

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Восточно-Сибирский государственный университет технологий  
и управления»  
(ФГБОУ ВО ВСГУТУ)

На правах рукописи



Гылыкова Сэлмэг Жаргаловна

**ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
СЕПАРИРУЮЩЕГО МЕТАТЕЛЯ ЗЕРНА**

Специальность 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование  
для агропромышленного комплекса

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
Ямпиров Сэнгэ Самбуевич

Улан-Удэ – 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава I. Состояние вопроса и задачи исследования	10
1.1. Состояние и перспективы производства зерна	10
1.2. Существующие техника и технология для послеуборочной обработки зерна	14
1.3. Место зернометателей в рабочем процессе послеуборочной обработки зерновых культур	34
1.4. Обзор конструкций зернометательных машин	40
1.4.1. Вентиляторные зернометатели	41
1.4.2. Ленточные зернометатели	47
1.4.3. Лопастные зернометатели	56
1.5. Анализ теоретических исследований движения частиц зернового материала по лопасти зернометательных машин, а также определение мгновенной силы удара лопасти о частицу зерна	59
Глава II. Теоретические исследования движения зернового материала по лопасти сепарирующего метателя зерна	66
2.1. Обоснование конструкции сепарирующего метателя зерна	66
2.2. Теоретическое описание движения частиц зернового материала в сепарирующем метателе зерна	69
2.3. Обоснование материала поверхности лопасти сепарирующего метателя зерна	80
2.4. Теоретические исследования процесса взаимодействия частиц зерна с лопастью, на которой установлены резиновые покрытия	85
Глава III. Программа и методика экспериментальных исследований	92
3.1. Программа экспериментальных исследований	92
3.2. Описание экспериментальной установки и обоснование принципа работы сепарирующего метателя зерна	93

3.3. Методика проведения опытов	100
3.4. Показатели эффективности технологического процесса	101
3.5. Методика определения макроповреждений и микротравмирования зерна	104
3.6. Методика определения влажности зерна	106
Глава IV. Результаты экспериментальных исследований по обоснованию основных параметров сепарирующего метателя зерна	107
4.1. Экспериментальные исследования движения частиц зернового материала в сепарирующем метателе зерна	108
4.2. Влияние частоты вращения барабана сепарирующего метателя зерна на эффективность очистки зерна	112
4.3. Влияние угла наклона выпускного патрубка сепарирующего метателя зерна к горизонту на длину полета частиц зернового материала	115
4.4. Обоснование основных параметров сепарирующего метателя зерна для очистки зерна от легкой, мелкой и крупной примесей	117
4.5. Исследование микротравмирования и макроповреждения частиц зернового материала после обработки на сепарирующем метателе зерна	129
4.6. Определение снижения влажности исходного зернового материала после пропуска через сепарирующий метатель	131
4.7. Испытание в хозяйственных условиях	132
Глава V. Экономическая эффективность результатов исследований	136
5.1. Расчет оптовой цены сепарирующего метателя зерна	137
5.2. Расчет основных технико-экономических показателей	139
Основные выводы	143
Список использованных источников	144
Приложения	159

## **ВВЕДЕНИЕ**

Согласно проведенному аналитическому обзору, существует несколько конструкций зернометательных машин, используемых для погрузки/выгрузки зерновых культур и формирования буртов. Основные отличия между ними заключаются в конструкции их основных узлов, таких как транспортеры, барабаны, триммеры и желоба.

Для снижения повреждаемости зерна при его перемещении зернометательными машинами проводились теоретические исследования воздействия обрезаемых лопастей на зерновой материал. Целью этих исследований являлась разработка математических моделей, позволяющих оптимизировать конструкцию сепарирующих устройств машин.

Разработана математическая модель перемещения частицы зернового материала по лопасти сепарирующего метателя зерна с углом наклона лопасти в обратную сторону вращения.

### **Актуальность темы исследования.**

В наше время процесс производства зерна характеризуется стремлением обрабатывать и хранить весь собранный урожай непосредственно на местах его выращивания. Однако текущие сельскохозяйственные машины для очистки зерна не соответствуют современным стандартам и физически изношены. В крупных и средних хозяйствах эта техника присутствует лишь на 50%, а в малых и фермерских хозяйствах практически отсутствует.

В связи с этим актуальной задачей становится повышение эффективности послеуборочной обработки зерна через разработку универсальных машин, способных за одно технологическое действие очистить зерно от различных примесей, подсушить и охладить его. Введение подобных машин позволит существенно сократить временные и трудовые затраты, повысить качество конечного продукта и уменьшить потери, связанные с длительным хранением и транспортировкой зерна в неочищенном виде.

Сегодняшние нормативы требуют высокого уровня чистоты зернового продукта, чтобы он соответствовал мировым стандартам качества. Это особенно важно в контексте глобализации рынка сельскохозяйственной продукции, где конкуренция жестка, и только самые качественные продукты находят покупателя. Современные методы обработки должны учитывать не только удаление механических примесей, но и биологических, включая различные грибки, насекомые и их личинки. Это требует разработки инновационных технологий, которые могли бы обеспечивать многоэтапный процесс очистки в одном устройстве.

Кроме того, важным аспектом процесса послеуборочной обработки зерна является его сушка. Неправильное или недостаточное высушивание может привести к порче зерна, что отрицательно сказывается на его питательных и посевных качествах. Современные машины должны иметь возможность быстрого и равномерного высушивания зерна, предотвращая возможное его перегревание и растрескивание.

Не менее важной задачей является охлаждение высушенного зерна. Это необходимо для предотвращения самосогревания продукта при хранении, что может привести к его порче и значительным экономическим потерям. Универсальные машины должны предусматривать эффективные методы охлаждения, которые позволят длительное время сохранять зерно в оптимальном состоянии.

Таким образом, внедрение универсальных сельскохозяйственных машин для обработки зерна является необходимым шагом в модернизации аграрного сектора. Эти машины не только улучшат качество продукции, но и сократят затраты на её обработку, что в конечном итоге положительно скажется на экономике сельского хозяйства и продовольственной безопасности страны.

Создание и улучшение технических средств для разработки универсальных устройств, способных одновременно очищать, сушить и охлаждать зерно, представляет собой значимую научно-практическую

задачу.

**Степень разработанности темы