеивания удобрений через набор сит с размером ячейки от 0,5 до 7 мм. В итоге выяснилось, что размер частиц колеблется от 1 до 5 мм, причем 55% от всей массы имеет размер 2-3 мм.

Угол трения (рисунок П.7), коэффициент трения и угол естественного откоса влияющий на рассеиваемость удобрений по полю, определяли лабораторно. Результаты поместили в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 — Физико-механические свойства удобрений

Вид удобрения	Влажность W, %	Объем- ная мас- са V, т/м <sup>3</sup>	Угол трения, град.	Коэффициент трения	Угол есте- ственного откоса, град	Размер частиц, мм
Торф	43	0,09	45	0,35	34	<3 - 30% 3-6 - 20% 6-10 - 50%
Аммиачная селитра	1,3	0,8	70	0,6	42	1 - 30 % 2-3 - 60% 3-5 - 8% >5 - 2%
Суперфосфат	4	1,14	37	0,5	33	1 - 32% 2-3 - 49% 3-5 - 18% >5 - 1%
Хлористый калий	2,2	0,9	78	0,5	50	1 - 77 % 2-3 - 11% 3-5 - 6% >5 - 6%
Торф + суперфосфат	42,3	0,1	43	0,41	35	<3 - 30% 3-6 - 20% 6-10 - 50%
ОМУ «Универсал»	1,6	0,85	73	0,54	34	1 - 15% 2-3 - 55% 3-5 - 25%
ОМУ «Картофельное»	1,6	0,84	73	0,53	34	1 - 13% 2-3 - 56% 3-5 - 26%
ОМУ «Пшеничное»	1,6	0,85	73	0,53	34	1 - 16% 2-3 - 53% 3-5 - 26%
ОМУ «Свекловичное»	1,6	0,86	73	0,54	34	1 - 12% 2-3 - 54% 3-5 - 29%
ОМУ «Рапсовое»	1,6	0,84	73	0,53	34	1 - 13% 2-3 - 56% 3-5 - 26%

Результаты проверки показали серьезное отличие физико-механических свойств торфа от гранулированных удобрений, а также схожесть всех марок гранулированных органико-минеральных удобрений.

Коэффициент парусности и критическая скорость удобрений, которые напрямую зависят от размера частиц и массы, является основным показателем, влияющим на равномерность распределения их по полю. Как видно из таблицы 4.1, наиболее близким по физико-механическим свойствам к ОМУ является аммиачная селитра. Исходя из данных [44], коэффициент парусности для частиц аммиачной селитры размером 1мм = 0,72; 2-3мм = 0,27; 3-5мм = 0,16. Критическая скорость частиц аммиачной селитры размером 1мм = 7,1м/с; 2-3мм = 8,7м/с; 3-5мм = 10,4м/с. Так как размер частиц торфа, в среднем больше в 2 раза, чем у гранулированных удобрений, а объемная масса меньше в 10 раз, коэффициент парусности торфа и гранулированных удобрений будет значительно отличаться. Это отличие приведет к неравномерному смешиванию и распределению удобрений. Гранулы будут долетать значительно дальше, чем торф. Поэтому для дальнейшего проведения экспериментов была выбрана марка гранулированных ОМУ «Универсал».

#### **4.2. Обоснование основных конструктивных параметров лопатки**

При определении угла наклона и наиболее эффективной формы лопаток рабочего органа, позволяющего добиться качественного внесения удобрений, необходимо учитывать следующие факторы: дальность полета и дробление частиц удобрений.

Для обоснования зависимости дальности полета и дробления частиц от положения лопатки на стационаре были проведены эксперименты, в которых поочередно разбрасывали гранулированные органико-минеральные удобрения с использованием трех различных форм лопаток (рисунок 3.6, 3.7, 3.8): плоской, с бортами и желобообразной. Угол наклона лопаток относительно центра вращения ротора  $\phi$  изменяли в пределах от  $-16^\circ$  до  $16^\circ$ . Для каждого по-



ложения, в требуемом методикой количестве повторностей, определяли дальность полета и процент дробления частиц, подложив под выгрузное окно кожуха ротора брезент длиной 20 метров. После 60-секундной работы ротора измеряли длину, на которую долетали частицы, и с помощью набора сит просеивали удобрения. Из результатов трех повторностей вычислили среднее арифметическое. Полученные результаты сравнили с данными таблицы 4.1. На рисунке 4.1 показано влияние угла установки лопасти на дальность полета частицы с тремя различными видами лопаток.

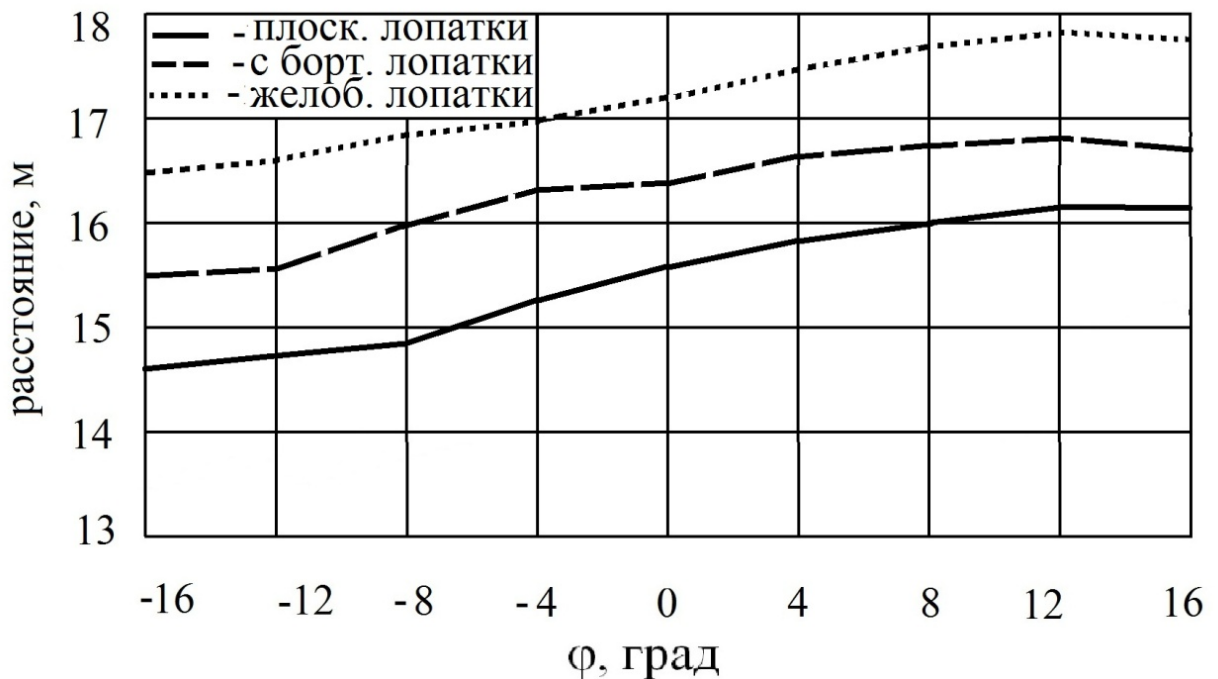


Рисунок 4.1 — Влияние угла наклона лопаток  $\varphi^{\circ}$  на дальность вылета удобрений

Исходя из результатов замеров (таблица 4.1), минимальная дальность полета частицы, наблюдается при отрицательных углах наклона лопатки. Максимум же достигается при наклоне лопасти  $\varphi=12^{\circ}$ , с использованием лопатки желобообразной формы, и составляет 17,8 м. Данный эффект объясняется тем, что установленные на  $12^{\circ}$  вперед лопасти, обеспечивают наиболее приемлемую траекторию полета частицы для достижения максимальной дальности. Плавный изгиб рабочей поверхности желобообразной лопатки позволяет уменьшить силу трения, позволяя увеличить плотность потока и дальность выброса удобрений.

На рисунке 4.2 видно, что при радиальном расположении лопастей происходит наиболее сильное дробление гранул, которое может достигать до 14%. Фракция размером 3-5 мм разбивается на 8 % с положительным углом наклона лопасти, и на 11% — для лопаток с отрицательным углом наклона. Мелкая фракция, подобно частицам размером 3-5мм, при радиальном расположении лопастей, имеет наибольший процент дробления — 11%. Как и в случае с влиянием положения лопасти на дальность вылета частицы, преимущество имеют лопатки с положительным наклоном, а в частности с углом  $\varphi=12^\circ$ . После преодоления значения угла наклона в  $12^\circ$  в одну и другую сторону результат существенно не изменяется.

Наклон же вперед обеспечивают максимальную дальность и минимальный процент дробления частиц.

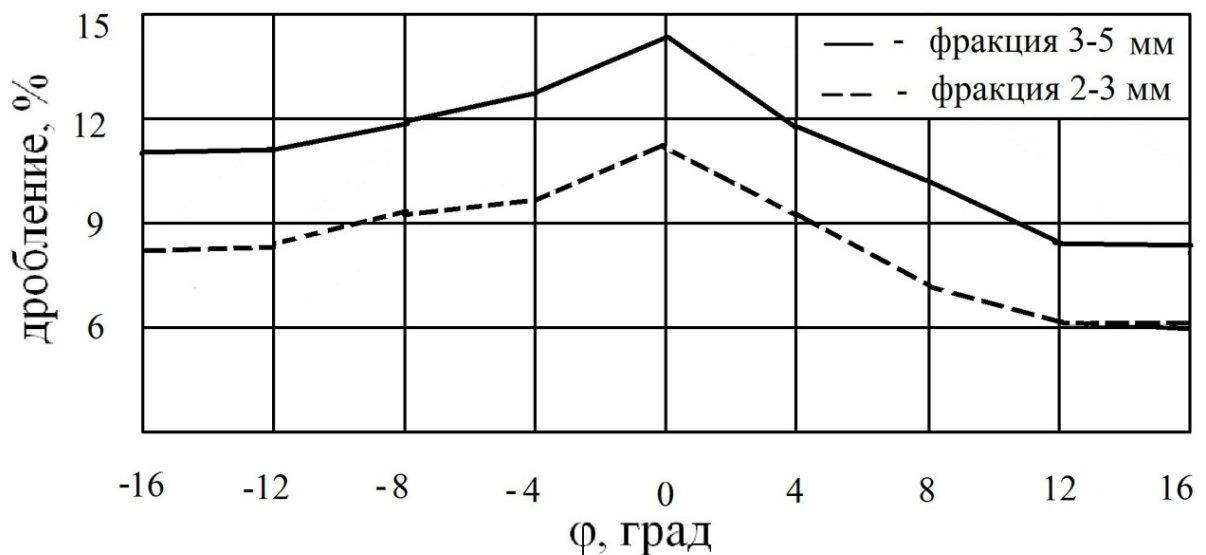


Рисунок 4.2 — Зависимость процента дробления частиц по фракциям от угла наклона  $\varphi^\circ$ , с использованием плоских лопаток

Результаты испытаний рабочего органа с желобообразными лопатками и лопатками с бортами показаны, на рисунках 4.2 и 4.3.

Анализ результатов исследований (рисунок 4.2 и 4.3) показал, что лопатки с бортами не дали явного преимущества. Процент дробления гранул лопатками с бортами, по сравнению с плоскими, снизился на 1,2 % только при радиальном их расположении. Явное преимущество благодаря своей

конструкции продемонстрировали лопатки желобообразной формы, которые обеспечили уменьшение процента дробления в среднем на 2% во всех положениях. За счет округлой формы, сила удара значительно уменьшается, равно как и площадь соприкосновения гранул с поверхностью лопатки.

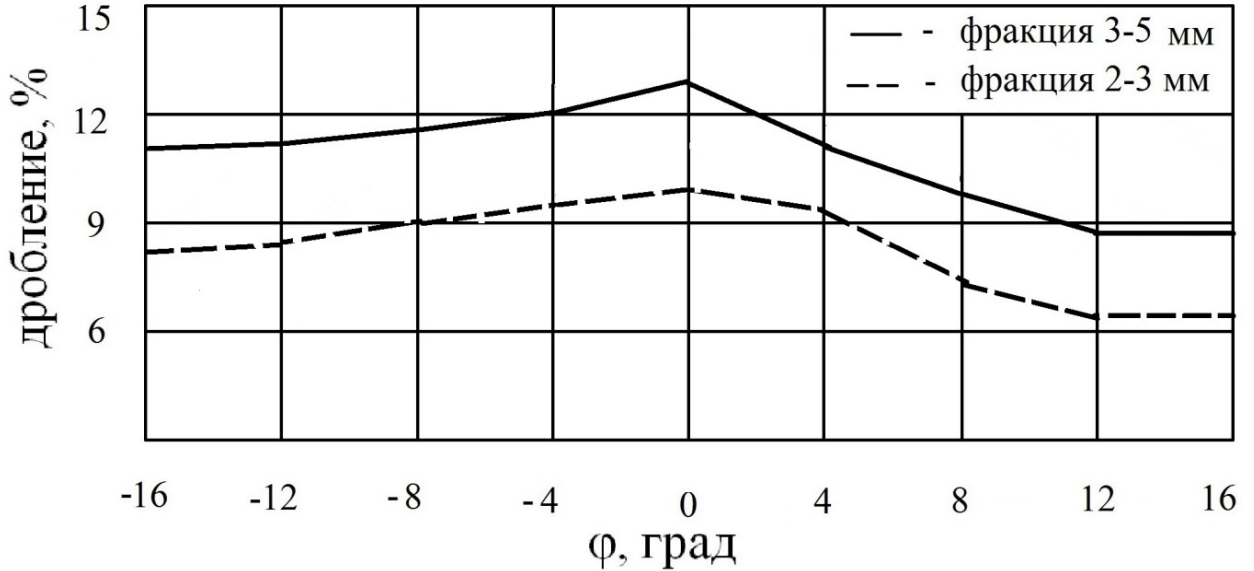


Рисунок 4.3 — Зависимость процента дробления частиц по фракциям от угла наклона  $\varphi^\circ$ , с использованием лопаток с бортами

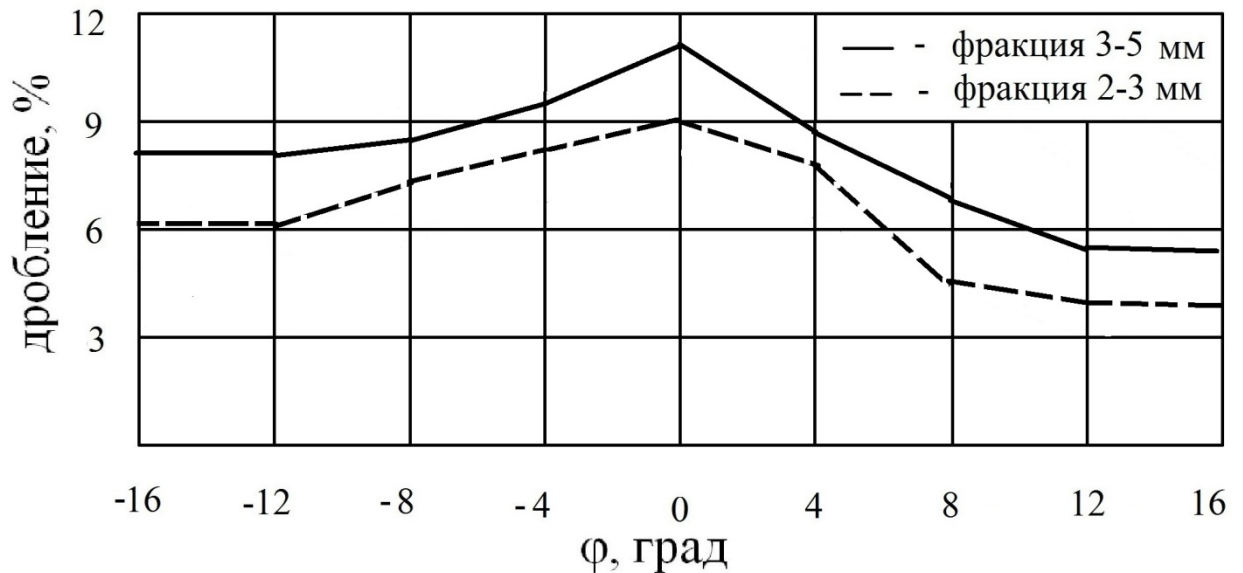


Рисунок 4.4 — Зависимость процента дробления частиц по фракциям от угла наклона  $\varphi^\circ$ , с использованием желобообразных лопаток

Далее с тремя видами лопаток в различных положениях лопастей определили скорость движения частицы удобрения в кожухе ротора. Результат показан на рисунке 4.5.

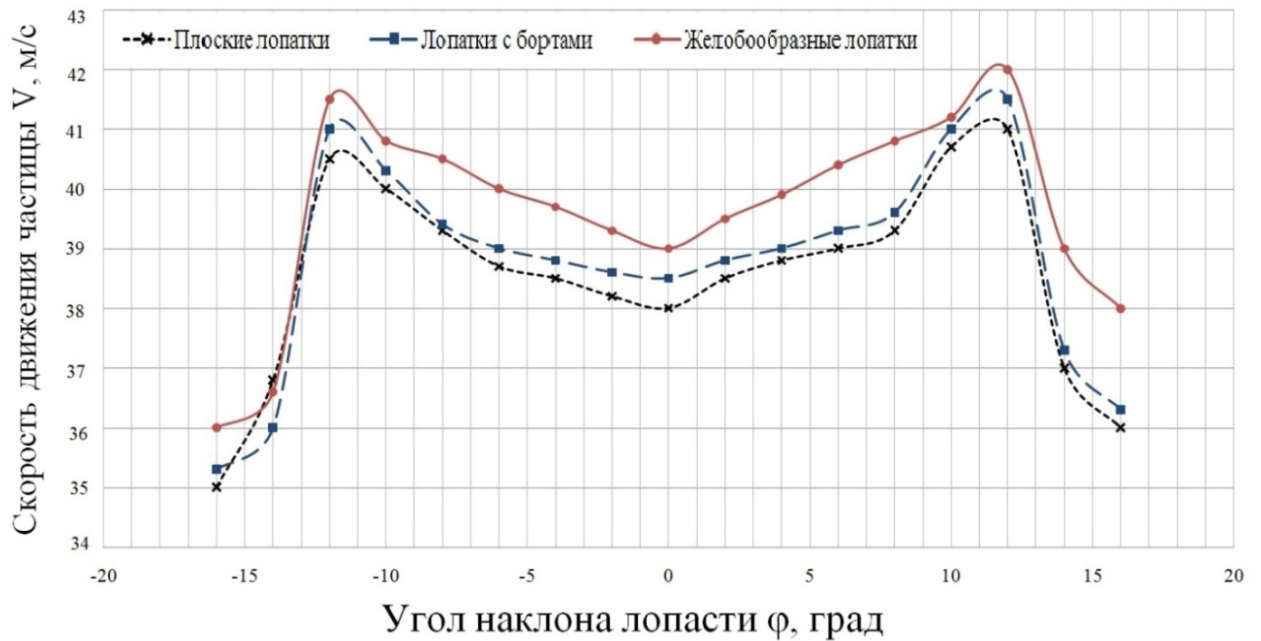


Рисунок 4.5 — Изменение скорости движения частицы удобрения ( $\vartheta$ ) в зависимости от угла наклона лопасти ( $\varphi$ )

Наибольшую скорость движения частица удобрения приобретает при угле наклона  $11-13^\circ$  в отрицательную или положительную сторону. Показатели скорости движения частиц изменяются незначительно. В силу уменьшения значения силы трения, желобообразные лопатки, в сравнении с плоскими и лопатками с бортами, придают частице наибольшую скорость и считаются наиболее эффективными.

Однако, возникающий воздушный напор при вращении ротора с лопатками в кожухе (улитке), способствует не только выбрасыванию удобрений через выгрузное окно, но и частично захватывает его и перебрасывает в кожухе на повторную подачу. Происходит пересыпание удобрений через лопатки и их дробление, особенно это характерно для лопаток при расположении  $\varphi < 0$ . В результате увеличивается пылевидная фракция, снижается производительность агрегата, нарушается равномерность распределения удобрений по площади.

Для предотвращения пересыпания удобрений мы удлинили желобообразные лопатки. Длина их составила 440 мм. Данный размер позволил перекрыть пути пересыпания, так как лопатки стали доходить непосредственно

до оси вращения ротора. Повторив эксперимент, получили следующий результат (рисунок 4.6)

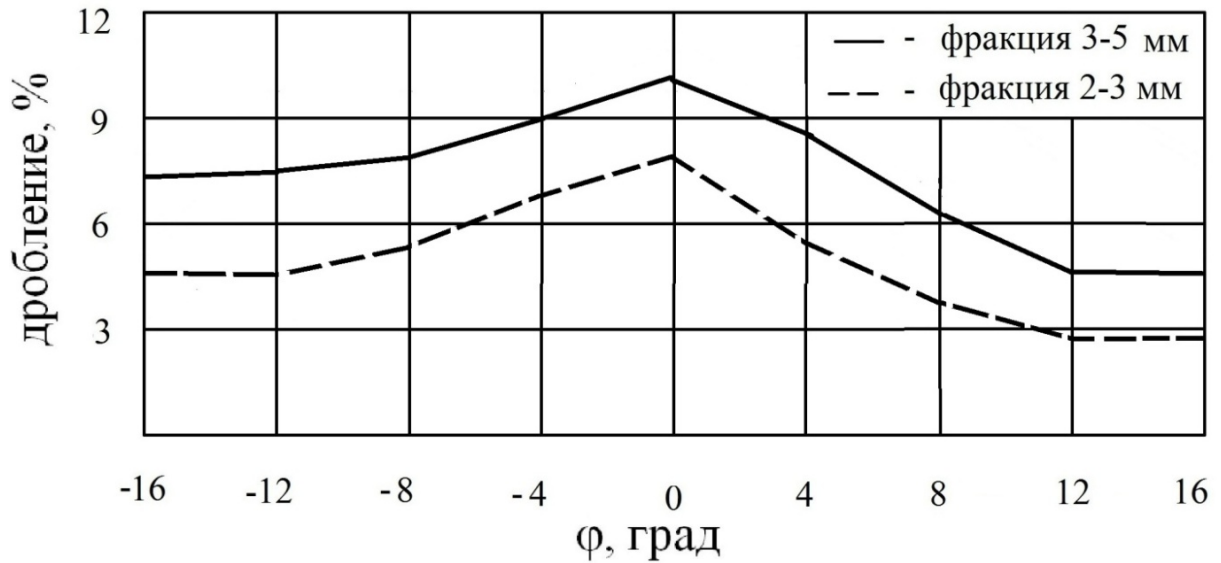


Рисунок 4.6 — Зависимость процента дробления частиц по фракциям от угла наклона  $\varphi^\circ$ , с использованием сплошных желобообразных лопаток

Конструкция сплошных лопаток исключила пересыпание удобрений, устранив тем самым повторный удар по ним идущей следом лопаткой. Испытания сплошных лопаток показали уменьшение дробления частиц на 0,7%. Кроме того величина среднего воздушного напора в кожухе ротора возросла со 156 до 209 мм. вод. ст. Соответственно исходя из данных [53], максимальная скорость движения частицы удобрения может увеличиться до 50 м/с.

В результате экспериментальной проверки формы, конструктивных особенностей и положения лопастей и лопаток рабочего органа установили, что использование сплошных желобообразных лопаток размером 200 x 440 мм и углом наклона  $\varphi = 12^\circ$  дает положительный эффект и позволяет обеспечить наиболее качественное и эффективное внесение удобрений. Эти выводы были учтены при проведении дальнейших экспериментов.

### 4.3. Результаты полевых испытаний разбрасывателя

Работу низкорамной машины для внесения органоминеральных удобрений проверяли на разных режимах с тремя видами лопаток (прямыми, с бортами, и желобообразными) для роторного рабочего органа. Устанавливали влияние формы лопаток на траекторию полета и размеры пятна рассева удобрений.

Графическое представление траектории полета частицы удобрения, выброшенной разбрасывателем, осуществляли с помощью теоретической и фактической кривой. Расчет теоретической траектории полета частицы удобрения определили с помощью программы для языка программирования Delphi - «Полет частицы» (рисунок П.8).

В основу программы входит закон движения тела брошенного под углом к горизонту, и соответствующая система уравнений

$$\begin{cases} x = v_0 \cos \alpha \cdot t \Rightarrow t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} \\ y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}. \end{cases} \quad (4.1)$$

Для нахождения траектории необходимо ввести следующие данные: угол вылета, скорость и диаметр частицы удобрения при сходе с лопатки.

Угол наклона выгрузного окна экспериментального разбрасывателя составляет  $35^\circ$ . Значение диаметра частицы, по таблице 4.1, приняли средним - 3мм. Исходя из результатов полученных в пункте 4.2 настоящей работы, скорость схода частицы колеблется от 41 до 42 м/с.

Теоретические кривые траектории движения, полученные для трех форм лопаток являются параболами соответствующими уравнению

$$y = xt \operatorname{tg} \alpha - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha}. \quad (4.2)$$

Теоретическими расчетами максимальная дальность вылета частицы удобрения обеспечивается желобообразными лопатками, и составляет 18 м, а высота траектории - 4,2м (рисунок 4.9).

При проверке расхождения теоретических результатов с практически-ми использовали специальные метки, и посредством видео и фотосъемки определили фактическую траекторию полета частиц удобрения. Результаты наблюдений поместили в графики для сравнения их с теоретическими.

Для плоских лопаток длина полосы рассева составила 15 м, а максимальная высота, на которую поднимаются частицы, — 3,1м. (рисунок 4.7).

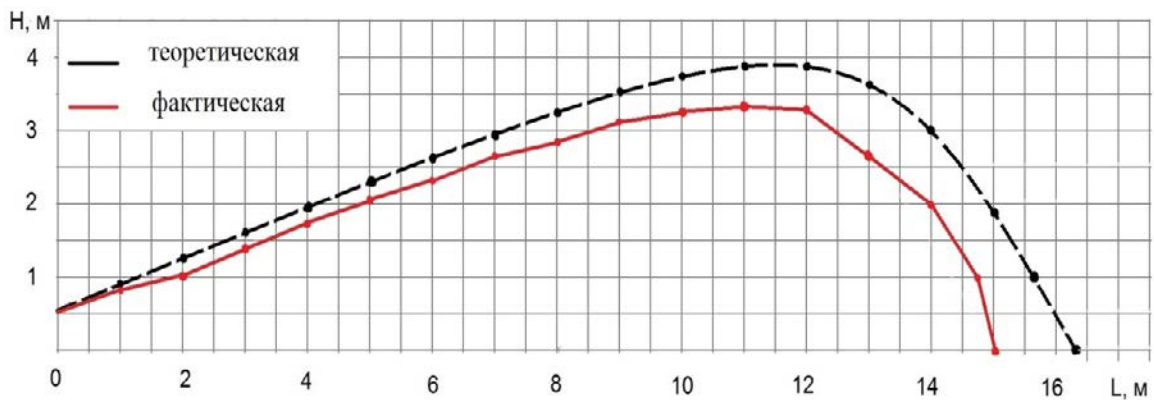


Рисунок 4.7 — Траектория полета частицы удобрений при работе с плоскими лопатками

Однако видно существенное расхождение результатов теоретических расчетов и фактической траектории. Объяснить это можно неучтенными в теории погодными условиями и нахождением частицы в потоке.

Выброс удобрений лопатками с бортами позволил повысить дальность вылета частицы до 16 м с одновременным увеличением высоты траектории.

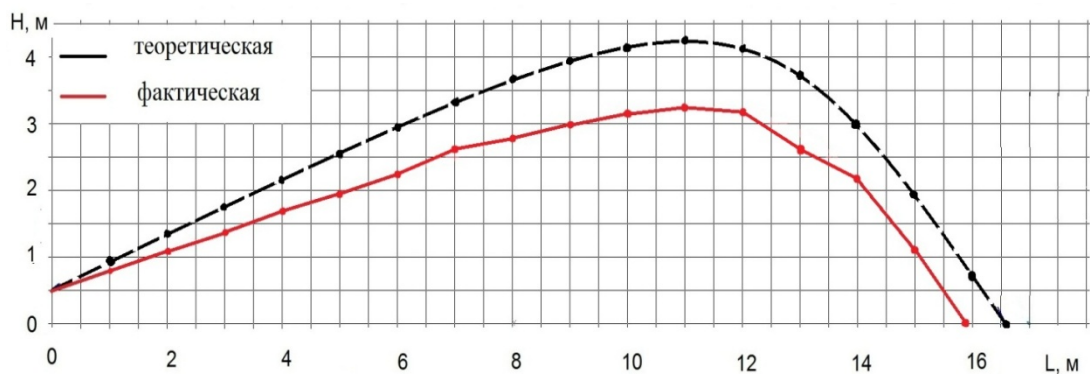


Рисунок 4.8 — Траектория полета частицы удобрений при работе лопаток с бортами

При работе разбрасывателя с желобообразными лопатками результаты показали не значительное расхождение (рисунок 4.9), в сравнении с предыдущими опытами. В данном случае фактическая дальность превысила теоретическую и составила 18 м. Поток удобрений стал визуально плотнее на выходе, что повлекло за собой увеличение дальности рассева.

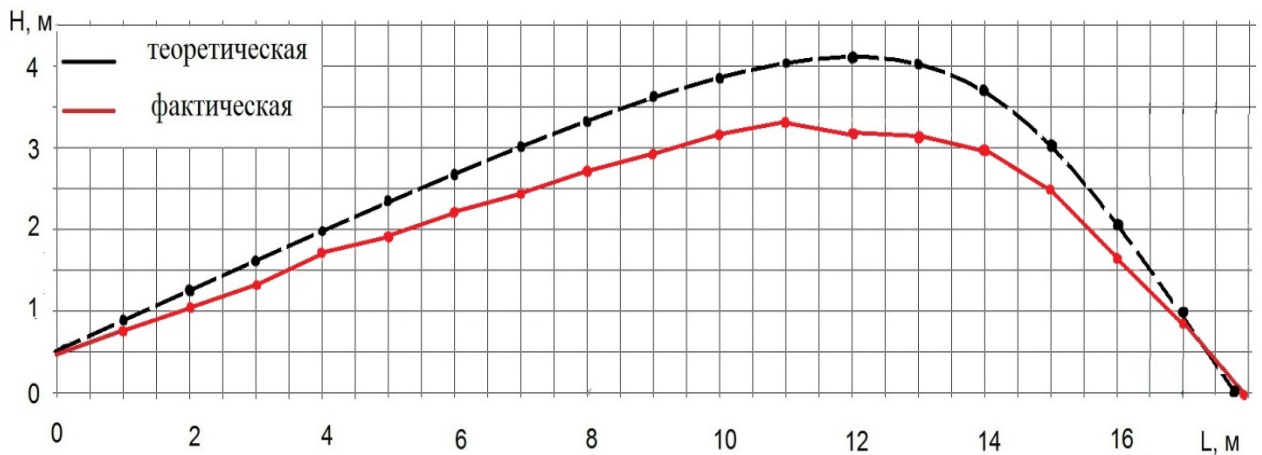


Рисунок 4.9 — Траектория полета частицы удобрения при работе с желобообразными лопатками

Проанализировав все три графика траекторий, можем сказать, что влияние на дальность вылета удобрений оказывает не только скорость, но и форма лопатки, формирующая их поток. Чем плотнее поток, тем меньше частицы подвержены парусности.

Далее для всех видов лопаток осуществили проверку точности заданной дозы внесения. Для этого под выгрузное окно подстелили лист брезента и запустили механизм выброса удобрений. Ротор работал 60 секунд, после чего все выпавшие удобрения поочередно взвесили и определили дозу внесения удобрений.

Степень неравномерности по длине полосы рассева для трех видов лопаток определяли на стационаре в трехкратной повторности (рисунок 4.10). Для этого, согласно методике описанной в п. 3.7, по приблизительной длине и ширине полосы рассева установили кюветы 0,5 x 0,5 м (рисунок 3.11). По-



сле загрузки кюветов, поочередно взвешивая и фиксируя результат, произвели вычисления с помощью программы Microsoft Office Excel (таблица П.5).



Рисунок 4.10 — Определение неравномерности внесения удобрений на стационаре

На рисунке 4.11 показан характер распределения удобрений на каждый метр длины полосы посева.

Коэффициент вариации распределения удобрений составил, для плоских лопаток — 17,3%, для лопаток с бортами — 15,7 %, желобообразных — 14,2%.

Желобообразные лопатки способствуют наибольшей равномерности распределения удобрений, однако при визуальном наблюдении процесса внесения удобрений на участке с 6 метров заметно сильное расслоение потока и появления вертикального веера частиц. Это подтверждают и результаты расчетов неравномерности в зоне посева. Так, кривая имеет резкий скачок в сторону увеличения дозы на данном участке. Поток удобрений теряет свою плотность, в связи с чем их скорость падает и происходит переполнение удобрениями данной области (рисунок 4.11).

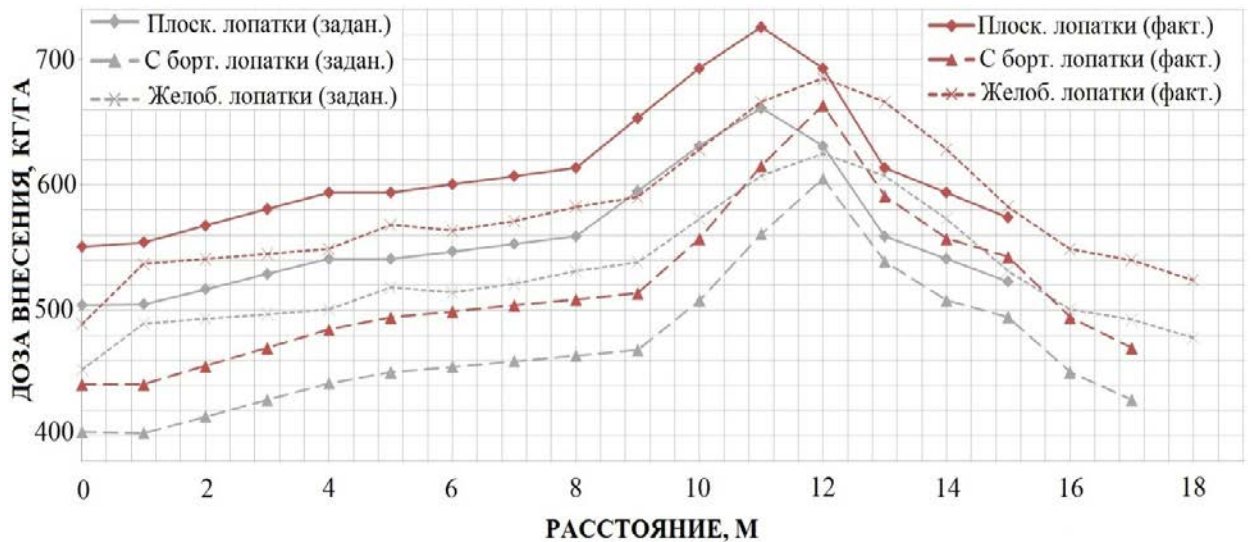


Рисунок 4.11 – Характер распределения удобрений

Полевые испытания разбрасывателя органо-минеральных удобрений позволили установить наиболее подходящую для достижения максимальной рабочей ширины форму лопаток. Желобообразная форма позволяет концентрировать массу удобрений в центре лопатки, образуя более плотный поток, в сравнении с остальными. Тем не менее отсутствие устройства корректирующего направление потока, приводит к выбросу разнородных фракций по различным траекториям. Создается вертикальное веерное распределение частиц на удаленных участках, приводящее к недопустимому по агротребованиям значению коэффициента вариации — 14.2%. Данный эффект можно устранить путем установки дефлектора, корректирующего поток удобрений. В связи с этим необходимо, с учетом теоретических исследований, определить наиболее рациональную форму дефлектора для достижения наибольшей плотности потока удобрений и снизить тем самым коэффициент вариации.

#### 4.4. Влияние конструктивных параметров дефлектора на траекторию полета частиц удобрения

Для нахождения наиболее рациональной формы дефлектора было разработано три варианта дефлектора, радиус которых составлял 980 мм, 890

мм, 650 мм. Длина каждого дефлектора изменялась телескопически от 935 мм до 565 мм с шагом 185 мм.



Рисунок 4.12 — Опытный образец дефлектора с радиусом 980 мм

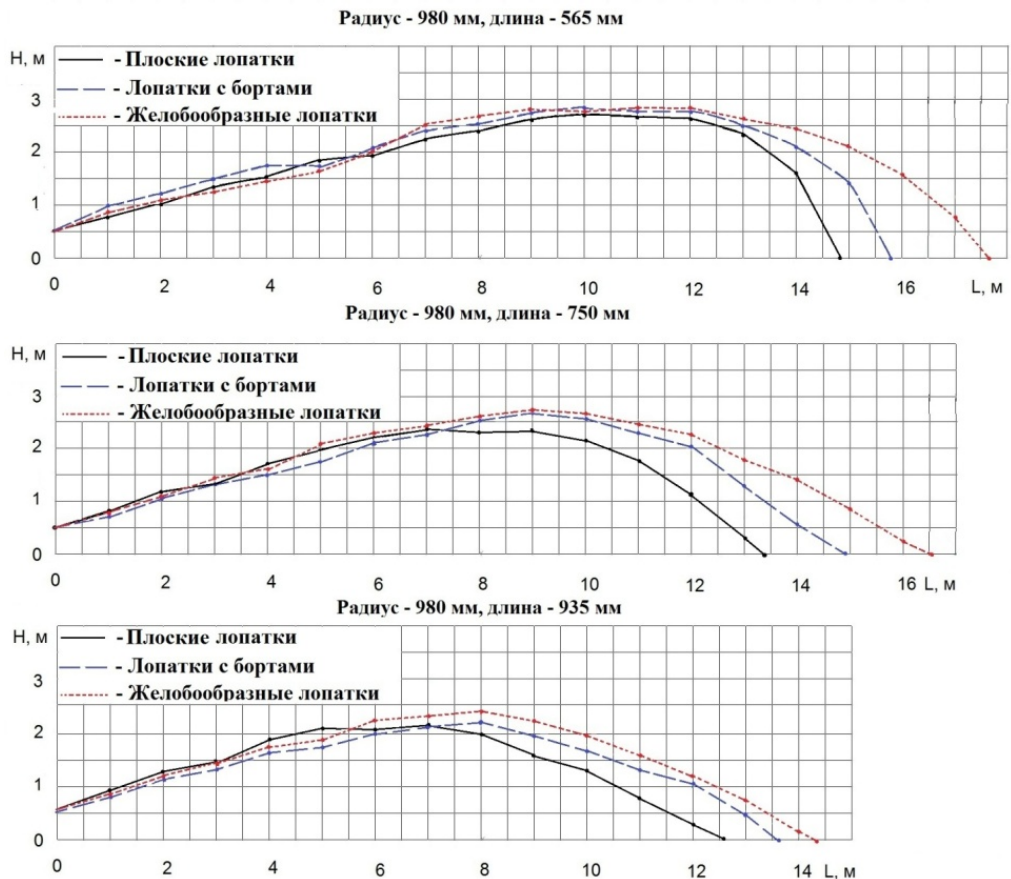


Рисунок 4.13 — Траектории полета частиц удобрения при использовании дефлектора с радиусом 980 мм

В первую очередь исследовали дефлектор большего радиуса (рисунок 4.13). Посредством видео и фотосъемки, по методике изложенной ранее, определили фактические значения точек траекторий полета частиц удобрения.

По телескопическим направляющим дефлектор выдвигался поочередно на длину 565, 750 и 935 мм. Удобрения разбрасывали на стационаре, и было проведено 9 опытов: три варианта форм лопаток для трех различных положений дефлектора.

Результатами опытов установлено, что использование дефлектора с радиусом 980мм снизило пиковую вертикальную траекторию на 0,7 м. Прослеживается закономерность уменьшения дальности вылета и пиковых точек траектории полета удобрений при увеличении длины дефлектора. Дефлектор меньшей длины — 565 мм — позволил добиться понижения вертикальной траектории, не уменьшая тем самым дальность полета частиц, до 17,7 м (рисунок 4.13).

Согласно разработанной методике, аналогично провели исследования траекторий полета частиц удобрения при работе разбрасывателя в комплектации с дефлекторами радиусом 890 и 650мм (рисунок 4.14 и 4.15).

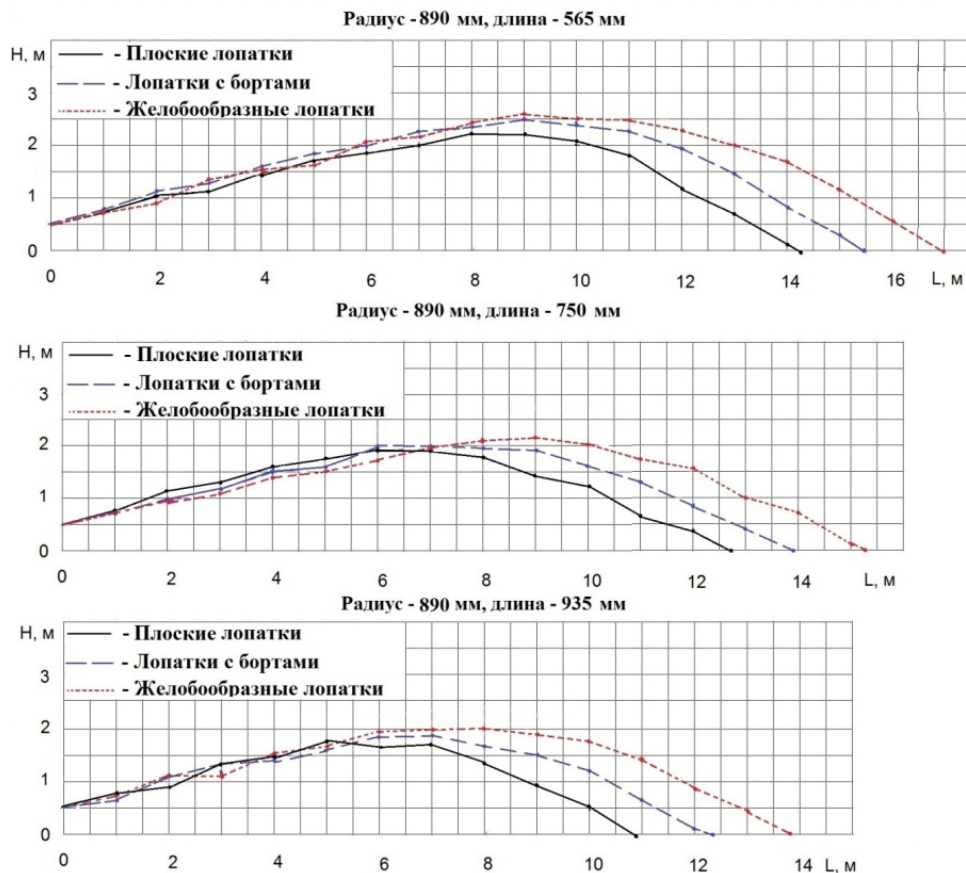


Рисунок 4.14 — Траектории полета частиц удобрения при использовании дефлектора с радиусом 890 мм

Телескопический дефлектор с радиусом 890мм, в зависимости от длины выдвижения (рисунок 4.14), продемонстрировал снижение пиковой высоты траектории до 2-2,5 м. Уменьшение радиуса рабочей поверхности повлияло на изменение формы траектории в начальной точке, а дальность уменьшилась до 16м.

Испытания дефлектора с радиусом 650 мм показали, что максимальная дальность не превышает 12 м, а длина выдвижения на 935 мм способствует фронтальному выбросу, при котором начальные точки траектории являются пиковыми. При такой форме траектории дальность полета не превышала 8 м.

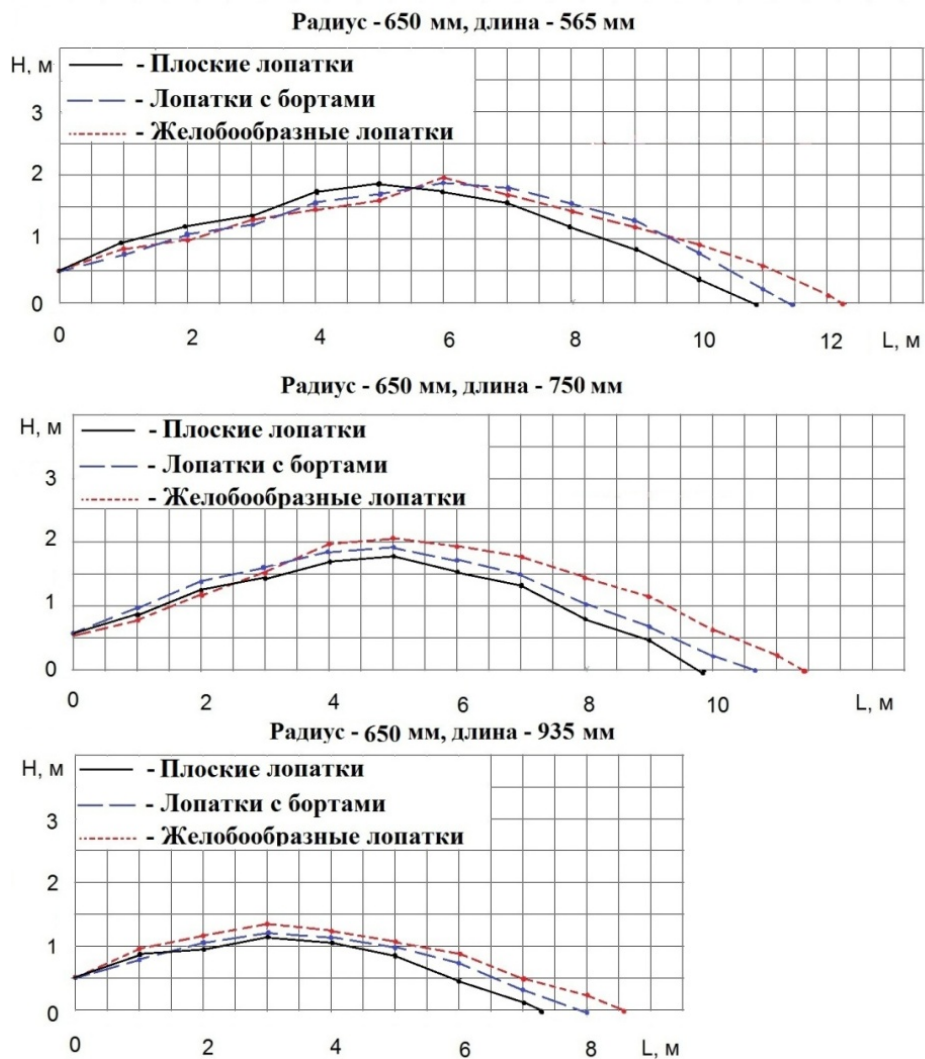


Рисунок 4.15 — Траектории полета частиц удобрения при использовании дефлектора с радиусом 650 мм

Анализ всех кривых траектории по основным параметрам, таким как длина дефлектора, радиус дефлектора и форма лопаток, представили графиче-

чески. Ключевые критерии, по которым производилась оценка, — дальность вылета и высота траектории полета. Для этого определялись средние из трех максимальных значений дальности и пиковых точек траектории для всех параметров дефлектора, а полученные зависимости представлены на рисунке 4.16.

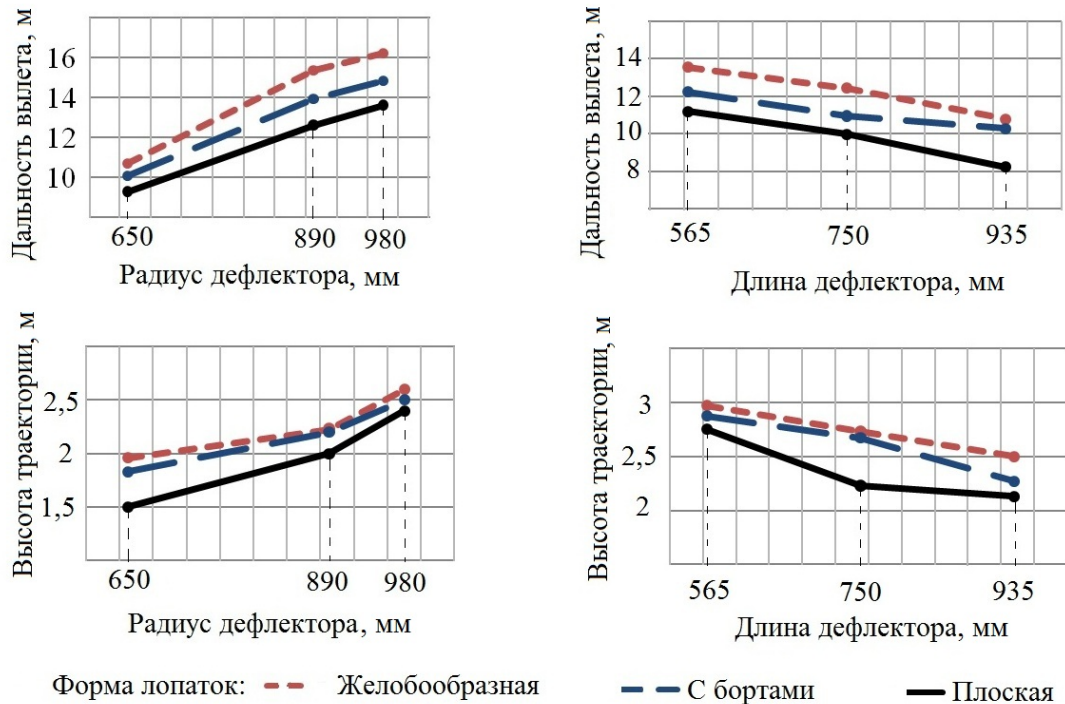


Рисунок 4.16 — Общая оценка работы разбрасывателя при различных параметрах дефлектора

Рассматривая рисунок 4.16, можем отметить две взаимообратные закономерности:

- при увеличении радиуса дефлектора дальность и высота траектории увеличивается;
- увеличение длины дефлектора приводит к уменьшению дальности и пиковой высоты траектории.

Наиболее рациональными параметрами дефлектора, позволяющими снизить пиковые точки траектории, не нанося ущерб дальности полета удобрений, а соответственно и производительности разбрасывателя, является радиус - 980 мм, длина 565 мм, форма лопатки - желобообразная. При дальнейшем увеличении длины и уменьшении радиуса производительность сни-

жается. Пиковая высота траектории полета, в данном случае достигающая 2,5 - 3 м, соответствует уплотнению потока удобрений и уменьшает вертикальное веерное распределение частиц.

Однако, в соответствии с разделом 2.4 настоящей работы, необходимо было проверить возможность еще большего снижения пиковых точек траектории посредством использования дефлектора параболической формы. Для этого нами был разработан дефлектор длиной 565 мм, форма которого является параболой, повторяющей траекторию движения тела, брошенного под углом к горизонту (рисунок 2.9).

В результате испытания параболического дефлектора в совокупности с тремя различными формами лопаток, уменьшилось вертикальное веерное распределение легких фракций гранулированных удобрений. Аналогично испытаниям дефлектора с радиусом 980 мм и желобообразными лопатками наименьшая пиковая высота траектории полета достигала 2,8 м (рисунок 4.17). Кроме того, форма дефлектора, соответствующая траектории движения твердого тела, брошенного под углом к горизонту, позволила увеличить дальность вылета до 18 м. Фактически форма дефлектора, близкая к траектории движения тела, брошенного под углом к горизонту, увеличивает дальность вылета удобрений, при работе со всеми испытываемыми формами лопаток.

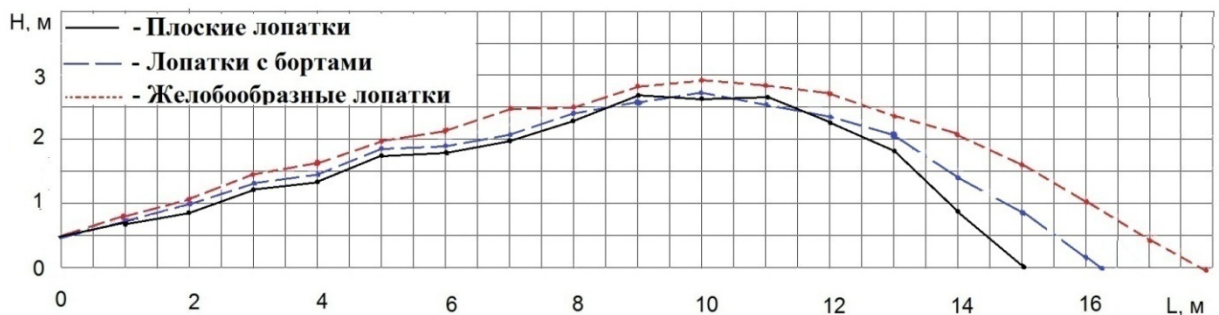


Рисунок 4.17 — Кривая траектории полета частиц удобрения при использовании параболического дефлектора

Для объяснения воздействия дефлектора на равномерность распределения удобрений в аналогичном порядке определили степень неравномерности

по длине полосы рассева для различных параметров дефлектора. Испытания проводили на стационаре по применяемой ранее методике (п. 3.7) с использованием кюветов. Доза внесения составляла 500 кг/га, а длина полосы рассева 18 м, являющимися эталонными для желобообразных лопаток.

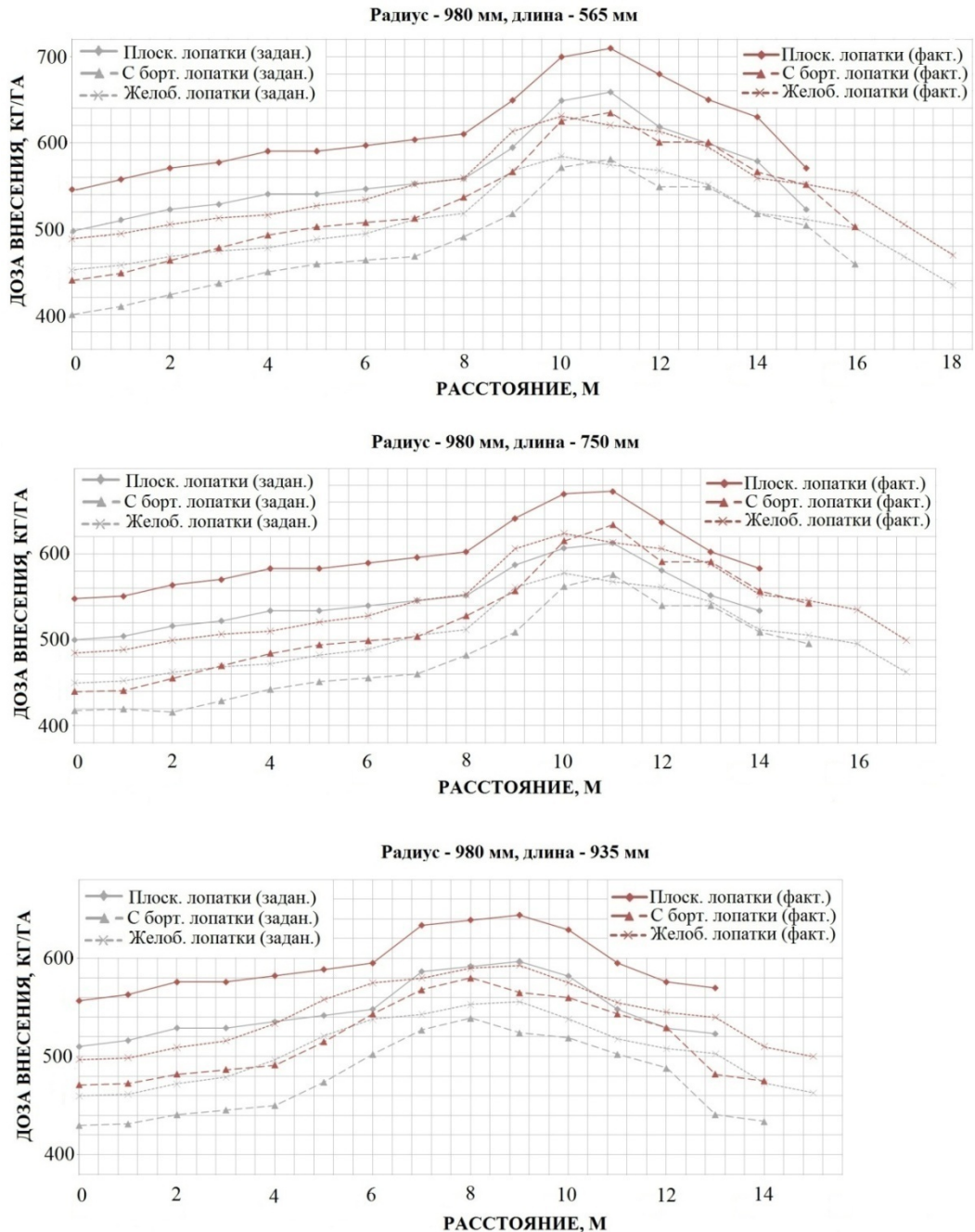


Рисунок 4.18 — Характер распределения удобрений при использовании дефлектора с радиусом 980 мм

Испытаниями и обработкой результатов работы дефлектора с радиусом 980 мм (таблица П.6; П.7; П.8) показали, что при использовании желобообразных лопаток отклонение от фактической дозы доходило до 10% в сторону



увеличения (рисунок 4.18). При этом коэффициент вариации снижался с 9,88 до 9,03 %, при увеличении длины выдвижения дефлектора.

Поскольку перенастройка подачи и нормы внесения 500 кг/га для меньшей рабочей ширины не производилась, лопатки плоской формы обеспечили значительное превышение заданной дозы внесения по всей полосе посева. Как и в случае с желобообразными лопатками, коэффициент вариации снижался с 14,12 до 10,23%, прямо пропорционально увеличению длины дефлектора.

Аналогичная ситуация возникла при работе лопаток с бортами. Неравномерность изменялась от 11,18 до 9,87%.

Проанализировав результат, отметим, что допустимый коэффициент вариации распределения удобрений, обеспечивают желобообразные лопатки во всех положениях выдвижения дефлектора, а так же лопатки с бортами при максимальной длине дефлектора 935мм.

По результатам исследований дефлектора с радиусом 980 мм (рисунок 4.18) закономерность уменьшения коэффициента вариации с повышением длины дефлектора подтвердилась. При работе дефлектора длиной 935 мм коэффициент неравномерности остался в пределах 10% для всех видов лопаток. Наименьший процент неравномерности — 9,57% обеспечили желобообразные лопатки. На рисунке 4.19 видно, что плоские лопатки способствуют еще большему превышению заданной дозы внесения удобрений. В связи с этим необходимо сделать вывод, что для каждой формы и длины выдвижения дефлектора необходимо осуществлять индивидуальную настройку заданной дозы.

Обработка результатов исследования (таблица П.9; П.10; П.11) показала отличие дефлектора с радиусом 980 мм от предыдущих. Оно заключается в смещении области превышения дозы на 2 м ближе к разбрасывателю. Данная область совпадает с зоной образования вертикального веерного распределения частиц удобрения.

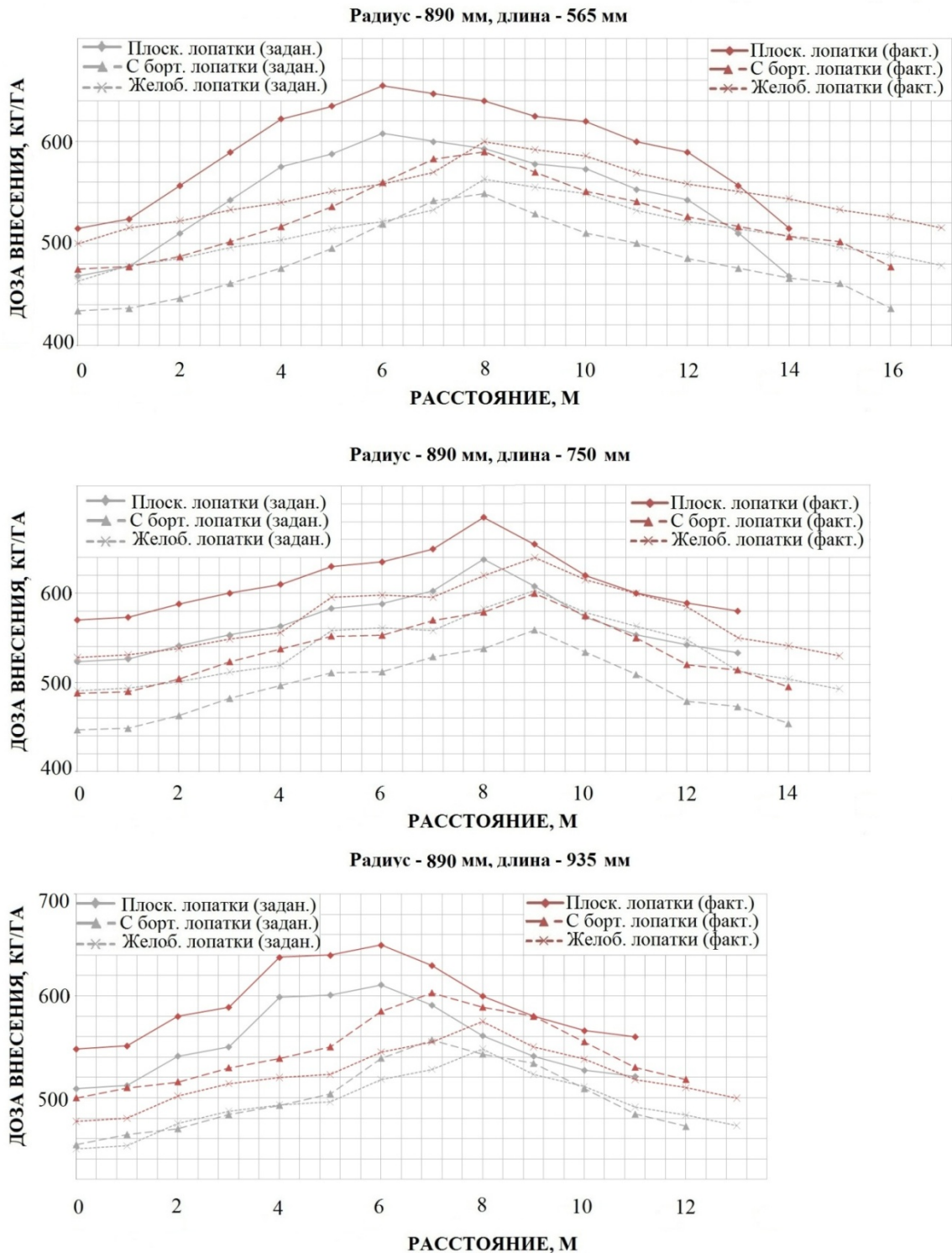


Рисунок 4.19 — Характер распределения удобрений при использовании дефлектора с радиусом 890 мм

После обработки результатов, полученных при работе разбрасывателя с дефлектором 650 мм (таблица П.12; П.13; П.14), было установлено, что в силу образования плотного потока он обеспечил равномерное внесение удобрений всеми видами лопаток (рисунок 4.20). Коэффициент вариации не пре-

высил допустимого значения, однако произошло превышение заданной дозы внесения почти в 2 раза. Необходимо снизить скорость в пределах допустимого значения или уменьшать подачу удобрений в 2 раза для обеспечения заданной дозы, однако это мало эффективно, так как рабочая ширина при таком варианте составляет в среднем 10 м.

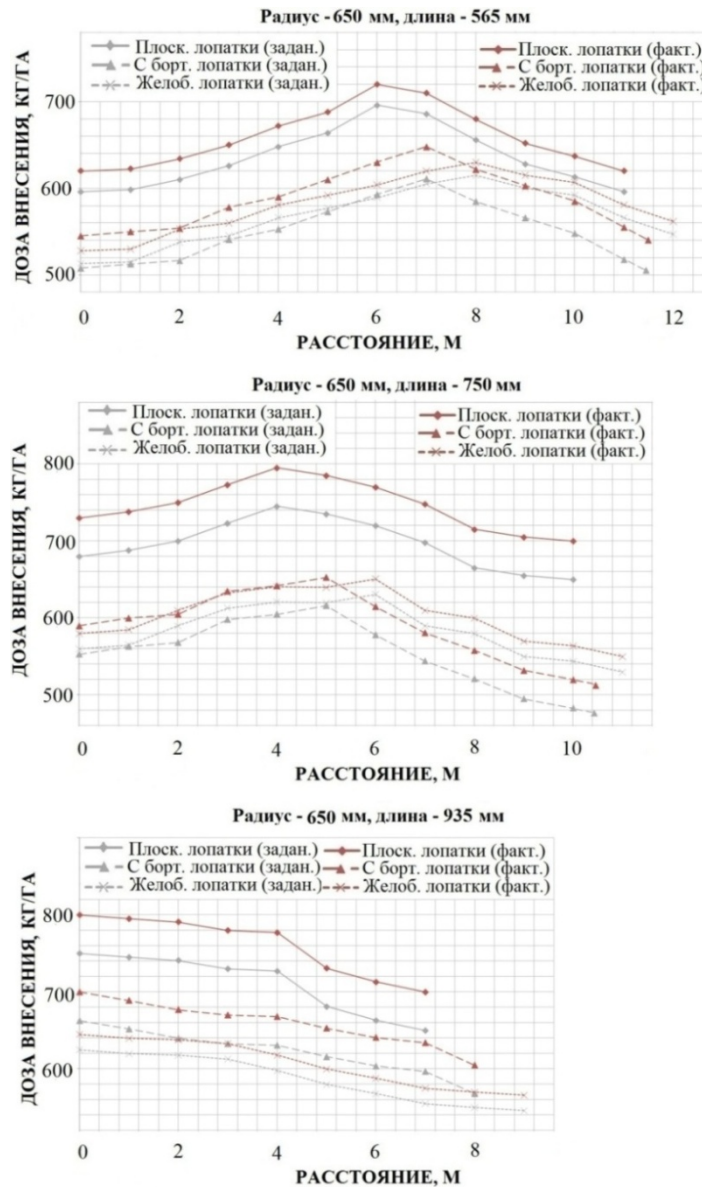


Рисунок 4.20 — Характер распределения удобрений при использовании дефлектора с радиусом 650 мм

Испытания показали, что увеличение радиуса и длины дефлектора позволяет повысить равномерность распределения удобрений. Тем не менее, длина полосы рассева которую обеспечивает такой дефлектор, составляет 10-12м. Разбрасыватель с такой рабочей шириной является мало производитель-

ным, а так же не соответствует современным машинам для внесения удобрений, обеспечивающим рабочую ширину до 25 м. В перспективе для обеспечения большей длины полосы рассева необходимо увеличивать частоту вращения рабочего органа, что может существенно повысить процент дробления, затраты труда и денежных средств.

Анализ траекторий полета с использованием дефлекторов различной формы, а именно параболической, позволил добиться повышения дальности до 18 м, одновременно уменьшив вертикальное веерное распределение (рисунок 4.17). Поэтому необходимо было проверить обеспечение допустимой равномерности при работе с дефлектором данной формы и длины 565 мм.

Результаты испытания оказались аналогичными исследованиям дефлектора с радиусом 980 мм (таблица П.15). Преимущество так же получили желобообразные лопатки (рисунок 4.21). Коэффициент вариации для них составил 9,83%, а отклонение от заданной дозы — 8 %.

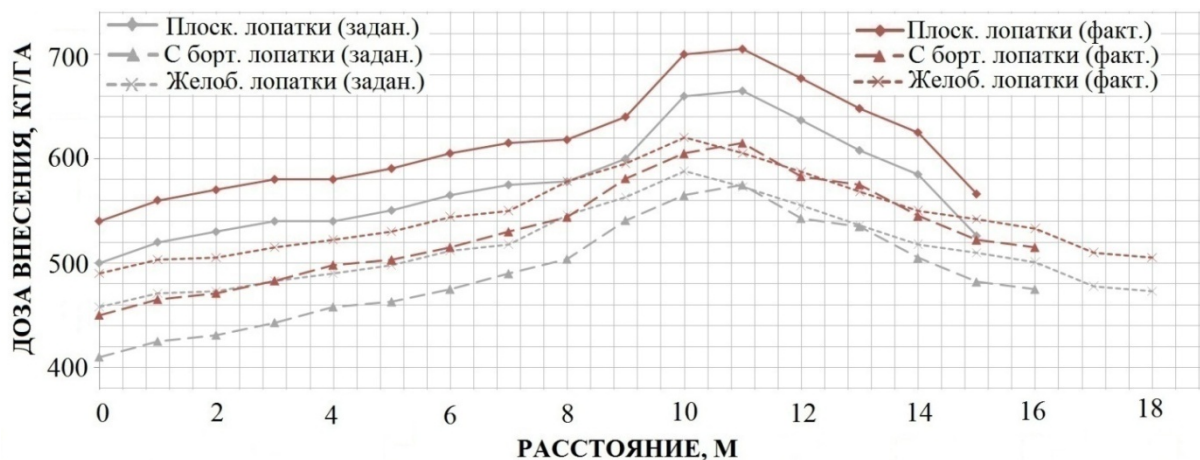


Рисунок 4.21 — Характер распределения удобрений с использованием параболического дефлектора длиной 565 мм

В итоге наиболее эффективным, в плане сочетания дальности и равномерности распределения удобрений, является разбрасыватель с параболическим дефлектором длиной 565 мм.

По результатам полученным с рекомендуемым дефлектором и желобообразными лопатками, с помощью ввода экспериментальных данных в программу Microsoft Office Excel, построили полигон рассева удобрений. Мини-

мальная ширина полосы рассева была получена при работе с желобообразными лопатками, она составила 1,1 м (рисунок 4.22), в то время как плоские лопатки обеспечили ширину в 1,8 м (рисунок П.9), а лопатки с бортами — 1,4 м (рисунок П.10).

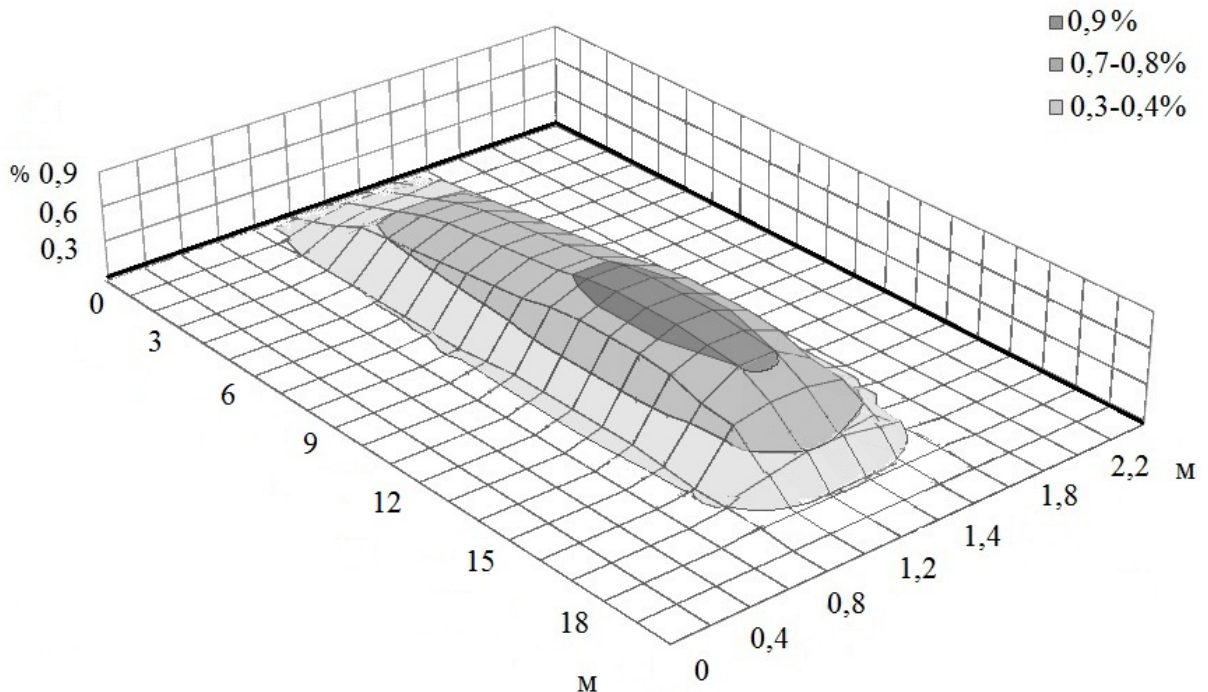


Рисунок 4.22 — Полигон рассева удобрений желобообразными лопатками

Такое обстоятельство позволяет еще раз подтвердить явление уплотнения потока выбрасываемых удобрений желобообразными лопатками.

После нахождения наиболее рациональных параметров дефлектора для их подтверждения произвели проверку равномерности распределения гранулированных удобрений в движении (рисунок 3.12). Разбрасыватель в агрегате с трактором МТЗ-82 двигался со скоростью 5,55 м/с, был настроен на дозу 500 кг/га и рабочую ширину внесения 18 м. Внесение осуществлялось с попеременным использованием ранее исследованных лопаток различных форм, в трехкратной повторности. После расчетов, проведенных в программе Microsoft Office Excel (таблица П.16), построили эпюры распределения частиц органо-минеральных удобрений (рисунок 4.23).

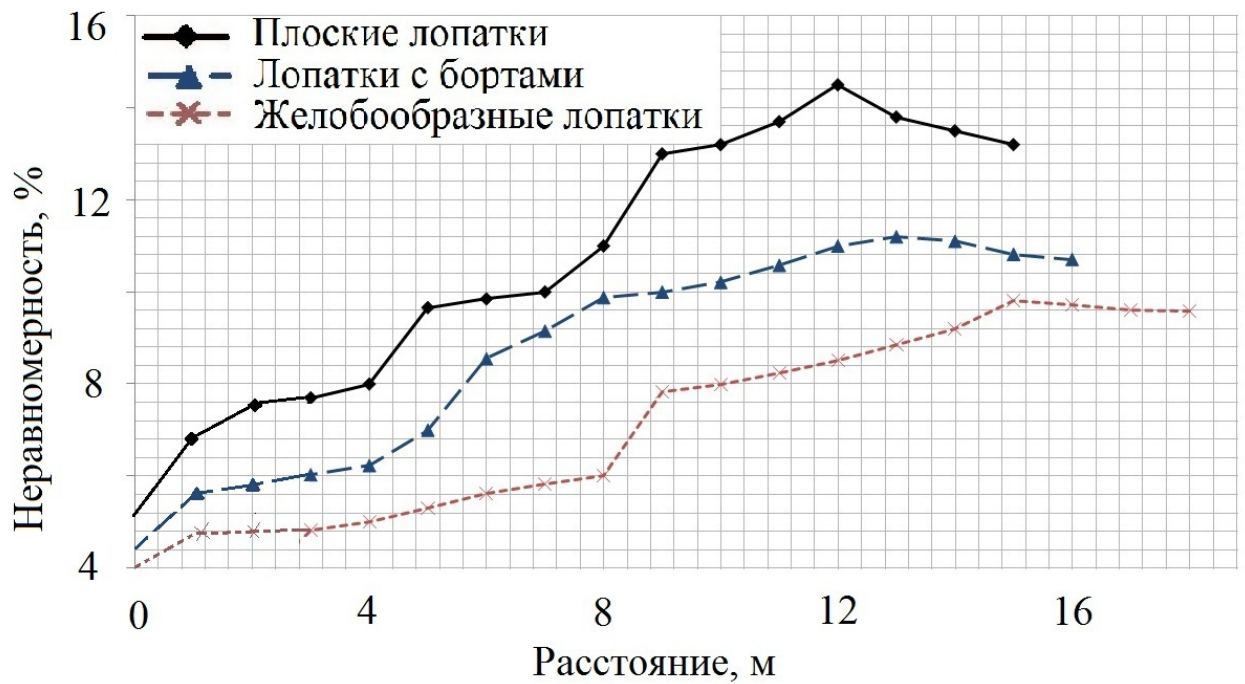


Рисунок 4.23 — Эпюры распределения частиц удобрения при работе с различными видами лопаток

В результате коэффициент вариации для плоских лопаток составил 14,5%, для лопаток с бортами — 11,2%, для желобообразных — 9,81%. Испытания разбрасывателя в движении в очередной раз подтвердили, что работа его с желобообразными лопатками обеспечивает требуемую агротехнической наукой равномерность. Для обеспечения одинаковой нормы внесения перекрытие в стыковых проходах разбрасывателя составляет в данном случае 1м, то есть 5% от общей ширины внесения и удовлетворяет агротребованиям.

В перспективе, используя дефлектор параболической формы, можно добиться еще более точной корректировки траектории полета частиц удобрения с помощью установки корректирующей заслонки в его конечной точке. Данная заслонка может иметь сходную с козырьком силосопровода кормоуборочного комбайна конструкцию, и регулироваться с помощью тягового троса.

После проверки равномерности внесения удобрений, с применением известной методики [38], определили производительность экспериментального разбрасывателя за час сменного времени. В силу того что эксперимен-

тальная машина является низкорамной, она способна осуществлять качественное, соответствующее агротребованиям, внесение удобрений на скоростях до 6 м/с. При скоростях более 6 м/с разбрасыватель способен работать только после перенастройки подачи, на полях с заранее подготовленным рельефом. Производительность машины находится в прямой зависимости (рисунке 4.24) от скорости движения агрегата.



Рисунок 4.24 — Изменение производительности в зависимости от скорости движения агрегата

С учетом отклонения от фактической дозы внесения при работе низкорамного разбрасывателя в программу Microsoft Office Excel была занесена универсальная формула, автоматически определяющая требуемую скорость движения агрегата, необходимую для соблюдения заданной дозы внесения кг/га (рисунок П.11). В программе присутствует два поля: в первое вводится необходимая доза внесения кг/га, а во второе производительность рабочего органа кг/с (4, 5 или 6 кг/с в зависимости от размера установленного загрузочного окна). После ввода данных в поле ниже высвечивается требуемая рабочая скорость, в м/с и км/ч.

#### **4.5. Экспериментальная проверка стабилизации разбрасывателя на склонах**

Качество работы кузовных машин для внесения органических и минеральных удобрений сплошным разбросным способом оценивается шириной и неравномерностью распределения материала по поверхности поля. Практикой и ранее проведенными полевыми исследованиями установлено, что при работе на пересеченной местности величина этих показателей не отвечает агротехническим требованиям.

В настоящее время нет радикальных способов полного устранения отрицательного влияния пересеченности рельефа на работу сельскохозяйственных агрегатов. При работе поперек склона устойчивость равнинного трактора и сельхозмашины, вследствие перераспределения веса, ухудшается. Ведущие колеса из-за этого имеют различный коэффициент буксования, что снижает тяговые показатели машины. Величина уклона оказывает значительное влияние на прямолинейность движения и управляемость агрегата вследствие увода и сползания, что вызывает снижение производительности и ухудшение условий труда оператора.

Широкому производственному внедрению почвозащитной технологии возделывания сельскохозяйственных культур мешает отсутствие машин и орудий, позволяющих качественно выполнять технологические операции поперек склона.

Для расширения границ применения серийных машин и улучшения качественных показателей их работы, целесообразно применять стабилизирующие устройства.

Анализ патентной литературы позволил выявить основные, на данном этапе, направления в разработке стабилизирующих устройств: направление вдоль желаемой колеи; сохранение прямолинейности движения; коррекция движения агрегата по уклону; компенсация боковой составляющей силы веса агрегата.



Всем этим направлениям присущи следующие недостатки: стабилизация машин осуществляется путем переноса боковой составляющей силы веса с орудия на трактор; значительное увеличение тягового сопротивления; значительное ухудшение управляемости; невозможность их применения на серийных машинах без коренной переделки последних; отсутствие противоэрозионной направленности в конструкции машин; значительные сложности в применении предлагаемых устройств.

Эти особенности присущи и для кузовных разбрасывателей для поверхностного внесения удобрений. При движении разбрасывателя в горизонтальной плоскости поля удобрения, движущиеся по ленточному транспортеру, равномерно распределяются по ширине потока и загрузочного окна ротора.

Движение разбрасывателя в поперечном направлении склона, независимо от дорожного просвета, сопровождается смещением движущегося по транспортеру слоя груза в сторону наклона, происходит частичное сгруживание удобрений у стенки кузова, а дальнейшее его перемещение происходит не только по днищу, но и по стенке. Так, при угле наклона борта кузова —  $50^\circ$  и угле естественного откоса материала —  $34^\circ$ , истекание удобрений по борту будет происходить на склонах до  $6^\circ$ . Дальнейшее увеличение угла склона приведет, фактически, к образованию мертвой зоны. Это ведет к изменению координат центра питания, уменьшению поступающей дозы к загрузочному окну (до 34% на склонах  $6-13^\circ$ ) и повышенной неравномерности распределения удобрений по поверхности поля. Результаты исследований показали, что для сохранения агротехнических требований необходимо использовать стабилизатор бокового крена в условиях склонового земледелия.

Опытная установка (рисунок 4.25) по выравниванию пространственного положения разбрасывателя на склонах с датчиком маятникового типа состоит из маятника, гидрораспределителя и двух гидроцилиндров (рисунок П.12), соединенных с полуосями опорных колес.

Работает устройство следующим образом: При боковом наклоне кузова, на угол соответствующий углу склона, маятник, сохраняя вертикальное положение, смещает соответствующий золотник гидрораспределителя и включает гидросистему в работу. Гидроцилиндр нижнего по склону колеса, поворачивает коленчатую стойку полуоси с опорным колесом до тех пор, пока маятник не займет вертикальное положение и не передвинет золотник гидрораспределителя в нейтральное положение. Следовательно, при углах склона до  $15^\circ$ , определяющих характеристику склонового земледелия, кузов разбрасывателя всегда будет занимать горизонтальное положение, а ленточный транспортер обеспечит равномерную дозируемую подачу удобрения.

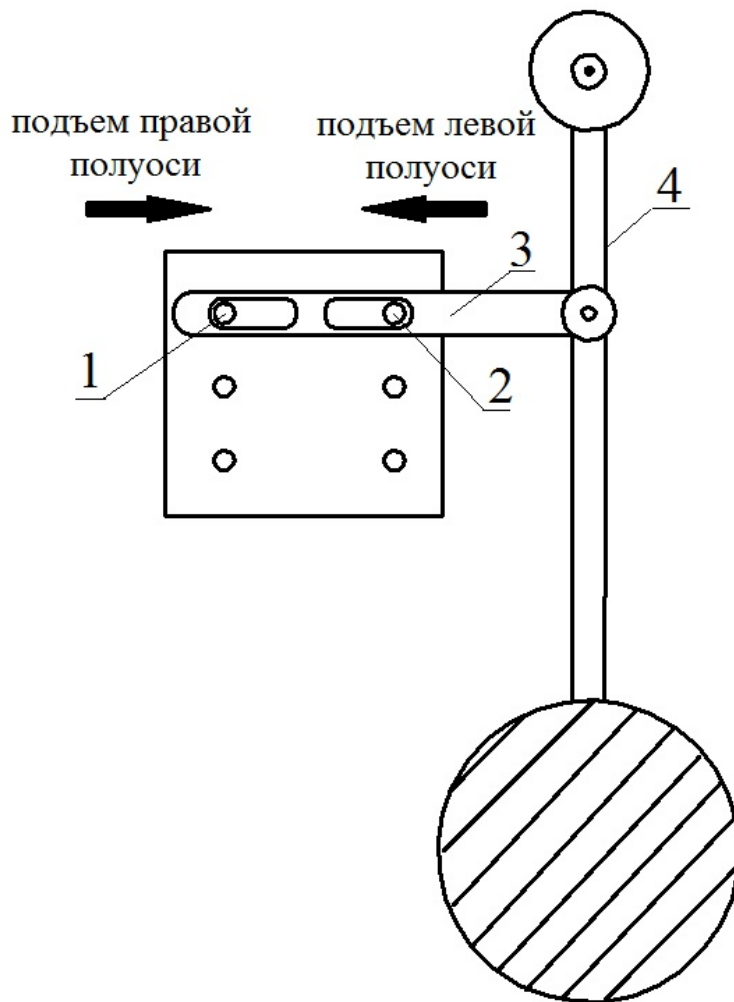


Рисунок 4.25 — Схема включения гидроцилиндров

где 1 — рычаг включения правого гидроцилиндра; 2 — рычаг включения левого гидроцилиндра; 3 — золотник гидрораспределителя с пазом; 4 — маятник.



Рисунок 4.25 — Опытный образец стабилизирующего устройства

где 1 — гидрораспределитель; 2 — трубопроводы; 3 — золотник гидрораспределителя; 4 — рычаг маятникового типа; 5 — груз.

Для испытания агрегата выделили типичный для зоны участок площадью, достаточной для выполнения работ с углами склона от 0 до 13°. Показатели работы машины на склонах сравнивали с контрольными заездами на горизонтальном участке.

Полевые испытания низкорамного разбрасывателя в агрегате с трактором МТЗ-82 проводили с целью выявления влияния угла склона на характеристику зоны внесения удобрений. Кроме того, рассматривали взаимодействие структуры и характера движения агрегата по склону, ходовой части, двигателя и др. на траекторию движения агрегата.

На начальном этапе угол наклона кузова измеряли с помощью уровня и устанавливали в горизонтальное положение. Затем поворачивали до положения угла склона и фиксировали его в соответствии с заранее оттарированной шкалой, находящейся под грузом маятника (рисунок 4.26). В результате угол выброса удобрения сохранялся равным 35°.

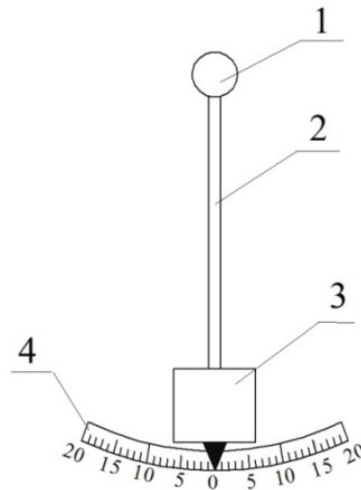


Рисунок 4.26 — Маятник со шкалой

где 1 — точка подвеса; 2 — маятник; 3 — груз; 4 — шкала.

В дальнейшем, с целью автоматического регулирования системы выравнивания, установили датчик маятникового типа с клапанно-золотниковым распределителем Р-75В2 [48] (рисунок 2.13). Учитывая рабочее давление срабатывания клапана ( $P=110 \text{ кг/см}^2$ ) и диаметр золотника ( $d=25,5\text{мм}$ ) сила для перемещения золотника составляет 243Н. Исходя из этих характеристик, по формуле (2.30) и рисунку 2.13 определили: вес маятника — 19.5 кг;  $l_1$  с учетом хода золотника — 0,15м;  $l_2 = 0,635 \text{ м}$ . При этом точку подвеса маятника желательно расположить на мгновенной оси поворота разбрасывателя.

Для выявления траектории полета и дальности вылета удобрений, испытания проводили на стационаре, с ранее исследованными формами лопаток. При опытах в движении, участок для испытания, после уборки зерновых культур, разбивали на учетные делянки, равные двукратной ширине захвата и контрольной длиной 200м. Для разгона агрегата оставляли участки длиной не более 20 м. Продолжительность повторности опыта фиксировалась секундомером.

Установлено, что данные регулировки незначительно изменили характер распределения удобрений. Так, выяснилось, при выбросе удобрений вверх по склону, без регулировки угла наклона выгрузного окна, разбрасыватель способен работать с приемлемой производительностью только на скло-

нах до  $8^\circ$ . При этом длина полосы рассева удобрений уменьшилась в среднем на 2 м. Тогда как при выбросе удобрений вниз по склону до  $12^\circ$ , дальность увеличилась на 0,8 - 1,1 м (рисунок 4.27).

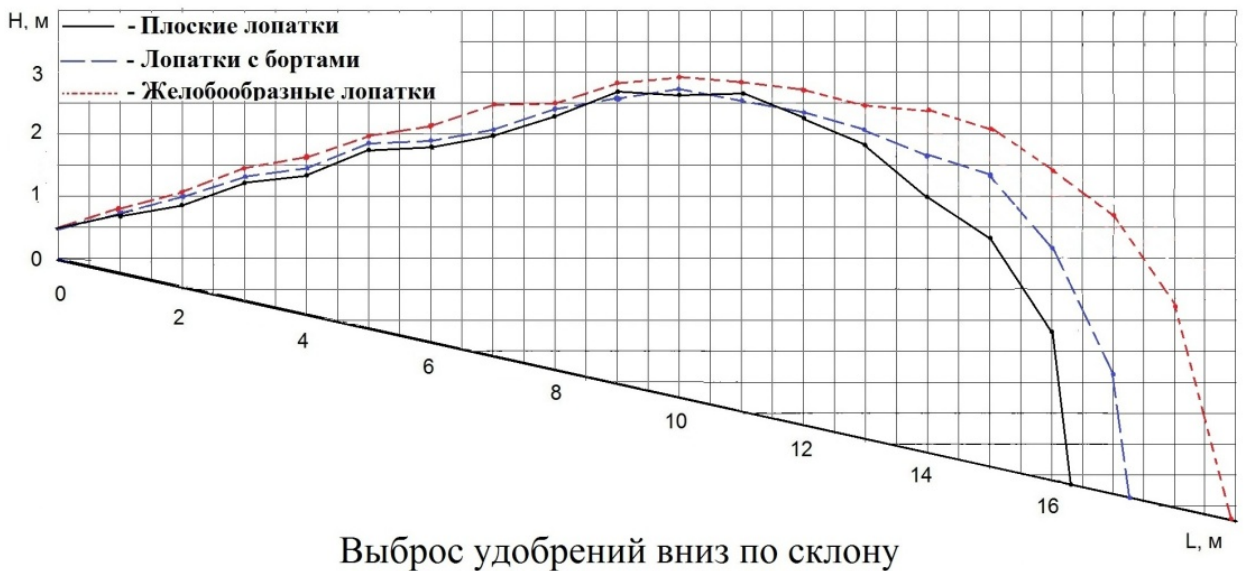
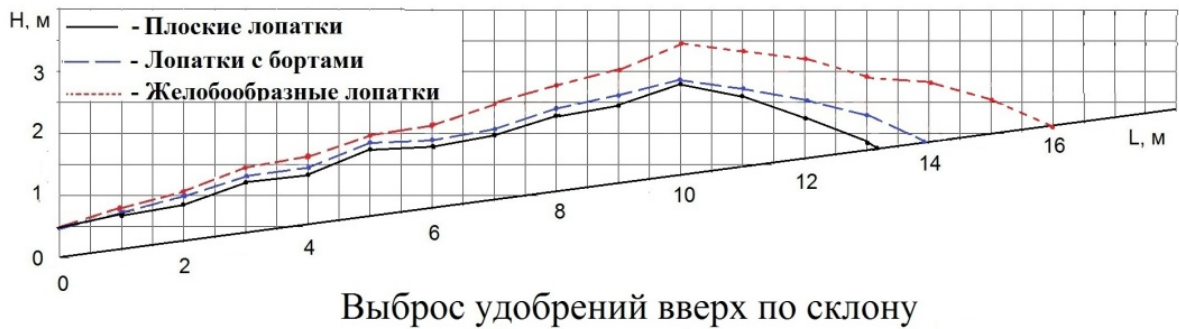


Рисунок 4.27 — Траектория полета удобрений при использовании стабилизирующего устройства

Наибольший эффект от применения датчика маятникового типа получен на склонах более  $3-4^\circ$ . В перспективе, для обеспечения наибольшей производительности при внесении удобрений вверх по склону, необходимо разработать устройство, позволяющее изменять положение угла установки выгрузного окна от  $35$  до  $50^\circ$ .

Качество работы разбрасывателя со стабилизатором в движении, проверяли на трех скоростных режимах: 2,78; 4,17; 5,55 м/с. Анализ полученных колебаний траектории агрегата относительно оси движения в зависимости от угла склона и скорости движения показывает, что с увеличением скорости

движения агрегата в стационарном случайном процессе коэффициент динамичности увеличивается, процесс принимает хаотический характер, преобладающие частоты выделяются меньше, кривые спектральных плоскостей снижаются [28, 114]. То есть независимо от крутизны склона повышение скорости движения сопровождается увеличением колебаний траектории движения агрегата, причем у разбрасывателя без стабилизатора несколько больше, чем с ним. Таким же образом влияет на траекторию движения агрегатов увеличение крутизны участка.

В связи с непригодностью навесной системы трактора для работы со стабилизирующими устройствами, данные по углу колебания рамы машин имеют большой разброс. Поэтому сделать объективный анализ не представляется возможным. Ориентировочно можно сказать, что среднее значение угла поворота рамы соответствует углу склона зачетного участка.

Проведенные опыты также показали, что с увеличением скорости движения разбрасывателя в рабочем положении кузова (приподнятом на 0,32 м) на склонах более  $4...5^\circ$  устойчивость его ухудшается. Это объясняется тем, что водитель практически не может обеспечить направление строго по прямой и при работе агрегат движется обычно по кривым разного радиуса. При этом на склоне к боковой составляющей силы веса прибавляется боковая сила инерции агрегата, которая увеличивается с повышением скорости движения. Все это способствует большему отклонению машины от заданной траектории и ухудшению качества выполняемой работы.

Таким же образом увеличение крутизны склона влияет на траекторию движения, тяговые характеристики и производительность агрегата (рисунок 4.27). Максимальную производительность в силу наибольшей рабочей ширины внесения, показывает разбрасыватель с желобообразными лопатками. При повышении угла склона производительность падает.

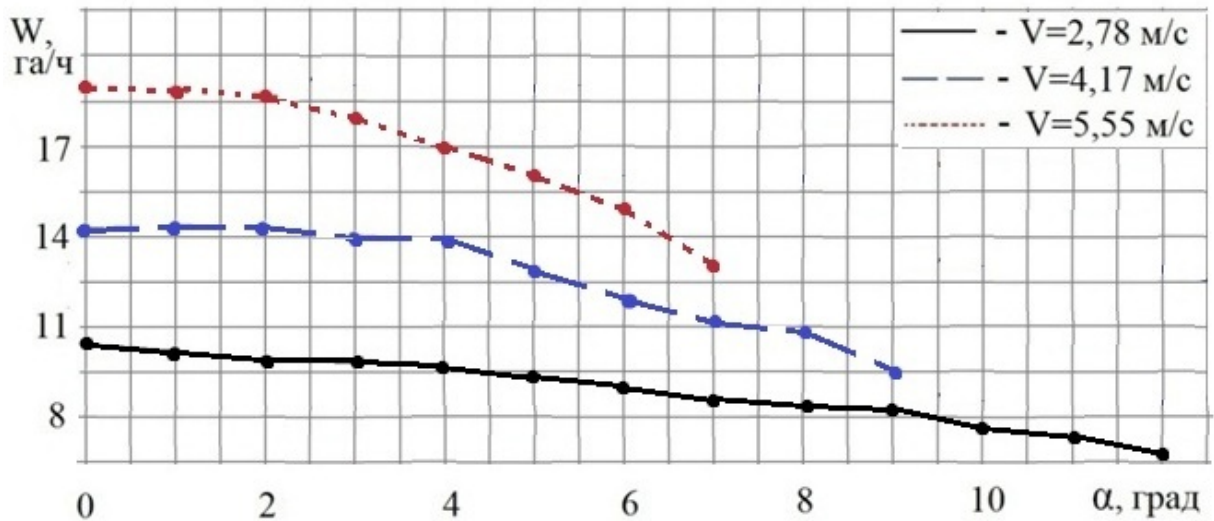


Рисунок 4.27 — Изменение производительности (W) разбрасывателя от угла склона ( $\alpha$ ) и скорости движения (V)

Проведенные исследования с кузовным низкорамным разбрасывателем, снабженным стабилизирующим устройством, указывают на целесообразность и эффективность его применения на склонах до  $12^\circ$  с универсальными тракторами типа «Беларусь», а на склонах большей крутизны — с тракторами крутосклонной модификации [111]. Кроме того, данное стабилизирующее устройство является универсальным и с небольшими конструктивными изменениями может быть успешно применено практически для всех прицепных сельскохозяйственных машин. Вопрос равномерного внесения удобрений на стыковых проходах агрегата возможно успешно решить с применением навигатора и GPS [58, 60].

### Выводы по разделу

1. Основным показателем физико-механических свойств используемых удобрений является гранулометрический состав.
2. В соответствии с теоретическими исследованиями формы лопатки и угла ее установки подтверждена эффективность использования желобообразной лопатки с углом установки вперед на  $12^\circ$ . Данная конфигурация обес-

печивает наименьший процент дробления — 5% и наибольшую скорость вылета частицы (42 м/с).

3. По результатам полевых опытов установлено преимущество использования разбрасывателя с желобообразными лопатками и дефлектором параболической формы. Данные параметры позволяют соблюсти требуемый коэффициент вариации — 10%, при этом способствуют уменьшению вертикального веерного распределения, уплотнению выбрасываемого потока и снижению пиковых точек траектории полета частиц удобрения до 2,8 м, не уменьшая при этом рабочую ширину разбрасывателя — 18 м.

4. Разработанный и испытанный стабилизатор бокового крена показал уместное его использование на склонах до 12° в агрегате с тракторами общего назначения.



## 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АГРЕГАТА НА ВНЕСЕ- НИИ ГОТОВЫХ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Экономическая оценка агрегата в работе была проведена по методике [27, 67], на полях ИП Глава КФХ Плешевцева А.А., в ценах, сформированных на период 2015 — 2016 г. Для сравнения использовали машину завода ОАО «Башсельмаш» — МВУ-5, которая по принципу работы, металлоемкости и объему кузова совпадает с опытной низкорамной машиной.

Таблица 5.1 — Исходные данные, необходимые для определения экономической эффективности

Показатель	МВУ-5	Низкорамный разбрасыватель
Загрузка машины на внесении ОМУ, ч/год.	650	650
Стоимость машины, руб.	467 000	485 000
Марка и тяговый класс трактора	МТЗ-82 (1.4)	
Стоимость трактора, руб.	1 200 000	
Производительность разбрасывателя, га/ч.	13	19,28
Расход топлива, кг/га.	3,6	3,24
Количество обслуживающего персонала, чел.	1	1

Исходя из данных завода «Башсельмаш», стоимость разбрасывателя МВУ-5 на 2016 г. составляет 467 000 руб. По металлоемкости, узлам и деталям опытная и базовая машины схожи, но в низкорамном разбрасывателе дополнительные затраты приходится на покупку и монтаж двух гидроцилинд-

ров, коленчатой оси и стабилизирующего устройства. Исходя из этого, стоимость опытного образца составила 485 000 руб. В качестве энергетического средства принимаем трактор МТЗ-82, тягового класса 1.4, стоимость которого на 2016 г. составила 1 200 000 руб.

Производительность за 1 час сменного времени определяли по формуле

$$W_{\text{см}} = 0.1 \cdot B_p \cdot V_h \cdot \tau, \quad (5.1)$$

где  $B_p$  — ширина захвата разбрасывателя, м;

$V_p$  — скорость движения агрегата, км/ч;

$\tau$  — коэффициент использования времени смены равный 0,5...0,65 [134].

Затраты мощности на привод рабочих органов МВУ-5 составляют 21,7 кВт [116]. В результате эксперимента выяснилось что затраты мощности на привод низкорамного разбрасывателя составляют 29 кВт.

Следуя алгоритму, изложенному в методике определения экономической эффективности, определим прямые эксплуатационные затраты (руб./га.) по формуле

$$И = З + Г + Р + А + Ф, \quad (5.2)$$

где  $З$  — затраты на оплату труда персонала, руб/га;

$Г$  — затраты на ГСМ, руб/га;

$А$  — затраты на амортизацию, руб/га;

$Ф$  — прочие затраты, руб.

Определив затраты на оплату труда персонала,  $З$  (руб/га) рассчитывается

$$З = \frac{1}{W_{\text{см}}} \cdot Л \cdot \tau_{\text{оп}} \cdot k_{\text{э}}, \quad (5.3)$$

где  $Л$  — количество персонала данного разряда, чел;

$k$  — коэффициент начислений на заработную плату, руб;

$\tau_{\text{оп}}$  — оплата труда обслуживающего персонала, в нашем случае сменная ставка тракториста 5 разряда — 426 руб., а часовая — 60,91 руб.

Затраты на ГСМ определили по формуле

$$\Gamma = q_{\text{га}} \cdot Ц_{\text{т}}, \quad (5.4)$$

где  $Ц_{\text{т}}$  — цена за 1 кг топлива в комплексе со смазочными материалами.

Средняя цена дизельного топлива на 2016 г. в Российской Федерации составляет 34,59 руб/кг, значит комплексная цена будет равна 38,04 руб/кг.

Затраты средств на ТО и ремонт определили по формуле

$$P = \frac{B \cdot r_p}{W_{\text{см}} \cdot T_3}; \quad (5.5)$$

где  $r_p$  — коэффициент отчислений на ТО и ремонт равный 0,11 [15];

$B$  — стоимость машины, руб;

$T_3$  — годовая загрузка машины, ч.

Затраты на амортизацию находим по формуле:

$$A = \frac{B \cdot a}{W_{\text{см}} \cdot T_3}, \quad (5.6)$$

где  $a$  — процент отчислений на амортизацию равный 0,167 [131];

Подставляя найденные значения в формулу 5.2 получаем:

Прямые эксплуатационные затраты для базовой машины составили 55,49 руб/га., а для экспериментальной — 46,34 руб/га.

Необходимо так же определить затраты труда на внесение органоминеральных удобрений (чел.ч/га):

$$Z_{\text{т}} = \frac{L}{W_{\text{см}}}, \quad (5.7)$$

Затраты труда для базовой машины составляют — 0,076 чел.ч/га., что значительно превышает данный показатель, полученный для экспериментальной машины — 0,051 чел.ч/га.

Капитальные вложения по машине рассчитали по формуле

$$K = \frac{B}{W_{\text{см}} \cdot T_3}, \quad (5.8)$$

Годовой экономический эффект определяли по формуле

$$\text{Эг} = \text{В}_3 \cdot (\text{П}_6 - \text{П}_3 + \text{Э}), \quad (5.9)$$

где Э — экономический эффект от качества продукции руб/га,

$\text{В}_3$  — годовая наработка новой машины, руб.

$\text{П}_6$  и  $\text{П}_3$  — приведенные затраты по базовой и экспериментальной машине, руб/га, определяются по формуле:

$$\text{П} = \text{И} + \text{КЕ}, \quad (5.10)$$

где Е — нормативный коэффициент капиталовложений, равный 0,15.

Имеем

$$\text{П}_6 = 63,78 \text{ руб/га},$$

$$\text{П}_3 = 52,15 \text{ руб/га}.$$

Подставляя полученные значения в формулу 5.9, получаем годовой экономический эффект, равный 145 747 руб.

Для того чтобы наглядно показать эффективность, снизить затраты труда и денежных средств при использовании низкорамной машины для внесения гранулированных органо-минеральных удобрений, основные показатели экономической эффективности представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 — Показатели экономической эффективности.

Показатели	Значения		Экономия, %
	МВУ-5	Опытный раз- брасыватель	
Затраты на амортизацию, руб/га;	9,23	6,47	30
Затраты на ГСМ, руб/га;	29,97	28,53	4
Затраты на ТО и ремонт, руб/га;	6,07	4,25	30
Затраты на оплату труда, руб/га;	10,52	7,09	33
Капиталовложения, руб/га;	55,26	38,7	30
Приведенные затраты, руб/га;	63,78	52,15	18
Годовой экономический эффект, руб	145 747		

### **Выводы по разделу**

1. Экономическая оценка работы экспериментального разбрасывателя на внесении органо-минеральных удобрений показала преимущество его в производительности на 33%, перед аналогичной серийной машиной.

2. Годовой экономический эффект от применения опытного низкорамного разбрасывателя составил 145 747 руб.

На основании теоретических и экспериментальных исследований сделали следующие выводы и рекомендации к производству.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При внесении гранулированных органо-минеральных удобрений целесообразно применение кузовного низкорамного разбрасывателя с пневмомеханическими рабочими органами на горизонтальной оси вращения.

2. На основании теоретических исследований и экспериментальной проверки установлены следующие параметры разбрасывателя: радиус ротора — 400 мм; частота вращения ротора — 800 мин<sup>-1</sup>; геометрические размеры лопаток — 200 x 400 мм; угол установки лопаток — 12°; форма лопаток — желобообразная; количество лопаток — 5 шт; угол наклона выгрузного окна ротора к горизонту — 35°.

3. Устойчивое транспортирование частиц удобрения, исключение вертикального веерного распределения и увеличение плотности потока выбрасываемых удобрений достигается установкой дефлектора параболической формы, длиной 565 мм.

4. Экспериментальная проверка разбрасывателя показала, что при подаче удобрений 5 кг/с. обеспечивается доза внесения от 300-2000 кг/га., при рабочей ширине внесения до 18м. Неравномерность распределения — 9,81% с возможным перекрытием смежных проходов до 1 м.

5. Производительность агрегата в зависимости от нормы внесения, регулируемая в основном скоростью движения агрегата, достигает 19,28 га/ч.

6. При использовании машины в условиях пересеченного рельефа местности, на склонах до 12°, необходима установка кузова в горизонтальное положение с использованием стабилизирующего устройства бокового крена.

7. Годовой экономический эффект от внедрения экспериментального разбрасывателя составил 145 747 руб.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Авторское свидетельство № 1505459 СССР, А 01 С 3/06. Рабочий орган устройства для внесения органических удобрений в почву / Катыхин Н. И., Бардышев В. А., Калабухов Н. И. (СССР). №4283284; заявл. 27.05.1987; опубл. 07.09.1989, Бюл. №33. - 2 с.
2. Авторское свидетельство № 1519566 СССР, А 01 D 43/08. Выгрузной трубопровод сельскохозяйственной уборочной машины / Глебов В. Д., Иванова В. М. №4274049; заявл. 01.07.1987; опубл. 07.11.1989, Бюл №41. - 3 с.
3. Авторское свидетельство № 1784619 СССР, А 01 С 05 В 15/00. Способ получения органоминеральных удобрений / Кабанов Ф. И., Кузнецова В. В., Щербакова Л. Н., Кодак Н. Л., Цеханская Ю. В., Павелко В. В., Куницкий В. Я., Федоров Н. Н., Кириченко Н. Д., Овчаренко М. М., Кондратенко А. Н., Бабайцев В. С. заявл. 03.03.1975; опубл. 25.02.1978; Бюл. №7. - 2с.
4. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова. М.: Наука, -1976. -276 с.
5. Александров Б. М. Взаимосвязь общетехнических свойств торфа в условиях естественного залегания / Б. М. Александров, А. Г. Шампаров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). -2014. -№6. -с. 48-55.
6. Артюшин А. М. Краткий справочник по удобрениям / А. М. Артюшин, Л. М. Державин // М.: Колос, -1971. -с. 185-190.
7. Афанасьев Р. А. Методические рекомендации по изучению эффективности нетрадиционных органических и органоминеральных удобрений / Р. А. Афанасьев, Г. Е. Мерзлая // - Москва. -1999. - 40 с.
8. Баранов А. А. К теории измельчающего аппарата кормоуборочных машин / А. А. Баранов, В. И. Особов // Техника в сельском хозяйстве. - №3 - М. -1998. - с. 13-17.
9. Батулин В. А. Обоснование параметров пневмосистемы машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений / В. А. Батулин,

Г. И. Личман // Сельскохозяйственные машины и технологии. -2011. - №6, с. 26-30.

10. Белоусов Е. Н. Повышение качества поверхностного внесения в почву твердых органических удобрений по двухфазной технологии: автореф. дис. канд. техн. наук / Белоусов Евгений Николаевич. – зерноград, 2008. - 19 с.

11. Белоусов С. В. Расчет основных параметров разбрасывателя сыпучих материалов / С. В. Белоусов, А. И. Лепшина // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. -Краснодар. - 2014. - №104. -с.1923-1939.

12. Блинков, Г. Н. Торфяники и их использование в сельском хозяйстве / Г. Н. Блинков. – Новосибирск. -1975. - 44 с.

13. Бровченко А. Д. Совершенствование технологии и конструкции рабочих органов для внесения твердых органических удобрений / А. Д. Бровченко // Совершенствование технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: Сборник научных трудов. -2003. - с. 103-106.

14. Буклагина Г. В. Технология и техническое средство для подготовки слежавшихся гранулированных минеральных удобрений: измельчители барабанного типа / Г. В. Буклагина // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. -2010. -№2. -с.488.

15. Вальков В. Ф. Почвоведение: Учебник для вузов / В. Ф Вальков, С. И. Колесников – Москва: ИКЦ «Март» , РнД, 2006 г., с 64-74.

16. Василенко В. В. Работа в поле и контроль качества распределения удобрений. Расчет рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин / В. В. Василенко // -Воронеж "Истоки" -2004. -с.163-166.

17. Василенко П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П. М. Василенко. -Киев.: Из-во, УАСХН, 1960. - с. 244-263.



18. Вихляев Н. Н. Справочник по торфу / Н. Н. Вихляев, А. С. Оленин, Д. И. Рунов, И. Х. Бергулов, О. Е. Фатчихина, К. И. Шишков. Гос. Издат. сельскохозяйственной литературы, -1960. -318 с.
19. Гольшев Д. С. Механизация внесения удобрений / Д. С. Гольшев, М. П. Другов, В. В. Рядных, Н. С. Кривауский. -Ленинград: Агропромиздат. -1985. -79с.
20. Горячкин В. П. Собрание сочинений, изд. 2-е. - Т.3 / В. П. Горячкин. - Москва - Колос. -1968. - 528 с.
21. ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний; введ. 2013-01-01. -М.: Стандартиформ, 2013. - 24с.
22. ГОСТ 21123-85. Торф. Термины и определения; введ. 1986-07-01. - М.: Изд-во стандартов, 1985. - 47с.
23. ГОСТ 21560.1-82. Удобрения минеральные. Метод определения гранулометрического состава; введ. 1983-01-01. - М.: Издательство стандартов, 2003. - 3с.
24. ГОСТ 24055-88. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. Общие положения; введ. 1988-03-30. -М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. - 15с.
25. ГОСТ 28714-90. Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытаний. введ. 1991-07-01 - М.: Стандартиформ, 2005. - 14с.
26. ГОСТ 51661.1-2000. Торф для приготовления компостов. Технические условия. введ. 1983-01-01. - М.: Издательство стандартов, 2000. - 3с.
27. ГОСТ 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки; введ. 2008-12-17. -М.: Стандартиформ, 2009. - 20 с.
28. Грищенко Н. В., Шварц А. А., Курсин В. И. Выбор оптимальных условий движения агрегата по склону / Н. В. Грищенко, А. А. Шварц, В. И. Курсин // НТБ ВИИЗиЗПЭ. - Курск, 1980. - вып. 1(24).

29. Губарев Е. А. К определению дальности полета удобрений и ширины захвата разбрасывателей / Е. А. Губарев. // Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. - 1977. - Вып. 26. - с.130-136.
30. Губарев Е. А. Работа центробежно-дискового аппарата на склоне / Е. А. Губарев // Тракторы и сельхозмашины. -1976, № 9, -с. 24-25.
31. Дорофеев В. Ф. Проблемы полегания пшеницы и пути ее решения / В. Ф. Дорофеев, В. И. Пономарев // Обзор литературы ВПИИТЭИСХ. -1970. - 124 с.
32. Дьячков А. П. Снижение энергетических затрат и неравномерности внесения твердых органических удобрений / А. П. Дьячков, А. Д. Бровченко, Н. П. Колесников // Техника в сельском хозяйстве. - №4. -2012. - с. 8-10.
33. Дьячков А. П. Результаты теоретических и экспериментальных исследований многолопастных рабочих органов роторного типа для распределения твердого навоза / А. П. Дьячков, В. П. Шацкий, А. Д. Бровченко, Н. П. Колесников // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. - №1-2. - 2014. - с. 80-86.
34. Елисеев А. Г. Обзор Российского рынка разбрасывателей минеральных и твердых органических удобрений / А. Г. Елисеев // Тракторы и сельхозмашины. - 2013. - №4. - с. 3-6.
35. Ефимов В. Н. Система удобрения: учебник / В. Н. Ефимов, И. Н. Донских, В. П. Царенко; -М.: Колос 2003. -320с.
36. Жежель Н. Г. Учебник для сельскохозяйственных техникумов. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Н. Г. Жежель, Н. И. Пантелеева. -Ленинград: Колос 1972. -с. 204-205.
37. Закутский С. М. Исследование работы тарельчатого и центробежного аппаратов для внесения минеральных удобрений / С. М. Закутский // Долговечность и надежность сельскохозяйственных машин. -1966. - с. 134 -139.
38. Зангиев А. А. Эксплуатация машинно-тракторного парка / А. А. Зангиев, А. В. Шпилько, А. Г. Левин. -М. Колос, 2008г. -320 с.

39. Исследование транспортеров навозоразбрасывателей на работоспособность. Материалы НТС / Варламов Г. П., Христин И. А., Борисова Г. В., Баунов Г. В. -М.: ВИСХОМ, 1969. -с. 235-240.

40. Каликинский А. А. Выше качество внесения минеральных удобрений и известковых материалов / А. А. Каликинский, С. М. Камасин // Рекомендации колхозам и совхозам. -1979. -12 с.

41. Карпов А. Т. Смеситель-погрузчик удобрений СПУ-40М / А. Т. Карпов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. -1962г. -№1. - с. 35-36.

42. Каталог продукции ОАО "Буйский химический завод". [Электронный ресурс] / Буйский химический завод, ОАО // Продукция для промышленности. Режим доступа: <https://bhz.kosnet.ru>.

43. Климова Е. А. Роль навоза в сохранении плодородия почвы / Е. А. Климова // Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал. - 2005. - №3. - с. 637.

44. Ковалев Н. Г. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства) / Н. Г. Ковалев, Г. А. Хайлис, М. М. Ковалев. - М.: ИК «Родник», журнал «Аграрная наука», -1998. - с. 208.

45. Корн Г. А. Справочник по математике/ Г. А. Корн, Т. Н. Корн. - М.: Наука. -1970. - 720 с.

46. Кочетков В. Н. Гранулирование минеральных удобрений /В. Н. Кочетков. -М.: "Химия", 1975. - 224 с.

47. Кругляков М. Л. Комплексная механизация применения удобрений: справочник / М. Л. Кругляков. - М.: Колос, 1972. - 256 с.

48. Ксенович И. П. Тракторы МТЗ-80 и МТЗ-82. 2-е издание, перер. и доп. / И. П. Ксенович. -М.: "Колос", 1984. - 254 с.

49. Кувшинников И. М. Минеральные удобрения и соли: Свойства и способы их улучшения / И. М. Кувшинников. -М.: Химия, 1987. - 256 с.

50. Кузнецов В. К. Вынос фосфора с сельскохозяйственных полей весенним поверхностным стоком / В. К. Кузнецов, Г. В. Назаров, Э. Э. Шерман // Водные ресурсы. -1981. -№5. - с. 158-162.

51. Кукибный А. А. Метательные машины / А. А. Кукибный. -М.: Машиностроение, 1964. -26 с.

52. Левченко Г. В. Состояние погрузки органических удобрений в сельском хозяйстве / Г. В. Левченко, С. А. Макаров, И. Ю. Тюрин, Ю. А. Дугин // Международный научно-исследовательский журнал. -2016. -№ 43. -ч. 3. -с. 15-17.

53. Лепшеев О. М. Обоснование конструктивно-режимных параметров низкорамной машины для внесения минеральных удобрений: дис. канд. техн. наук / Лепшеев Олег Михайлович -Курск. -1998. -216с.

54. Линник, Н. К. Исследование параметров рабочих органов роторных разбрасывателей органических удобрений. / Н. К. Линник // Состояние и перспективы развития машин для внесения минеральных и органических удобрений. -1969. -вып. 26. -с. 275-281.

55. Личман Г. И. Дифференцированное внесение комплексных удобрений / Г. И. Личман, В. А. Батурич, А. Н. Марченко // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. - 2011. - №3. - с. 185-191.

56. Лысенко А. Т. Факторы, влияющие на дробление гранулированных удобрений при высеве их разбрасывателями / А. Т.Лысенко, В. А. Михайленко // Вопросы механизации и электрификации сельскохозяйственного производства: Харьков, 1971. - Т.150. - с. 105 – 109.

57. Макаров В. А. Технические средства для внесения удобрений / В. А. Макаров, М. С. Кулешов, О. И. Журавлева // Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства. -2015. - №7. - с. 62-69.

58. Макаров В. А. Обоснование технологий адаптивного внесения удобрений для геоинформационной системы / В. А. Макаров, Н. И. Шестаков

// Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства. -2011. - №2011. - с. 3-7.

59. Мамченков, И. П. Компосты, их приготовление и применение / И. П. Мамченков. - М. : Сельхозиздат, 1962. - 80 с.

60. Марченко А. Н. Размещение приёмника ГЛОНАСС/GPS на агрегате / А. Н. Марченко, С. А. Белых, Г. И. Личман // Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2014. - №1. - с. 7-9.

61. Марченко Н. М. Комплексная механизация приготовления и внесения удобрений / Н. М. Марченко. -М.: Колос, 1974. - 400с.

62. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин. -Ленинград: Колос, 1980. -168с.

63. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. Рекомендации НТС МСХ СССР. -М.: ВНИИТЭИСХ. -1979. - с. 3- 9.

64. МИ 1317-2004 Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров / М. А. Земельман, В. Г. Цейтлин, В. М. Кашлаков, В. П. Кузнецов, Н. П. Миф, В. А. Брюханов, В. И. Гронский, И. М. Тронова. утвержд. 20.12.2004; зарег. 28.12.2004. - Москва. -2004. 50 с.

65. Минеев В. Г. Агрохимия: Учебник. - 2-е изд., перераб. и доп. / В.Г. Минеев - М.: Изд-во МГУ, «Колос». -2004. - 720 с.

66. Митков А. Л. Статистические методы в сельхозмашиностроении / А. Л. Митков, С. В. Кардашевский. -М. Машиностроение, 1978. - 360 с.

67. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. 2-е изд., перераб. и доп. / А. К. Митропольский -М. Физматиз, 1971. - 480 с.

68. Назаров С. И. Об обеспечении одинаковой подачи удобрений на два диска при работе разбрасывателя минеральных удобрений на неровных участках и склонах / С. И. Назаров, А. А. Докучаев // Сборник научных работ ЦНИИМЭСХ, 1976. -с. 74-83.

69. Назаров С. И. Экспериментально-теоретические основы механизации процесса сплошного внесения минеральных удобрений: автореф. дис. докт. техн. наук / Назаров Сергей Иванович. - Минск, 1970. - 48 с.

70. Назарюк В. М. Роль почвенных ресурсов, минерального питания и симбиотической азотфиксации в повышении продуктивности растений / В. М. Назарюк, О. П. Якутина, М. И. Кленова // Сельскохозяйственная биология. -2004. -№5. - с. 13-21.

77. Налимов В. В. Теория эксперимента / В. В. Налимов. -М.: Наука, 1976. -208 с.

72. Ничипорко Г. М. Из личного опыта. Советы профессионалов. Рекомендации к применению. Это важно и многое другое... [Электронный ресурс] / Г. М. Ничипорко, А. В. Коршунов // Официальный сайт ООО "Интеррос" - Режим доступа: <https://interros.by/ru/stati>.

73. Новоселова Н. Н. Технология приготовления торфо-навозных компостов / Н. Н. Новоселова, В. А. Коршунова // Совершенствование технологии и организации складской переработки средств химизации и агротехнического обслуживания колхозов и совхозов. - Киров, 1979. - с. 7-11.

74. Останин А. И. О равномерности внесения минеральных удобрений / А. И. Останин, Л. С. Злобина. // Агрохимия. - 1971. - № 3. - 45 с.

75. Павловский И. В. Основы проектирования машин для внесения удобрений в почву / И. П. Павловский. -М.: Машиностроение, 1965. - 120с.

76. Патент № 2102363 Российская Федерация, МПК С05F11/02, С05G1/02. Способ получения комплексного удобрения на основе торфа / Горячев В. И., Стрелец Е. В., Базыкин А. В. № 96103799/25; заявл. 27.02.1996; опубл. 20.01.1998. - 4с.

77. Патент № 2108995 Российская Федерация, МПК C05F7/00, C05G1/00. Способ получения органо-минерального удобрения / Соколова И. В., Щупляк А. А., Петрова Л. А., Иванова Р. Г., Гладков О. А., Риц В. А. № 97103008/13; заявл. 05.03.1997; опубл. 20.04.1998. - 4 с.

78. Патент № 2120724 Российская Федерация, МПК A01C 17/00. Рабочий орган разбрасывателя минеральных удобрений / Черноволов В. А., Волков В. И., Казачков И. А.; заявл. 12.05.1996; опубл. 27.10.1998. - 5 с.

79. Патент № 2444501 Российская Федерация, МПК C05F5/00, C05D11/00. Способ получения органо-минерального удобрения / Капустин М. А., Винокуров В. А., Оганесянц Л. А., Кобелев К. В., Филенко Д. Г., Дадашев М. Н. заявл. 05.07.2010, опубл. 10.03.2012. - 2 с.

80. Патент на полезную модель № 165224 Российская федерация, МПК A01C 17/00. Рабочий орган устройства для внесения твердых минеральных и органо-минеральных удобрений / Шварц А. А., Беседин Б. П., Колесников Е. Ю. заявл. 12.01.2016, опубл. 10.10.2016. - 3 с.

81. Патент на полезную модель № 166958 Российская федерация, МПК A01C 17/00. Двухбарабанный разбрасыватель минеральных удобрений / Шварц А. А., Беседин Б. П., Колесников Е. Ю. заявл. 17.02.2016, опубл. 20.12.2016 - 4 с.

82. Патент на полезную модель № 166959 Российская федерация, МПК A01C 15/00. Рабочий орган устройства для внесения твердых минеральных и органо-минеральных удобрений / Шварц А. А., Беседин Б. П., Колесников Е. Ю. заявл. 09.12.2015, опубл. 20.12.2016 - 4 с.

83. Пичугин А. В. Торфяные месторождения и их разведка / А. В. Пичугин, В. М. Платон. -М.: Гос. энерг. изд-во, 1951. - 496 с.

84. Потапов Г. П. Исследование процесса рассева и обоснование параметров центробежного аппарата разбрасывателя минеральных удобрений: автореф. дис. канд. техн. наук 05.20.01. / Потапов Геннадий Петрович. - Москва, 1963. -24 с.

85. Привалов И. И. Аналитическая геометрия. Издание тридцатое стереотипное / И. И. Привалов. -М.: Наука, 1966. - 272с.

86. Протокол №12763. Испытания разбрасывателя минеральных удобрений 1РМГ-4. ЦМИС. Солнечногорск, 1970. -8 с.

87. Репетов А. Н. Низкорамный разбрасыватель минеральных удобрений / А. Н. Репетов // Картофель и овощи. -1976. - №4. -с. 15-18.

88. Репетов А. Н. Машина для внесения минеральных удобрений / А. Н. Репетов, О. М. Лепшеев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1996. -№11. -с. 8-9.

89. Репетов А. Н. Низкорамная машина для внесения минеральных удобрений / А. Н. Репетов, О. М. Лепшеев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. -1997. -№8. -с.10-11.

90. Репетов А. Н. Совершенствование механизации внесения минеральных удобрений / А. Н. Репетов, О. М. Лепшеев // Кукуруза и сорго. - 1997. -№6. -с. 16-18.

91. Репетов А. Н. Машины для внесения минеральных удобрений / А. Н. Репетов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. -1997. -№8. -с. 10-11.

92. Розанов Н. С. Использование торфа в сельском хозяйстве / Н.С. Розанов. -Москва., Знание, 1957. - 32 с.

93. Ручнев, М. С. Комплексная механизация внесения удобрений / М. С. Ручнев, Е. А. Губарев, В. И. Вялков. -М.: Россельхозиздат, 1986. - 191 с.

94. Рядных В. В. Исследование рабочего процесса роторного разбрасывающего механизма к машинам по внесению минеральных и известковых материалов: автореф. дис. канд. техн. наук 05.20.01. / В. В. Рядных. -Л., 1966. - 19 с.

95. Сендряков И. Ф. Физико-механические свойства удобрений, предназначенных для приготовления тукосмесей / И. Ф. Сендряков, Б. А. Гловацкий // Химия в сельском хозяйстве. -1976. -№ 11. - 26 с.



96. Сибикин Ю. Д. Технология энергосбережения: учебник. - 2-е изд, перераб. и доп. / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. -М.: Форум, 2010. - 352с.

97. Скользаев В. А. Движение удобрений в центробежно-дисковом аппарате при работе разбрасывателя на склонах / В. А. Скользаев, Е. А. Губарев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. -1976. -№5. -с. 11-13.

98. Смирнов П. М. Агрохимия. 2-е изд. перераб. и доп. / П. М. Смирнов, Э. А. Муравин: - М.: Колос, 1984. -с. 206-238.

99. Современное развитие научных идей Д. Н. Прянишникова / Сборник научных трудов института почвоведения и фотосинтеза АН СССР. - М.: Наука, 1991. - 280 с.

100. Соколов А. А. Торфонавозный компост как основа повышения урожайности / А. А. Соколов // Теоретические и прикладные проблемы науки и образования в 21 веке. Сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции. - 2004. -с. 137-138.

101. Степанова Т. А. Анализ и оптимизация выращивания КРС на предприятиях России / Т. А. Степанова, А. В. Ануфриева, Е. А. Ключникова // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. -2014. - №12. - с. 42-44.

102. Степук Л. Я. Сравнительная оценка отечественных и зарубежных разбрасывателей твердых минеральных удобрений (грузоподъемность и масса) / Л. Я. Степук, А. А. Жешко, С. А. Антошук // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. - Минск, 2009. -Т.1. -с. 81-88.

103. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики / С. М. Тарг. - М.: "Высшая школа", 1986. - 416 с.

104. Турбин, Б. Г. Вентиляторы сельскохозяйственных машин: теория и технологический расчет / Б. Г. Турбин. - Л. : Машиностроение, 1968. -159 с.

105. Тыльный С. А. Теоретическое и экспериментальное исследование работы центробежных метательных аппаратов минеральных удобрений с

вертикальной осью вращения: автореф. дис. канд. техн. наук 05.20.01. / С. А. Тыльный. -М., 1970. -22 с.

106. Ужахов Т. М. Моделирование работы центробежных аппаратов для внесения минеральных удобрений на склонах / Т. М. Ужахов // Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения И. И.Смирнова. - 2004. - с. 126-127.

107. Хабиров А. Х. Центробежный разбрасыватель удобрений с рабочим органом закрытого типа / А. Х. Хабиров, М. П. Сергеев, Г. Х. Амильсаков // труды ЧИМЭСХ. -1965. -вып. 25.

108. Хоменко М. С. Исследование технологического процесса рассева минеральных удобрений центробежными аппаратами / М. С. Хоменко // Тракторы и сельхозмашины. -1960. -№9. - с. 21-33.

109. Черноволов В. А. Исследование процесса распределения минеральных удобрений центробежными дисковыми аппаратами: автореф. дис. канд. техн. наук. 05.20.01. / Черноволов Василий Александрович - Воронеж, 1968. - 25 с.

110. Шварц А. А. Аналитическое исследование движения удобрений по дефлектору разбрасывателя сыпучих минеральных и органо-минеральных удобрений / А. А. Шварц, Б. П. Беседин // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - №7. -2016. - с. 66-69.

111. Шварц А. А. Стабилизация пространственного положения кузовного низкорамного разбрасывателя удобрений / А. А. Шварц, Б. П. Беседин // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - №7. -2016г. - с. 73-76.

112. Шварц А. А. Конструктивные особенности и результаты работы разбрасывателя органо-минеральных удобрений / А. А. Шварц, Б. П. Беседин, Е. Ю. Колесников // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - №7. -2015. -с. 186-188.

113. Шварц А. А. Обоснование конструктивно-режимных параметров рабочего органа низкорамного разбрасывателя удобрений / А. А. Шварц, Б.

П. Беседин, Е. Ю. Колесников // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. -№3. -2015г. -с. 203-207.

114. Шварц А.А. Повышение эффективности механизированной обработки почвы в условиях склонового земледелия Центрального Черноземья: дис. док. с-х. наук / Шварц Анатолий Адольфович -Курск. -2007. -400с.

115. Шестаков Н. И. Обоснование коэффициента трения минеральных удобрений при движении по поверхности бункера / Н. И. Шестаков, В. А. Макаров // Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства. -2011. -№ 2011. -с. 8-11.

116. Шестаков Н. И. Рациональная технология внесения удобрений / Н. И. Шестаков, В. А. Макаров // Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства. -2013. - №2013(4). - с. 246-250.

117. Юдин М. И. Планирование эксперимента и обработка его результатов / М.И. Юдин. - Краснодар: КГАУ, 2004. - 239 с.

118. Якимов Ю. И. Экспериментальные, исследования распределения удобрений центробежными аппаратами / Ю. И. Якимов, С. И. Волосников // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1967. -№ 12. -с. 27-28.

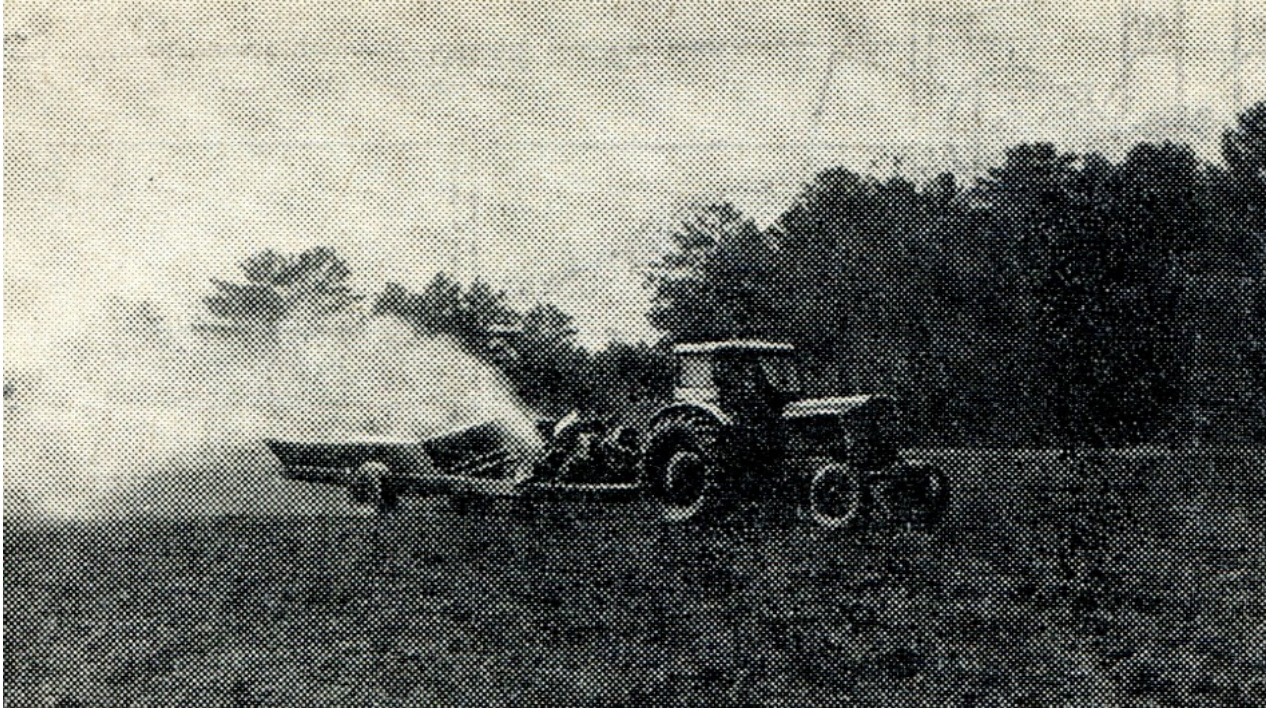
119. Якимов Ю. И. Влияние микрорельефа поля на процесс рассева минеральных удобрений машинами с центробежными рабочими органами / Ю. И. Якимов // Сборник научных трудов Кубанский СХИ. -1987. - Вып. 272. - с. 28-38.

120. Якубаускас В. И. Технические основы механизированного внесения удобрений / В. И. Якубаускас. -М.: Колос, 1970. -с. 38-50.

121. Rohde M., Matzold Q. Zur Ausnutzuyng der Zeitfonds beim Mashineinsatz in Der Pflazenproduction / M. Rohde, Q. Matzold. - Agrotechnik, 1976. -№8. - p. 362-363.

122. Krupp G. Beitrag zur Vorfusschatzung des erforderlichen Traktorenbestands fur Bodenbearbeitung und Bestellung / G. Krupp - Agrartechnik, 1976. -№3. -p. 126-127.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**



Пример вертикального веерного распределения частиц удобрений



Погрузка удобрений в разбрасыватель



Рабочий орган с плоскими лопатками



Рабочий орган с лопатками с бортами



Рабочий орган с желобобразными лопатками



Предварительные эксперименты



Определение наиболее существенных факторов

x1	x2	x3	x4=x1*x2	x5=x1*x3	x6=x2*x3	x7=x1*x2*x3	y1	y2	y3	уср	(уср-y1)²	(уср-y2)²	(уср-y3)²	Se	S²	S²/2	
-1	-1	-1	1	1	1	-1	16,1	16,4	17,9	16,8	0,49	0,16	1,21	14,04	0,2925	0,03656	
1	-1	-1	-1	-1	1	1	19,1	20,8	19,5	19,8	0,49	1	0,09				
-1	1	-1	-1	1	-1	1	17,6	16,2	17,8	17,2	0,16	1	0,36				
1	1	-1	-1	-1	-1	-1	19,8	21,5	21,6	21	1,44	0,25	0,36				
-1	-1	1	1	-1	-1	1	16,2	15,2	16	15,8	0,16	0,36	0,04	0,19121	2,11991	0,40535	
1	-1	1	-1	1	-1	-1	16,7	17,8	18	17,5	0,64	0,09	0,25				
-1	1	1	-1	-1	1	-1	17,2	17	14,9	16,8	0,16	0,04	3,61				
1	1	1	1	1	1	1	18	19,8	18,6	18,8	0,64	1	0,04				
										4,18	3,9	5,96					
<b>Вывод итогов</b>																	
<b>Бессоновская статистика</b>																	
Числеств	1																
R-квадрат	1																
Нормиров	65535																
Стандарт	0																
Наблюден	8																
<b>Дисперсионный анализ</b>																	
	df	SS	MS	F	Значимость F												
Регрессия	7	21,4788	3,06839	#ЧИСЛО1	#ЧИСЛО1												
Остаток	0	0	65535														
Итого	7	21,4788															
<b>Коэффициенты, стандартная ошибка, значения 95%, Верхние 95%, Нижние 95%, Средние 95,0%</b>																	
У-пересе	17,9625	0	65535	#ЧИСЛО1	17,9625	17,9625	17,9625	17,9625	17,9625	17,9625	17,9625	17,9625	17,9625				
Перемена	1,3125	0	65535	#ЧИСЛО1	1,3125	1,3125	1,3125	1,3125	1,3125	1,3125	1,3125	1,3125	1,3125				
Перемена	0,4875	0	65535	#ЧИСЛО1	0,4875	0,4875	0,4875	0,4875	0,4875	0,4875	0,4875	0,4875	0,4875				
Перемена	-0,7375	0	65535	#ЧИСЛО1	-0,7375	-0,7375	-0,7375	-0,7375	-0,7375	-0,7375	-0,7375	-0,7375	-0,7375				
Перемена	0,1375	0	65535	#ЧИСЛО1	0,1375	0,1375	0,1375	0,1375	0,1375	0,1375	0,1375	0,1375	0,1375				
Перемена	-0,3875	0	65535	#ЧИСЛО1	-0,3875	-0,3875	-0,3875	-0,3875	-0,3875	-0,3875	-0,3875	-0,3875	-0,3875				
Перемена	0,0875	0	65535	#ЧИСЛО1	0,0875	0,0875	0,0875	0,0875	0,0875	0,0875	0,0875	0,0875	0,0875				
Перемена	-0,0625	0	65535	#ЧИСЛО1	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625	-0,0625				



Проверка адекватности и приведение к реальным величинам регрессионной модели

1,18	0,14	-0,39	-1,57031		-0,95				
0,14	0,72	0			-0,53				
-0,39	0	-1,76			0,53				
						реал велич			
-0,95	0,14	-0,39	1,222072	<b>-0,77824</b>	772,1765				
-0,53	0,72	0							
0,53	0	-1,76							
1,18	-0,95	-0,39	0,918299	<b>-0,58479</b>	0,401521				
0,14	-0,53	0							
-0,39	0,53	-1,76							
1,18	0,14	-0,95	0,202078	<b>-0,12869</b>	48,71313				
0,14	0,72	-0,53							
-0,39	0	0,53							

Таблица П.4

Расчет поверхностей при поочередном фиксировании одного фактора на 0

		у <sub>1</sub>	x <sub>1</sub> →										
x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	x <sub>2</sub> ↓		-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
	-1	17,57	17,5196	17,5164	17,5604	17,6516	17,79	17,9756	18,2084	18,4884	18,8156	19,19	
	-0,8	17,5184	17,4736	17,476	17,5256	17,6224	17,7664	17,9576	18,196	18,4816	18,8144	19,1944	
	-0,6	17,4956	17,4564	17,4644	17,5196	17,622	17,7716	17,9684	18,2124	18,5036	18,842	19,2276	
	-0,4	17,5016	17,468	17,4816	17,5424	17,6504	17,8056	18,008	18,2576	18,5544	18,8984	19,2896	
	-0,2	17,5364	17,5084	17,5276	17,594	17,7076	17,8684	18,0764	18,3316	18,634	18,9836	19,3804	
	0	17,6	17,5776	17,6024	17,6744	17,7936	17,96	18,1736	18,4344	18,7424	19,0976	19,5	
	0,2	17,6924	17,6756	17,706	17,7836	17,9084	18,0804	18,2996	18,566	18,8796	19,2404	19,6484	
	0,4	17,8136	17,8024	17,8384	17,9216	18,052	18,2296	18,4544	18,7264	19,0456	19,412	19,8256	
	0,6	17,9636	17,958	17,9996	18,0884	18,2244	18,4076	18,638	18,9156	19,2404	19,6124	20,0316	
	0,8	18,1424	18,1424	18,1896	18,284	18,4256	18,6144	18,8504	19,1336	19,464	19,8416	20,2664	
	1	18,35	18,3556	18,4084	18,5084	18,6556	18,85	19,0916	19,3804	19,7164	20,0996	20,53	

		у <sub>1</sub>	x <sub>1</sub> →										
x <sub>1</sub> x <sub>3</sub>	x <sub>3</sub> ↓		-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
	-1	16,86	16,9156	17,0184	17,1684	17,3656	17,61	17,9016	18,2404	18,6264	19,0596	19,54	
	-0,8	17,1488	17,1888	17,276	17,4104	17,592	17,8208	18,0968	18,42	18,7904	19,208	19,6728	
	-0,6	17,3672	17,3916	17,4632	17,582	17,748	17,9612	18,2216	18,5292	18,884	19,286	19,7352	
	-0,4	17,5152	17,524	17,58	17,6832	17,8336	18,0312	18,276	18,568	18,9072	19,2936	19,7272	
	-0,2	17,5928	17,586	17,6264	17,714	17,8488	18,0308	18,26	18,5364	18,86	19,2308	19,6488	
	0	17,6	17,5776	17,6024	17,6744	17,7936	17,96	18,1736	18,4344	18,7424	19,0976	19,5	
	0,2	17,5368	17,4988	17,508	17,5644	17,668	17,8188	18,0168	18,262	18,5544	18,894	19,2808	
	0,4	17,4032	17,3496	17,3432	17,384	17,472	17,6072	17,7896	18,0192	18,296	18,62	18,9912	
	0,6	17,1992	17,13	17,108	17,1332	17,2056	17,3252	17,492	17,706	17,9672	18,2756	18,6312	
	0,8	16,9248	16,84	16,8024	16,812	16,8688	16,9728	17,124	17,3224	17,568	17,8608	18,2008	
	1	16,58	16,4796	16,4264	16,4204	16,4616	16,55	16,6856	16,8684	17,0984	17,3756	17,7	

		у <sub>1</sub>	x <sub>2</sub> →										
x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	x <sub>3</sub> ↓		-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
	-1	17,44	17,4164	17,4216	17,4556	17,5184	17,61	17,7304	17,8796	18,0576	18,2644	18,5	
	-0,8	17,6508	17,6272	17,6324	17,6664	17,7292	17,8208	17,9412	18,0904	18,2684	18,4752	18,7108	
	-0,6	17,7912	17,7676	17,7728	17,8068	17,8696	17,9612	18,0816	18,2308	18,4088	18,6156	18,8512	
	-0,4	17,8612	17,8376	17,8428	17,8768	17,9396	18,0312	18,1516	18,3008	18,4788	18,6856	18,9212	
	-0,2	17,8608	17,8372	17,8424	17,8764	17,9392	18,0308	18,1512	18,3004	18,4784	18,6852	18,9208	
	0	17,79	17,7664	17,7716	17,8056	17,8684	17,96	18,0804	18,2296	18,4076	18,6144	18,85	
	0,2	17,6488	17,6252	17,6304	17,6644	17,7272	17,8188	17,9392	18,0884	18,2664	18,4732	18,7088	
	0,4	17,4372	17,4136	17,4188	17,4528	17,5156	17,6072	17,7276	17,8768	18,0548	18,2616	18,4972	
	0,6	17,1552	17,1316	17,1368	17,1708	17,2336	17,3252	17,4456	17,5948	17,7728	17,9796	18,2152	
	0,8	16,8028	16,7792	16,7844	16,8184	16,8812	16,9728	17,0932	17,2424	17,4204	17,6272	17,8628	
	1	16,38	16,3564	16,3616	16,3956	16,4584	16,55	16,6704	16,8196	16,9976	17,2044	17,44	



Прибор для определения угла трения удобрений

```

unit Unit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics,
  Controls, Forms, Dialogs, ExtCtrls, StdCtrls, Math;

type
  TForm1 = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    Image1: TImage;
    Button2: TButton;
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    Edit3: TEdit;
    Edit4: TEdit;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label9: TLabel;
    Label10: TLabel;
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form1: TForm1;
  V0, A, S, H, L: real;
  Const
    G=9.81;
    Pi=3.14;
implementation
  {$R *.dfm}

  procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
  var
    x, y, n: integer; координаты x и y, счетчик
    t: real; время
  begin
    V0:=StrToFloat(Edit1.Text);
    A:=StrToFloat(Edit2.Text); преобразуем соответственно
    S:=StrToFloat(Edit3.Text);
    H:=StrToFloat(Edit4.Text);
    L:=S*Tan(A*Pi/180)-G*Sqr(S)/(2*Sqr(v0*Cos(A*Pi/180)));

    Label9.Caption:=FloatToStr(L);
    if L<0 then
      Label9.Caption:='Недолет'
    else if L>H then
      Label9.Caption:='Перелет'
    else
      Label9.Caption:='Попадание';
    with Image1.Canvas do
      begin
        while T<5 Do рисование траектории
          begin
            T:=T+0.005;
            Y:=180-Round(10*(V0*Sin(A*Pi/180)*T-G*T*T/2));
            X:=5+Round(10*(V0*Cos(A*Pi/180)*T));
            Pixels[X, Y]:=clBlack;
          end;
          MoveTo(0, 180); ось x
          LineTo(400, 180);
          MoveTo(5, 0); ось y
          LineTo(5, 400);

          MoveTo(Round(5+10*S), Round(180)); стенка
          LineTo(Round(5+10*S), 180-Round(10*H));
          N:=0;
          while N<400 do шкала оси x
            begin
              N:=N+50;
              MoveTo(5+N, 180);
              LineTo(5+N, 200);
              TextOut(7+N, 180, IntToStr(Round(N/10)));
            end;
          N:=0;
          while N<200 do шкала оси y
            begin
              N:=N+50;
              MoveTo(0, 180-N);
              LineTo(10, 180-N);
              TextOut(0, 180-N, IntToStr(Round(N/10)));
            end;
          end;
        end;
      end.
  end.

```

Программа на языке программирования Delphi для расчета траектории полета частицы удобрения

Расчет доз и неравномерности внесения удобрений при работе без  
дефлектора

Масса удобрений по противням при работе с плоскими лопатками, г																	
11,55	11,72	11,88	12,05	12,38	12,38	12,71	12,87	13,04	13,20	13,37	13,20	13,04	12,87	12,38			
12,21	12,38	12,54	12,71	12,87	13,04	13,20	13,37	13,53	13,70	13,86	13,70	13,53	13,37	12,87			
13,37	13,53	13,70	13,86	14,03	14,19	14,36	14,52	14,69	15,02	15,18	15,02	14,69	14,69	13,70			
13,86	14,19	14,52	14,85	14,85	15,02	15,18	15,35	16,34	17,33	18,15	17,33	15,35	14,85	14,36			
13,86	14,19	14,52	14,85	14,85	15,02	15,18	15,35	16,34	17,33	18,15	17,33	15,35	14,85	14,36			
13,37	13,53	13,70	13,86	14,03	14,19	14,36	14,52	14,69	15,02	15,18	15,02	14,69	14,69	13,70			
12,21	12,38	12,54	12,71	12,87	13,04	13,20	13,37	13,53	13,70	13,86	13,70	13,53	13,37	12,87			
11,55	11,72	11,88	12,05	12,38	12,38	12,71	12,87	13,04	13,20	13,37	13,20	13,04	12,87	12,38			
<b>Q зад=</b>	<b>500</b>	<b>кг/Га</b>	<b>заданная</b>														
<b>Q ср=</b>	<b>13,75</b>	<b>г</b>															
<b>Q общ ср=</b>	<b>13,72</b>	<b>г</b>															
<b>Q ф=</b>	<b>548,8</b>	<b>кг/Га</b>	<b>фактическая</b>														
<b>ΔQ ф</b>	<b>-9,76</b>	<b>%</b>	<b>отклонение от фактической дозы</b>														
<b>ΔQ об ср=</b>	<b>1,71</b>	<b>г</b>															
<b>К. вар А=</b>	<b>17,3</b>	<b>%</b>															
Масса удобрений по противням при работе с лопатками с бортами, г																	
10,42	10,42	10,54	10,66	10,78	10,90	11,02	11,15	11,15	11,39	11,51	11,63	11,63	11,51	11,39	11,27		
10,78	11,15	11,63	11,75	11,87	11,99	12,11	12,23	12,36	12,48	12,60	12,72	12,72	12,60	12,23	12,11		
11,02	11,39	11,75	12,11	12,36	12,48	12,60	12,72	12,84	13,93	15,38	16,59	14,78	13,93	13,57	12,36		
11,02	11,39	11,75	12,11	12,36	12,48	12,60	12,72	12,84	13,93	15,38	16,59	14,78	13,93	13,57	12,36		
10,78	11,15	11,63	11,75	11,87	11,99	12,11	12,23	12,36	12,48	12,60	12,72	12,72	12,60	12,23	12,11		
10,42	10,42	10,54	10,66	10,78	10,90	11,02	11,15	11,15	11,39	11,51	11,63	11,63	11,51	11,39	11,27		
<b>Q зад=</b>	<b>500</b>	<b>кг/Га</b>	<b>заданная</b>														
<b>Q ср=</b>	<b>11,86</b>	<b>г</b>															
<b>Q общ ср=</b>	<b>13,71</b>	<b>г</b>															
<b>Q ф=</b>	<b>548,4</b>	<b>кг/Га</b>	<b>фактическая</b>														
<b>ΔQ ф</b>	<b>-9,68</b>	<b>%</b>	<b>отклонение от фактической дозы</b>														
<b>ΔQ об ср=</b>	<b>1,39</b>	<b>г</b>															
<b>К. вар А=</b>	<b>15,70</b>	<b>%</b>															
Масса удобрений по противням при работе с желобообразными лопатками, г																	
12,09	12,38	12,76	12,85	12,95	13,04	13,14	13,23	13,33	13,52	13,61	13,61	13,61	13,52	13,23	13,14	12,38	12,09
13,42	13,52	13,62	13,72	14,20	14,09	14,28	14,56	14,75	15,70	16,65	17,13	16,65	15,70	14,56	13,72	13,50	13,10
13,42	13,44	13,52	13,61	13,90	14,09	14,28	14,56	14,75	15,70	19,00	17,13	16,65	15,70	14,56	14,28	13,95	13,92
12,09	12,66	12,76	12,85	12,95	13,04	13,14	13,23	13,33	13,52	13,61	13,61	13,61	13,52	13,23	13,14	12,66	12,09
<b>Q зад=</b>	<b>500</b>	<b>кг/Га</b>	<b>заданная</b>														
<b>Q ср=</b>	<b>13,19</b>	<b>г</b>															
<b>Q общ ср=</b>	<b>13,70</b>	<b>г</b>															
<b>Q ф=</b>	<b>548,00</b>	<b>кг/Га</b>	<b>фактическая</b>														
<b>ΔQ ф</b>	<b>-9,60</b>	<b>%</b>	<b>отклонение от фактической дозы</b>														
<b>ΔQ об ср=</b>	<b>1,05</b>	<b>г</b>															
<b>К. вар А=</b>	<b>14,20</b>	<b>%</b>															

Расчет доз и неравномерности внесения удобрений при работе с дефлектором  
( $r=980\text{мм}$ ,  $l=565\text{мм}$ )

Масса удобрений по противням при работе с плоскими лопатками, г																	
11,48	11,64	11,81	11,97	12,30	12,30	12,63	12,79	12,96	13,12	13,28	13,12	12,96	12,79	12,30			
12,14	12,30	12,46	12,63	12,79	12,96	13,12	13,28	13,45	13,61	13,78	13,61	13,45	13,28	12,79			
13,28	13,45	13,61	13,78	13,94	14,10	14,27	14,43	14,60	15,09	15,09	14,92	14,60	14,60	13,61			
13,94	14,27	14,43	14,76	14,76	14,92	15,09	15,25	16,24	18,86	18,04	16,89	15,25	14,76	14,27			
13,94	14,27	14,43	14,76	14,76	14,92	15,09	15,25	16,24	18,86	18,04	16,89	15,25	14,76	14,27			
13,28	13,45	13,61	13,78	13,94	14,10	14,27	14,43	14,60	15,09	15,09	14,92	14,60	14,60	13,61			
12,14	12,30	12,46	12,63	12,79	12,96	13,12	13,28	13,45	13,61	13,78	13,61	13,45	13,28	12,79			
11,48	11,64	11,81	11,97	12,30	12,30	12,63	12,79	12,96	13,12	13,28	13,12	12,96	12,79	12,30			
<b>Q зад=</b>	<b>500</b>	<b>кг/Га</b>	<b>заданная</b>														
<b>Q ср=</b>	<b>13,67</b>	<b>г</b>															
<b>Q общ ср=</b>	<b>13,65</b>	<b>г</b>															
<b>Q ф=</b>	<b>546</b>	<b>кг/Га</b>	<b>фактическая</b>														
<b>ΔQ ф</b>	<b>&gt;10</b>	<b>%</b>	<b>отклонение от фактической дозы</b>														
<b>ΔQ об ср=</b>	<b>1,80</b>	<b>г</b>															
<b>К. вар А=</b>	<b>14,12</b>	<b>%</b>															
Масса удобрений по противням при работе с лопатками с бортами, г																	
10,59	10,59	10,71	10,84	10,96	11,08	11,21	11,33	11,33	11,58	11,70	11,82	11,82	11,70	11,58	11,45		
10,96	11,33	11,82	11,94	12,07	12,19	12,31	12,44	12,56	12,68	12,81	12,93	12,93	12,81	12,44	12,31		
11,21	11,58	11,94	12,31	12,56	12,68	12,81	13,42	14,16	15,63	16,86	15,02	15,02	14,16	13,79	12,56		
11,21	11,58	11,94	12,31	12,56	12,68	12,81	13,42	14,16	15,63	16,86	15,02	15,02	14,16	13,79	12,56		
10,96	11,70	11,82	11,94	12,07	12,19	12,31	12,44	12,56	12,68	12,81	12,93	12,93	12,81	12,44	12,31		
10,59	10,59	10,71	10,84	10,96	11,08	11,21	11,33	11,33	11,58	11,70	11,82	11,82	11,70	11,58	11,45		
<b>Q зад=</b>	<b>500</b>	<b>кг/Га</b>	<b>заданная</b>														
<b>Q ср=</b>	<b>12,06</b>	<b>г</b>															
<b>Q общ ср=</b>	<b>13,68</b>	<b>г</b>															
<b>Q ф=</b>	<b>547,2</b>	<b>кг/Га</b>	<b>фактическая</b>														
<b>ΔQ ф</b>	<b>-9,44</b>	<b>%</b>	<b>отклонение от фактической дозы</b>														
<b>ΔQ об ср=</b>	<b>1,41</b>	<b>г</b>															
<b>К. вар А=</b>	<b>11,18</b>	<b>%</b>															
Масса удобрений по противням при работе с желобообразными лопатками, г																	
11,46	11,73	12,09	12,18	12,27	12,36	12,45	12,54	12,63	12,81	12,90	12,90	12,90	12,81	12,54	12,45	11,73	10,11
12,36	12,63	12,81	12,90	13,17	13,35	13,80	13,98	15,33	15,78	15,51	15,33	14,88	13,98	13,80	13,53	12,63	11,73
12,36	12,63	12,81	12,90	13,17	13,35	13,80	13,98	15,33	15,78	15,51	15,33	14,88	13,98	13,80	13,53	12,63	11,73
11,46	12,00	12,09	12,18	12,27	12,36	12,45	12,54	12,63	12,81	12,90	12,90	12,90	12,81	12,54	12,45	12,00	10,11
<b>Q зад=</b>	<b>500</b>	<b>кг/Га</b>	<b>заданная</b>														
<b>Q ср=</b>	<b>12,50</b>	<b>г</b>															
<b>Q общ ср=</b>	<b>13,50</b>	<b>г</b>															
<b>Q ф=</b>	<b>540</b>	<b>кг/Га</b>	<b>фактическая</b>														
<b>ΔQ ф</b>	<b>-8,00</b>	<b>%</b>	<b>отклонение от фактической дозы</b>														
<b>ΔQ об ср=</b>	<b>0,96</b>	<b>г</b>															
<b>К. вар А=</b>	<b>9,88</b>	<b>%</b>															

Расчет доз и неравномерности внесения удобрений при работе с дефлектором  
( $r=980\text{мм}$ ,  $l=750\text{мм}$ )

Масса удобрений по противням при работе с плоскими лопатками, г																
11,34	11,50	11,66	11,83	12,15	12,15	12,47	12,64	12,80	12,96	13,12	12,96	12,80	12,64			
11,99	12,15	12,31	12,47	12,64	12,80	12,96	13,12	13,28	13,45	13,61	13,45	13,28	13,12			
13,12	13,28	13,45	13,61	13,77	13,93	14,09	14,26	14,42	14,90	14,90	14,74	14,42	14,42			
13,77	14,09	14,26	14,58	14,58	14,74	14,90	15,07	16,04	18,63	17,82	16,69	15,07	14,58			
13,77	14,09	14,26	14,58	14,58	14,74	14,90	15,07	16,04	18,63	17,82	16,69	15,07	14,58			
13,12	13,28	13,45	13,61	13,77	13,93	14,09	14,26	14,42	14,90	14,90	14,74	14,42	14,42			
11,99	12,15	12,31	12,47	12,64	12,80	12,96	13,12	13,28	13,45	13,61	13,45	13,28	13,12			
11,34	11,50	11,66	11,83	12,15	12,15	12,47	12,64	12,80	12,96	13,12	12,96	12,80	12,64			
Q зад= 500 кг/Га заданная																
Q ср= 13,5 г																
Q общ ср= 13,65 г																
Q ф= 664 кг/Га фактическая																
ΔQ ф >10 % отклонение от фактической дозы																
ΔQ об ср= 1,61 г																
К. вар А= 12,83 %																
Масса удобрений по противням при работе с лопатками с бортами, г																
10,42	10,42	10,54	10,66	10,78	10,90	11,02	11,15	11,15	11,39	11,51	11,63	11,63	11,51	11,39	11,27	
10,78	11,15	11,63	11,75	11,87	11,99	12,11	12,23	12,36	12,48	12,60	12,72	12,72	12,60	12,23	12,11	
11,02	11,39	11,75	12,11	12,36	12,48	12,60	13,20	13,93	15,38	16,59	14,78	14,78	13,93	13,57	12,36	
11,02	11,39	11,75	12,11	12,36	12,48	12,60	13,20	13,93	15,38	16,59	14,78	14,78	13,93	13,57	12,36	
10,78	11,15	11,63	11,75	11,87	11,99	12,11	12,23	12,36	12,48	12,60	12,72	12,72	12,60	12,23	12,11	
10,42	10,42	10,54	10,66	10,78	10,90	11,02	11,15	11,15	11,39	11,51	11,63	11,63	11,51	11,39	11,27	
Q зад= 500 кг/Га заданная																
Q ср= 11,86 г																
Q общ ср= 13,68 г																
Q ф= 547 кг/Га фактическая																
ΔQ ф -9,44 % отклонение от фактической дозы																
ΔQ об ср= 1,44 г																
К. вар А= 11,59 %																
Масса удобрений по противням при работе с желобообразными лопатками, г																
11,33	11,60	11,95	12,04	12,13	12,22	12,31	12,40	12,49	12,67	12,75	12,75	12,75	12,67	12,40	12,31	11,60
12,22	12,49	12,67	12,75	13,02	13,20	13,64	13,82	15,16	15,60	15,34	15,16	14,71	13,82	13,64	13,38	12,49
12,22	12,49	12,67	12,75	13,02	13,20	13,64	13,82	15,16	15,60	15,34	15,16	14,71	13,82	13,64	13,38	12,49
11,33	11,60	11,95	12,04	12,13	12,22	12,31	12,40	12,49	12,67	12,75	12,75	12,75	12,67	12,40	12,31	11,60
Q зад= 500 кг/Га заданная																
Q ср= 12,36 г																
Q общ ср= 13,50 г																
Q ф= 540 кг/Га фактическая																
ΔQ ф -8,00 % отклонение от фактической дозы																
ΔQ об ср= 0,95 г																
К. вар А= 9,57 %																

Расчет доз и неравномерности внесения удобрений при работе с дефлектором  
( $r=980\text{мм}$ ,  $l=935\text{мм}$ )

Масса удобрений по противням при работе с плоскими лопатками, г														
11,20	11,36	11,52	11,68	12,00	12,00	12,32	12,48	12,64	12,80	12,96	12,80			
11,84	12,00	12,16	12,32	12,48	12,64	12,80	12,96	13,12	13,28	13,44	13,28			
12,96	13,12	13,28	13,44	13,60	13,76	13,92	14,08	14,24	14,72	14,72	14,56			
13,60	13,92	14,08	14,40	14,40	14,56	14,72	14,88	15,84	18,40	17,60	16,48			
13,60	13,92	14,08	14,40	14,40	14,56	14,72	14,88	15,84	18,40	17,60	16,48			
12,96	13,12	13,28	13,44	13,60	13,76	13,92	14,08	14,24	14,72	14,72	14,56			
11,84	12,00	12,16	12,32	12,48	12,64	12,80	12,96	13,12	13,28	13,44	13,28			
11,20	11,36	11,52	11,68	12,00	12,00	12,32	12,48	12,64	12,80	12,96	12,80			
Q зад= 500 кг/Га заданная														
Q ср= 13,33 г														
Q общ ср= 13,63 г														
Q ф= 645,2 кг/Га фактическая														
$\Delta Q \text{ ф} >10 \%$ отклонение от фактической дозы														
$\Delta Q \text{ об ср} = 1,87 \text{ г}$														
К. вар А= 10,23 %														
Масса удобрений по противням при работе с лопатками с бортами, г														
10,16	10,16	10,28	10,40	10,51	10,63	10,75	10,87	10,87	11,10	11,22	11,34	11,34		
10,51	10,87	11,34	11,46	11,58	11,69	11,81	11,93	12,05	12,17	12,28	12,40	12,40		
10,75	11,10	11,46	11,81	12,05	12,17	12,28	12,87	13,58	15,00	16,18	14,41	14,41		
10,75	11,10	11,46	11,81	12,05	12,17	12,28	12,87	13,58	15,00	16,18	14,41	14,41		
10,51	11,22	11,34	11,46	11,58	11,69	11,81	11,93	12,05	12,17	12,28	12,40	12,40		
10,16	10,16	10,28	10,40	10,51	10,63	10,75	10,87	10,87	11,10	11,22	11,34	11,34		
Q зад= 500 кг/Га заданная														
Q ср= 11,57 г														
Q общ ср= 13,65 г														
Q ф= 546 кг/Га фактическая														
$\Delta Q \text{ ф} -9,2 \%$ отклонение от фактической дозы														
$\Delta Q \text{ об ср} = 1,64 \text{ г}$														
К. вар А= 9,87 %														
Масса удобрений по противням при работе с желобообразными лопатками, г														
11,08	11,34	11,68	11,77	11,86	11,95	12,03	12,12	12,21	12,38	12,47	12,47	12,47	12,38	12,12
11,95	12,21	12,38	12,47	12,73	12,90	13,34	13,51	14,82	15,25	14,99	14,82	14,38	13,51	13,34
11,95	12,21	12,38	12,47	12,73	12,90	13,34	13,51	14,82	15,25	14,99	14,82	14,38	13,51	13,34
11,08	11,60	11,68	11,77	11,86	11,95	12,03	12,12	12,21	12,38	12,47	12,47	12,47	12,38	12,12
Q зад= 500 кг/Га заданная														
Q ср= 12,08 г														
Q общ ср= 13,48 г														
Q ф= 539 кг/Га фактическая														
$\Delta Q \text{ ф} -7,84 \%$ отклонение от фактической дозы														
$\Delta Q \text{ об ср} = 2,99 \text{ г}$														
К. вар А= 9,03 %														



Расчет доз и неравномерности внесения удобрений при работе с дефлектором  
( $r=890\text{мм}$ ,  $l=565\text{мм}$ )

Масса удобрений по противням при работе с плоскими лопатками, г																
11,63	11,79	11,96	12,29	12,29	12,61	12,78	12,94	13,10	13,27	13,10	12,94	12,78	10,65			
12,29	12,45	12,61	12,78	12,94	13,10	13,27	13,43	13,60	13,76	13,60	13,43	13,27	10,97			
13,43	13,60	13,76	13,92	14,09	14,25	14,41	14,58	15,07	15,07	14,91	14,58	14,58	11,30			
13,10	13,92	14,74	15,56	16,38	18,84	18,67	17,20	16,71	16,38	15,56	14,74	13,92	12,29			
13,10	13,92	14,74	15,56	16,38	18,84	18,67	17,20	16,71	16,38	15,56	14,74	13,92	12,29			
13,43	13,60	13,76	13,92	14,09	14,25	14,41	14,58	15,07	15,07	14,91	14,58	14,58	11,30			
12,29	12,45	12,61	12,78	12,94	13,10	13,27	13,43	13,60	13,76	13,60	13,43	13,27	10,97			
11,63	11,79	11,96	12,29	12,29	12,61	12,78	12,94	13,10	13,27	13,10	12,94	12,78	10,65			
Q зад= 500 кг/Га заданная																
Q ср= 13,65 г																
Q общ ср= 13,7 г																
Q ф= 648 кг/Га фактическая																
ΔQ ф >10 % отклонение от фактической дозы																
ΔQ об ср= 0,83 г																
К. вар А= 13,72 %																
Масса удобрений по противням при работе с лопатками с бортами, г																
10,58	10,58	10,71	10,83	11,20	11,32	11,32	11,57	11,69	11,81	11,81	11,69	11,57	11,44	11,57		
11,69	11,32	11,81	11,93	12,30	12,43	12,55	12,67	12,79	12,92	12,92	12,79	12,43	12,30	12,43		
11,93	12,18	12,55	12,92	13,41	13,78	14,15	14,39	14,15	13,78	13,53	13,16	12,92	12,67	12,55		
11,93	12,18	12,55	12,92	13,41	13,78	14,15	14,39	14,15	13,78	13,53	13,16	12,92	12,67	12,55		
11,69	11,69	11,81	11,93	12,30	12,43	12,55	12,67	12,79	12,92	12,92	12,79	12,43	12,30	12,43		
10,58	10,58	10,71	10,83	11,20	11,32	11,32	11,57	11,69	11,81	11,81	11,69	11,57	11,44	11,57		
Q зад= 500 кг/Га заданная																
Q ср= 12,05 г																
Q общ ср= 13,5 г																
Q ф= 540 кг/Га фактическая																
ΔQ ф -8 % отклонение от фактической дозы																
ΔQ об ср= 2,18 г																
К. вар А= 11,07 %																
Масса удобрений по противням при работе с желобообразными лопатками, г																
11,45	11,98	12,07	12,16	12,25	12,34	12,43	12,52	12,61	12,79	12,88	12,88	12,79	12,52	12,43	11,98	
12,88	13,06	13,33	13,51	13,78	13,96	14,95	15,76	14,95	14,41	14,23	13,96	13,78	13,60	13,33	13,15	12,88
12,88	13,06	13,33	13,51	13,78	13,96	14,95	15,76	14,95	14,41	14,23	13,96	13,78	13,60	13,33	13,15	12,88
11,45	11,98	12,07	12,16	12,25	12,34	12,43	12,52	12,61	12,79	12,88	12,88	12,79	12,52	12,43	11,98	
Q зад= 500 кг/Га заданная																
Q ср= 12,49 г																
Q общ ср= 13,48 г																
Q ф= 539 кг/Га фактическая																
ΔQ ф -7,84 % отклонение от фактической дозы																
ΔQ об ср= 1,35 г																
К. вар А= 9,58 %																

Расчет доз и неравномерности внесения удобрений при работе с дефлектором  
( $r=890\text{мм}$ ,  $l=750\text{мм}$ )

Масса удобрений по противням при работе с плоскими лопатками, кг														
11,46	11,62	11,94	11,94	12,26	12,42	12,58	12,74	12,90	12,74	12,58	12,42	10,35		
12,10	12,26	12,42	12,58	12,74	12,90	13,05	13,21	13,37	13,21	13,05	12,90	10,67		
13,21	13,37	13,53	13,69	13,85	14,01	14,17	14,65	14,65	14,49	14,17	14,17	10,98		
13,53	14,33	15,12	15,92	18,31	18,15	16,72	16,24	15,92	15,12	14,33	13,53	11,94		
13,53	14,33	15,12	15,92	18,31	18,15	16,72	16,24	15,92	15,12	14,33	13,53	11,94		
13,21	13,37	13,53	13,69	13,85	14,01	14,17	14,65	14,65	14,49	14,17	14,17	10,98		
12,10	12,26	12,42	12,58	12,74	12,90	13,05	13,21	13,37	13,21	13,05	12,90	10,67		
11,46	11,62	11,94	11,94	12,26	12,42	12,58	12,74	12,90	12,74	12,58	12,42	10,35		
Q зад= 500 кг/Га заданная														
Q ср= 14,21 г														
Q общ ср= 13,4 г														
Q ф= 636 кг/Га фактическая														
ΔQ ф >10 % отклонение от фактической дозы														
ΔQ об ср= 2,12 г														
К. вар А= 11,84 %														
Масса удобрений по противням при работе с лопатками с бортами, г														
10,32	10,32	10,44	10,56	10,92	11,04	11,04	11,28	11,40	11,52	11,52	11,40	11,28	11,16	
11,40	11,04	11,52	11,64	12,00	12,12	12,24	12,36	12,48	12,60	12,60	12,48	12,12	12,00	
11,64	11,88	12,24	12,60	13,08	13,44	13,80	14,04	13,80	13,44	13,20	12,84	12,60	12,36	
11,64	11,88	12,24	12,60	13,08	13,44	13,80	14,04	13,80	13,44	13,20	12,84	12,60	12,36	
11,40	11,40	11,52	11,64	12,00	12,12	12,24	12,36	12,48	12,60	12,60	12,48	12,12	12,00	
10,32	10,32	10,44	10,56	10,92	11,04	11,04	11,28	11,40	11,52	11,52	11,40	11,28	11,16	
Q зад= 500 кг/Га заданная														
Q ср= 12,49 г														
Q общ ср= 13,3 г														
Q ф= 602 кг/Га фактическая														
ΔQ ф >10 % отклонение от фактической дозы														
ΔQ об ср= 2,89 г														
К. вар А= 10,06 %														
Масса удобрений по противням при работе с желобообразными лопатками, г														
11,39	11,93	12,02	12,11	12,20	12,29	12,38	12,47	12,56	12,74	12,83	12,83	12,83	12,74	12,47
12,83	13,01	13,27	13,45	13,72	13,90	14,88	15,69	14,88	14,35	14,17	13,90	13,72	13,54	13,27
12,83	13,01	13,27	13,45	13,72	13,90	14,88	15,69	14,88	14,35	14,17	13,90	13,72	13,54	13,27
11,39	11,93	12,02	12,11	12,20	12,29	12,38	12,47	12,56	12,74	12,83	12,83	12,83	12,74	12,47
Q зад= 500 кг/Га заданная														
Q ср= 13,16 г														
Q общ ср= 13,50 г														
Q ф= 540 кг/Га фактическая														
ΔQ ф -8,00 % отклонение от фактической дозы														
ΔQ об ср= 2,77 г														
К. вар А= 9,44 %														

Расчет доз и неравномерности внесения удобрений при работе с дефлектором  
( $r=890\text{мм}$ ,  $l=935\text{мм}$ )

Масса удобрений по противням при работе с плоскими лопатками, г										
10,44	10,59	10,88	10,88	11,17	11,31	11,46	11,60	11,75	11,60	11,46
11,02	11,17	11,31	11,46	11,60	11,75	11,89	12,04	12,18	12,04	11,89
12,04	12,18	12,33	12,47	12,62	12,76	12,91	13,34	13,34	13,20	12,91
12,33	13,05	13,78	14,50	16,68	16,53	15,23	14,79	14,50	13,78	13,05
12,33	13,05	13,78	14,50	16,68	16,53	15,23	14,79	14,50	13,78	13,05
12,04	12,18	12,33	12,47	12,62	12,76	12,91	13,34	13,34	13,20	12,91
11,02	11,17	11,31	11,46	11,60	11,75	11,89	12,04	12,18	12,04	11,89
10,44	10,59	10,88	10,88	11,17	11,31	11,46	11,60	11,75	11,60	11,46
Q зад=		500 кг/Га		заданная						
Q ср=		12,95 г								
Q общ ср=		13,5 г								
Q ф=		640 кг/Га		фактическая						
ΔQ ф		>10 %		отклонение от фактической дозы						
ΔQ об ср=		2,15 г								
К. вар А=		9,83 %								

Масса удобрений по противням при работе с лопатками с бортами, г											
9,90	9,90	10,02	10,13	10,48	10,59	10,59	10,82	10,94	11,05	11,05	10,94
10,94	10,59	11,05	11,17	11,51	11,63	11,74	11,86	11,97	12,09	12,09	11,97
11,17	11,40	11,74	12,09	12,55	12,89	13,24	13,47	13,24	12,89	12,66	12,32
11,17	11,40	11,74	12,09	12,55	12,89	13,24	13,47	13,24	12,89	12,66	12,32
10,94	10,94	11,05	11,17	11,51	11,63	11,74	11,86	11,97	12,09	12,09	11,97
9,90	9,90	10,02	10,13	10,48	10,59	10,59	10,82	10,94	11,05	11,05	10,94
Q зад=		500 кг/Га		заданная							
Q ср=		11,98 г									
Q общ ср=		13,75 г									
Q ф=		600 кг/Га		фактическая							
ΔQ ф		>10 %		отклонение от фактической дозы							
ΔQ об ср=		2,08 г									
К. вар А=		9,39 %									

Масса удобрений по противням при работе с желобообразными лопатками, г													
10,82	11,33	11,42	11,50	11,59	11,67	11,76	11,84	11,93	12,10	12,18	12,18	12,18	12,10
12,18	12,35	12,61	12,78	13,03	13,20	14,14	14,90	14,14	13,63	13,46	13,20	13,03	12,86
12,18	12,35	12,61	12,78	13,03	13,20	14,14	14,90	14,14	13,63	13,46	13,20	13,03	12,86
10,82	11,33	11,42	11,50	11,59	11,67	11,76	11,84	11,93	12,10	12,18	12,18	12,18	12,10
Q зад=		500 кг/Га		заданная									
Q ср=		12,50 г											
Q общ ср=		13,25 г											
Q ф=		530 кг/Га		фактическая									
ΔQ ф		-6,00 %		отклонение от фактической дозы									
ΔQ об ср=		2,09 г											
К. вар А=		9,05 %											



Расчет доз и неравномерности внесения удобрений при работе с дефлектором

(r=650мм, l=750мм)

Масса удобрений по противням при работе с плоскими лопатками, г										
11,45	11,61	11,93	12,24	12,24	12,40	12,56	12,72	12,88	12,72	
12,08	12,24	12,40	12,88	12,72	12,88	13,04	13,20	13,36	13,20	
13,20	13,36	13,52	13,99	13,83	13,99	14,15	14,63	14,63	14,47	
13,52	14,31	15,11	17,81	18,29	18,13	16,70	16,22	15,90	15,11	
13,52	14,31	15,11	17,81	18,29	18,13	16,70	16,22	15,90	15,11	
13,20	13,36	13,52	13,99	13,83	13,99	14,15	14,63	14,63	14,47	
12,08	12,24	12,40	12,88	12,72	12,88	13,04	13,20	13,36	13,20	
11,45	11,61	11,93	12,24	12,24	12,40	12,56	12,72	12,88	12,72	
	<b>Q зад=</b>	<b>500</b>	<b>кг/Га</b>	<b>заданная</b>						
	<b>Q ср=</b>	<b>15,74</b>	<b>г</b>							
	<b>Q общ ср=</b>	<b>13,7</b>	<b>г</b>							
	<b>Q ф=</b>	<b>748</b>	<b>кг/Га</b>	<b>фактическая</b>						
	<b>ΔQ ф</b>	<b>&gt;10</b>	<b>%</b>	<b>отклонение от фактической дозы</b>						
	<b>ΔQ об ср=</b>	<b>4,31</b>	<b>г</b>							
	<b>К. вар А=</b>	<b>9,31</b>	<b>%</b>							
Масса удобрений по противням при работе с лопатками с бортами, г										
10,51	10,51	10,63	10,75	11,12	11,24	11,48	11,60	11,60	11,73	
11,60	11,24	11,73	11,85	12,21	12,34	12,58	12,95	12,70	12,82	
11,85	12,09	12,46	12,82	13,31	13,68	14,29	14,29	14,04	13,68	
11,85	12,09	12,46	12,82	13,31	13,68	14,29	14,29	14,04	13,68	
11,60	11,60	11,73	11,85	12,21	12,34	12,58	12,95	12,70	12,82	
10,51	10,51	10,63	10,75	11,12	11,24	11,48	11,60	11,60	11,73	
	<b>Q зад=</b>	<b>500</b>	<b>кг/Га</b>	<b>заданная</b>						
	<b>Q ср=</b>	<b>13,56</b>	<b>г</b>							
	<b>Q общ ср=</b>	<b>13,52</b>	<b>г</b>							
	<b>Q ф=</b>	<b>620</b>	<b>кг/Га</b>	<b>фактическая</b>						
	<b>ΔQ ф</b>	<b>&gt;10</b>	<b>%</b>	<b>отклонение от фактической дозы</b>						
	<b>ΔQ об ср=</b>	<b>6,00</b>	<b>г</b>							
	<b>К. вар А=</b>	<b>9,05</b>	<b>%</b>							
Масса удобрений по противням при работе с желобообразными лопатками, г										
11,59	12,13	12,22	12,31	12,40	12,50	12,68	12,68	12,77	12,95	13,04
13,04	13,22	13,50	13,68	13,95	14,13	15,68	15,32	15,13	14,59	14,41
13,04	13,22	13,50	13,68	13,95	14,13	15,68	15,32	15,13	14,59	14,41
11,59	12,13	12,22	12,31	12,40	12,50	12,68	12,68	12,77	12,95	13,04
	<b>Q зад=</b>	<b>500</b>	<b>кг/Га</b>	<b>заданная</b>						
	<b>Q ср=</b>	<b>13,38</b>	<b>г</b>							
	<b>Q общ ср=</b>	<b>13,00</b>	<b>г</b>							
	<b>Q ф=</b>	<b>580</b>	<b>кг/Га</b>	<b>фактическая</b>						
	<b>ΔQ ф</b>	<b>&gt;10</b>	<b>%</b>	<b>отклонение от фактической дозы</b>						
	<b>ΔQ об ср=</b>	<b>3,09</b>	<b>г</b>							
	<b>К. вар А=</b>	<b>8,77</b>	<b>%</b>							

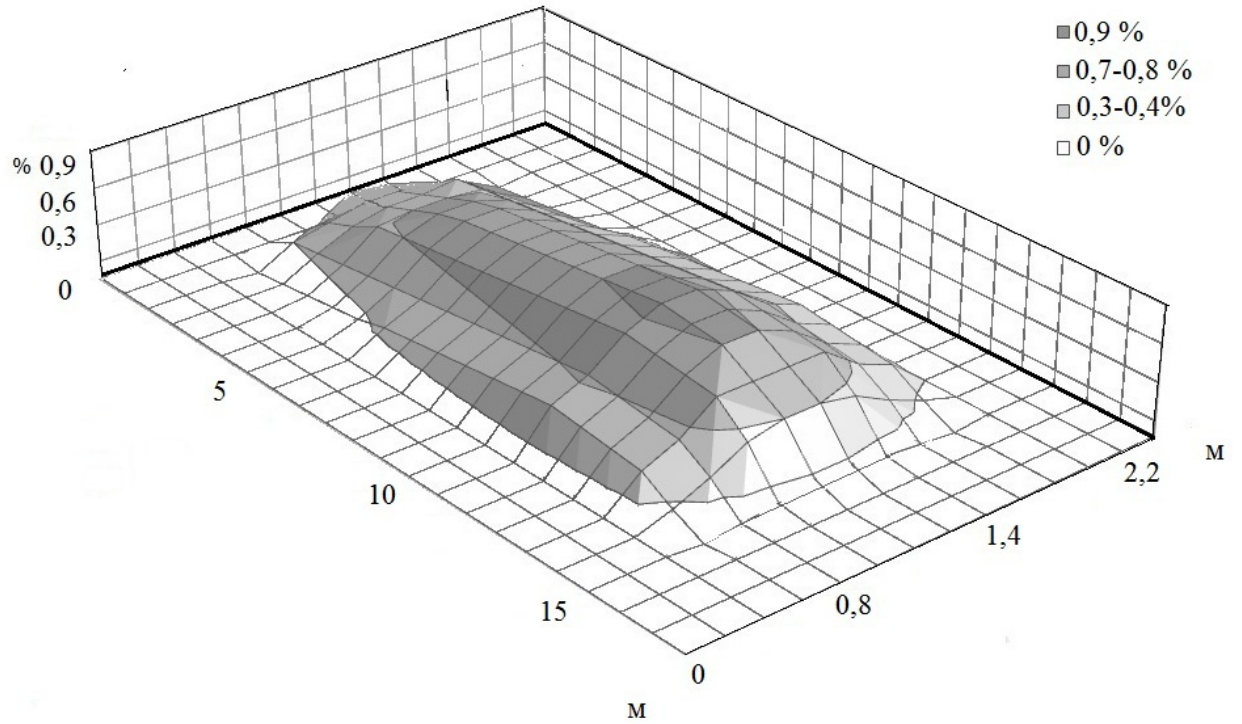
Расчет доз и неравномерности внесения удобрений при работе с дефлектором  
( $r=650\text{мм}$ ,  $l=935\text{мм}$ )

Масса удобрений по противням при работе с плоскими лопатками, г								
11,25	11,55	11,55	11,70	11,85	12,00	12,15		
11,70	12,15	12,00	12,15	12,30	12,45	12,60		
12,75	13,20	13,05	13,20	13,35	13,80	13,80		
14,25	16,80	17,25	17,10	15,75	15,30	15,00		
14,25	16,80	17,25	17,10	15,75	15,30	15,00		
12,75	13,20	13,05	13,20	13,35	13,80	13,80		
11,70	12,15	12,00	12,15	12,30	12,45	12,60		
11,25	11,55	11,55	11,70	11,85	12,00	12,15		
<b>Q зад=</b>	<b>500</b>	<b>кг/Га</b>	<b>заданная</b>					
<b>Q ср=</b>	<b>14,85</b>	<b>г</b>						
<b>Q общ ср=</b>	<b>13,5</b>	<b>г</b>						
<b>Q ф=</b>	<b>780</b>	<b>кг/Га</b>	<b>фактическая</b>					
<b>ΔQ ф</b>	<b>&gt;10</b>	<b>%</b>	<b>отклонение от фактической дозы</b>					
<b>ΔQ об ср=</b>	<b>5,82</b>	<b>г</b>						
<b>К. вар А=</b>	<b>8,74</b>	<b>%</b>						
Масса удобрений по противням при работе с лопатками с бортами, г								
10,16	10,16	10,28	10,40	10,75	10,87	11,10	11,22	
11,22	10,87	11,34	11,46	11,81	11,93	12,17	12,52	
11,46	11,69	12,05	12,40	12,87	13,23	13,82	13,82	
11,46	11,69	12,05	12,40	12,87	13,23	13,82	13,82	
11,22	11,22	11,34	11,46	11,81	11,93	12,17	12,52	
10,16	10,16	10,28	10,40	10,75	10,87	11,10	11,22	
<b>Q зад=</b>	<b>500</b>	<b>кг/Га</b>	<b>заданная</b>					
<b>Q ср=</b>	<b>13,11</b>	<b>г</b>						
<b>Q общ ср=</b>	<b>13</b>	<b>г</b>						
<b>Q ф=</b>	<b>685</b>	<b>кг/Га</b>	<b>фактическая</b>					
<b>ΔQ ф</b>	<b>&gt;10</b>	<b>%</b>	<b>отклонение от фактической дозы</b>					
<b>ΔQ об ср=</b>	<b>5,11</b>	<b>г</b>						
<b>К. вар А=</b>	<b>8,51</b>	<b>%</b>						
Масса удобрений по противням при работе с желобообразными лопатками, г								
10,40	10,48	10,55	10,63	10,71	10,87	10,87	10,94	11,10
11,33	11,57	11,72	11,96	12,11	13,28	13,13	12,97	12,50
11,33	11,57	11,72	11,96	12,11	13,28	13,13	12,97	12,50
10,40	10,48	10,55	10,63	10,71	10,87	10,87	10,94	11,10
<b>Q зад=</b>	<b>500</b>	<b>кг/Га</b>	<b>заданная</b>					
<b>Q ср=</b>	<b>11,47</b>	<b>г</b>						
<b>Q общ ср=</b>	<b>12,95</b>	<b>г</b>						
<b>Q ф=</b>	<b>618</b>	<b>кг/Га</b>	<b>фактическая</b>					
<b>ΔQ ф</b>	<b>&gt;10</b>	<b>%</b>	<b>отклонение от фактической дозы</b>					
<b>ΔQ об ср=</b>	<b>5,11</b>	<b>г</b>						
<b>К. вар А=</b>	<b>8,12</b>	<b>%</b>						

Расчет доз и неравномерности внесения удобрений при работе с дефлектором  
параболической формы

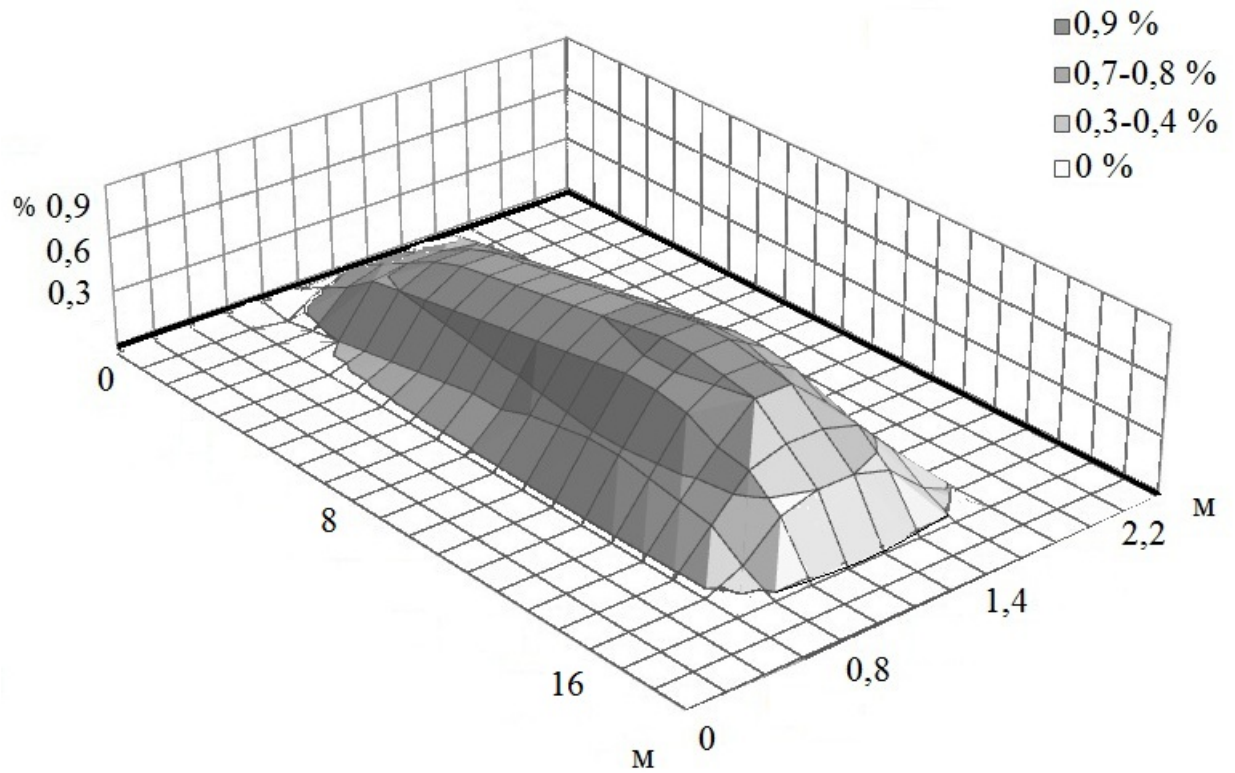
Масса удобрений по противням при работе с плоскими лопатками, г																	
11,51	11,67	11,84	12,00	12,33	12,33	12,66	12,82	12,99	13,15	13,31	13,15	12,99	12,82	12,33			
12,17	12,33	12,49	12,66	12,82	12,99	13,15	13,31	13,48	13,64	13,81	13,64	13,48	13,31	12,82			
13,31	13,48	13,64	13,81	13,97	14,13	14,30	14,46	14,63	15,12	15,12	14,95	14,63	14,63	13,64			
13,97	14,30	14,46	14,79	14,79	14,95	15,12	15,28	16,27	18,89	18,07	16,92	15,28	14,79	14,30			
13,97	14,30	14,46	14,79	14,79	14,95	15,12	15,28	16,27	18,89	18,07	16,92	15,28	14,79	14,30			
13,31	13,48	13,64	13,81	13,97	14,13	14,30	14,46	14,63	15,12	15,12	14,95	14,63	14,63	13,64			
12,17	12,33	12,49	12,66	12,82	12,99	13,15	13,31	13,48	13,64	13,81	13,64	13,48	13,31	12,82			
11,51	11,67	11,84	12,00	12,33	12,33	12,66	12,82	12,99	13,15	13,31	13,15	12,99	12,82	12,33			
<b>Q зад=</b>	<b>500</b>	<b>кг/Га</b>	<b>заданная</b>														
<b>Q ср=</b>	<b>13,67</b>	<b>г</b>															
<b>Q общ ср=</b>	<b>13,65</b>	<b>г</b>															
<b>Q ф=</b>	<b>546</b>	<b>кг/Га</b>	<b>фактическая</b>														
<b>ΔQ ф</b>	<b>&gt;10</b>	<b>%</b>	<b>отклонение от фактической дозы</b>														
<b>ΔQ об ср=</b>	<b>1,80</b>	<b>г</b>															
<b>К. вар А=</b>	<b>14,12</b>	<b>%</b>															
Масса удобрений по противням при работе с лопатками с бортами, г																	
10,59	10,71	10,84	10,96	11,08	11,21	11,33	11,33	11,58	11,70	11,82	11,82	11,70	11,58	11,45	10,47		
11,33	11,82	11,94	12,07	12,19	12,31	12,44	12,56	12,68	12,81	12,93	12,93	12,81	12,44	12,31	10,59		
11,58	11,94	12,31	12,56	12,68	12,81	13,42	14,16	15,63	16,86	15,02	15,02	14,16	13,79	12,56	10,71		
11,58	11,94	12,31	12,56	12,68	12,81	13,42	14,16	15,63	16,86	15,02	15,02	14,16	13,79	12,56	10,71		
11,70	11,82	11,94	12,07	12,19	12,31	12,44	12,56	12,68	12,81	12,93	12,93	12,81	12,44	12,31	10,59		
10,59	10,71	10,84	10,96	11,08	11,21	11,33	11,33	11,58	11,70	11,82	11,82	11,70	11,58	11,45	10,47		
<b>Q зад=</b>	<b>500</b>	<b>кг/Га</b>	<b>заданная</b>														
<b>Q ср=</b>	<b>12,06</b>	<b>г</b>															
<b>Q общ ср=</b>	<b>13,68</b>	<b>г</b>															
<b>Q ф=</b>	<b>547,2</b>	<b>кг/Га</b>	<b>фактическая</b>														
<b>ΔQ ф</b>	<b>-9,44</b>	<b>%</b>	<b>отклонение от фактической дозы</b>														
<b>ΔQ об ср=</b>	<b>1,41</b>	<b>г</b>															
<b>К. вар А=</b>	<b>11,18</b>	<b>%</b>															
Масса удобрений по противням при работе с желобообразными лопатками, г																	
11,50	11,77	12,13	12,22	12,31	12,40	12,49	12,58	12,67	12,85	12,94	12,94	12,94	12,85	12,58	12,49	11,77	10,15
12,40	12,67	12,85	12,94	13,21	13,39	13,84	14,02	15,37	15,82	15,55	15,37	14,92	14,02	13,84	13,57	12,67	11,77
12,40	12,67	12,85	12,94	13,21	13,39	13,84	14,02	15,37	15,82	15,55	15,37	14,92	14,02	13,84	13,57	12,67	11,77
11,50	12,04	12,13	12,22	12,31	12,40	12,49	12,58	12,67	12,85	12,94	12,94	12,94	12,85	12,58	12,49	12,04	10,15
<b>Q зад=</b>	<b>500</b>	<b>кг/Га</b>	<b>заданная</b>														
<b>Q ср=</b>	<b>12,50</b>	<b>г</b>															
<b>Q общ ср=</b>	<b>13,50</b>	<b>г</b>															
<b>Q ф=</b>	<b>540</b>	<b>кг/Га</b>	<b>фактическая</b>														
<b>ΔQ ф</b>	<b>-8,00</b>	<b>%</b>	<b>отклонение от фактической дозы</b>														
<b>ΔQ об ср=</b>	<b>0,96</b>	<b>г</b>															
<b>К. вар А=</b>	<b>9,83</b>	<b>%</b>															

Рисунок П.9



Полигон рассева удобрений плоскими лопатками

Рисунок П.10



Полигон рассева удобрений лопатками с бортами



**Масса удобрений по кюветам при внесении удобрений в движении**

Средняя масса удобрений по противням при работе с плоскими лопатками, г																
13,85	14,21	14,53	14,65	14,46	14,81	15,00	15,25	16,32	17,69	17,86	18,14	16,03	15,65	14,48		
13,70	14,32	14,29	14,55	14,78	14,52	15,01	15,51	16,11	17,59	18,00	18,07	16,01	15,76	14,50		
13,45	14,15	14,51	14,52	14,81	14,66	15,15	15,18	16,36	17,70	18,05	17,92	15,96	15,93	14,53		
13,81	14,23	14,44	14,42	14,59	14,70	14,92	15,41	16,13	17,76	17,77	17,99	15,98	15,88	14,42		
13,92	14,38	14,36	14,63	14,66	14,72	15,20	15,13	16,05	17,68	17,69	18,03	16,13	16,02	14,61		
13,57	14,25	14,55	14,49	14,62	14,85	15,04	15,42	16,12	17,55	18,03	18,18	16,15	15,81	14,52		
13,94	14,27	14,43	14,76	14,69	14,92	15,09	15,25	16,24	17,86	17,98	17,81	16,25	15,76	14,55		
13,88	14,30	14,38	14,70	14,76	14,95	15,11	15,31	16,24	17,85	18,04	16,89	16,25	15,70	14,27		
13,75	14,21	14,25	14,44	14,72	14,94	15,23	15,15	16,33	17,77	17,99	17,93	16,07	15,66	14,46		
13,52	14,14	14,22	14,71	14,78	14,94	14,98	15,04	16,25	17,91	18,02	17,90	16,16	15,52	14,44		

Средняя масса удобрений по противням при работе лопаток с бортами, г																
12,05	13,08	13,33	13,28	13,76	13,99	14,54	15,77	14,95	14,30	14,69	15,15	13,90	13,51	13,30	12,99	
12,15	13,01	13,27	13,45	13,72	13,90	14,88	15,69	14,88	14,35	14,77	15,09	13,72	13,54	13,27	13,09	
12,22	12,49	12,67	12,75	13,02	13,20	13,64	14,82	15,16	15,60	15,34	15,16	14,71	13,82	13,64	13,38	
11,46	11,73	12,09	12,18	12,27	12,36	14,01	14,54	14,63	14,81	15,15	15,05	14,84	13,50	12,99	12,45	
12,36	12,63	12,81	12,90	13,17	13,35	13,80	14,98	15,33	15,78	15,51	15,33	14,88	13,98	13,80	13,53	
11,95	12,21	12,38	12,47	12,73	12,90	13,34	14,51	14,82	15,25	14,99	14,82	14,38	13,51	13,34	13,08	
12,88	13,06	13,33	13,15	13,78	13,96	14,95	15,76	14,95	14,41	14,83	15,03	13,78	13,60	13,33	13,13	
11,93	12,02	12,11	12,20	13,79	13,38	14,00	15,55	14,59	14,46	14,88	15,38	13,74	13,47	12,38	11,93	
11,96	12,00	12,13	12,31	12,98	12,31	14,14	15,52	14,48	14,35	14,81	15,15	13,71	13,13	12,82	12,05	
11,84	12,22	12,32	12,23	12,85	13,15	14,09	15,51	14,41	14,65	14,77	15,26	13,82	13,43	12,97	12,12	

Средняя масса удобрений по противням при работе с желобообразными лопатками, г																		
10,33	10,28	10,45	10,85	11,00	11,15	11,22	12,90	11,20	11,52	11,82	12,04	11,71	11,93	11,00	11,50	11,73	10,11	
10,48	10,50	10,40	10,75	10,99	11,01	11,15	13,15	11,31	11,50	11,77	11,95	11,69	11,85	11,52	11,43	12,63	11,73	
10,59	10,59	10,71	10,84	10,96	11,08	11,21	13,25	11,33	11,58	11,70	11,82	11,82	11,70	11,58	11,45	12,07	12,19	
10,96	11,33	11,82	11,94	12,07	12,19	12,31	13,29	12,56	12,68	12,81	12,93	12,93	12,30	12,44	12,31	12,56	12,28	
11,21	11,58	11,94	12,31	12,56	12,68	12,81	13,42	14,16	15,63	16,86	15,02	15,02	14,16	13,79	12,56	12,12	12,11	
10,78	11,51	11,63	11,75	11,87	11,99	12,11	12,99	14,00	15,23	16,77	15,00	15,15	14,07	13,89	12,55	12,01	12,03	
11,02	11,39	11,75	12,11	12,36	12,48	12,60	13,20	13,93	15,38	16,59	14,78	14,78	13,93	13,57	12,36	11,95	11,98	
10,75	11,10	11,46	11,81	12,05	12,17	12,28	12,87	13,58	15,00	16,18	14,41	14,41	13,58	13,23	12,05	11,86	11,75	
10,77	11,03	11,93	12,18	12,55	12,92	13,41	13,78	14,15	14,39	14,15	13,78	13,53	13,16	12,92	12,67	12,55	11,93	
10,85	11,15	11,64	11,88	12,24	12,60	13,08	13,44	13,80	14,04	13,80	13,44	13,20	12,84	12,60	12,36	12,24	11,64	

Рисунок П.11

<b>Доза внесения</b>	<b>500</b>	<b>кг/Га</b>
<b>Произв, кг/с</b>	<b>5</b>	<b>кг/с</b>
<b>Скорость м/с</b>	<b>5,55</b>	<b>м/с</b>
<b>Скорость км/ч</b>	<b>19,98</b>	<b>км/ч</b>

Программа для расчета скорости движения агрегата



Гидроцилиндр стабилизирующего устройства

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 165224

**РАБОЧИЙ ОРГАН РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ ТВЕРДЫХ  
МИНЕРАЛЬНЫХ И ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ  
УДОБРЕНИЙ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2016100776

Приоритет полезной модели **12 января 2016 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **19 сентября 2016 г.**

Срок действия патента истекает **12 января 2026 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Г.П. Ивлиев*



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 166959

**РАБОЧИЙ ОРГАН УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ  
ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ И ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ  
УДОБРЕНИЙ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015152882

Приоритет полезной модели 09 декабря 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 28 ноября 2016 г.

Срок действия патента истекает 09 декабря 2025 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 166958

**ДВУХБАРАБАННЫЙ РАЗБРАСЫВАТЕЛЬ  
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2016105365

Приоритет полезной модели **17 февраля 2016 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **28 ноября 2016 г.**

Срок действия патента истекает **17 февраля 2026 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев



**СОГЛАСОВАНО:**

Проректор ФГБОУ  
ВО КГСХА по научной  
работе и инновациям  
И.Я. Пигорев

**УТВЕРЖДАЮ:**

Индивидуальный  
предприниматель глава  
крестьянского фермерского  
хозяйства  
А.А. Плешевцев

**АКТ****о внедрении научно-исследовательской работы**

Мы, нижеподписавшиеся представитель ФГБОУ ВО КГСХА аспирант Беседин Б.П., индивидуальный предприниматель глава крестьянского фермерского хозяйства А.А. Плешевцев составили настоящий акт о том, что на полях ИП глава КФХ Плешевцева А.А., в мае 2015 г., на площади 130 Га произведено внесение органо-минеральных удобрений экспериментальной низкорамным разбрасывателем в агрегате с трактором МТЗ-82.

Контролем служил разбрасыватель органических удобрений МТУ-18. Внесение удобрений производилось по принятой технологии. Ширина захвата МТУ-18 составляет 8-12м, а экспериментального низкорамного разбрасывателя - 18 - 24 м. Неравномерность внесения у МТУ-18 составила 25 %, у экспериментальной установки - 18%. Фракционный состав вносимого удобрения более однороден, что привело к равномерному и качественному созреванию ячменя. В результате урожайность повысилась на 13 %.

На основании производственной проверки можно рекомендовать экспериментальный разбрасыватель на внесении органо-минеральных удобрений.

Индивидуальный предприниматель глава  
крестьянского фермерского хозяйства

А.А. Плешевцев

Аспирант ФГБОУ ВО КГСХА

Б.П. Беседин

**СОГЛАСОВАНО:**

Проректор ФГБОУ  
ВО КГСХА по научной  
работе и инновациям  
И.Я. Пигорев

**УТВЕРЖДАЮ:**

директор  
ООО «Перспектива-Агро»  
С.Д. Кёся

**АКТ****о внедрении научно-исследовательской работы**

Мы, нижеподписавшиеся представитель ФГБОУ ВО КГСХА аспирант Беседин Б.П., директор ООО «Перспектива-Агро» Кёся С.Д., главный инженер ООО «Перспектива-Агро» Кёся В.Д., составили настоящий акт о том, что в ООО «Перспектива-Агро», в мае 2015 г., на площади 130 Га произведено внесение органо-минеральных удобрений экспериментальным низкорамным разбрасывателем в агрегате с трактором МТЗ-82.

Контролем служил разбрасыватель органических удобрений ПРТ-10. Внесение удобрений производилось по принятой технологии. Ширина захвата ПРТ-10 составляет 6-10м, а экспериментального низкорамного разбрасывателя - 18 - 24 м. Неравномерность внесения у ПРТ-10 составила 25 %, у экспериментальной установки - 18%. Фракционный состав вносимого удобрения более однороден, что привело к равномерному и качественному созреванию ячменя. В результате урожайность повысилась на 13 %.

На основании производственной проверки можно рекомендовать экспериментальный разбрасыватель на внесении органо-минеральных удобрений.

Директор ООО «Перспектива-Агро» С.Д. Кёся

Главный инженер «Перспектива-Агро» В.Д. Кёся

Аспирант ФГБОУ ВО КГСХА Б.П. Беседин

Согласовано  
Проректор ФГБОУ  
ВО КГСХА по научной  
работе и инновациям  
И.Я. Пигорев

«17» сентября 2016 г.



Утверждаю

ИП Глава КФХ

А.Н. Куликов



«17» сентября 2016 г.

## АКТ

### о внедрении научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся представитель ФГБОУ ВО КГСХА аспирант Беседин Б.П. и глава КФХ Льговского района Курской области Куликов А.Н., составили настоящий акт о том, что в 2016 году на площади 70 га произведено внесение гранулированных минеральных удобрений кузовным низкорамным разбрасывателем с рабочим органом роторного типа по послеуборочному фону гречихи. Норма внесения удобрений составила 400 кг/га.

Контролем служил разбрасыватель МВУ-5 в заводском исполнении.

Урожайность пшеницы, в основном за счет повышения равномерности внесения удобрений составила – 4,5 т/га, а контрольного - 4,2 т/га.

Особый интерес представляет конструктивное решение и применение стабилизатора бокового крена. Это устройство позволило использовать низкорамный разбрасыватель в условиях рельефа местности хозяйства на склонах до 7°.

Кроме того, возможность регулировки дорожного просвета позволила производить загрузку удобрений в кузов разбрасывателя автомобилями-самосвалами любой марки.

Производственная проверка показала целесообразность применения представленной конструкции кузовного низкорамного разбрасывателя удобрений.

ИП Глава КФХ

Куликов А.Н.

Аспирант Курской ГСХА

Беседин Б.П.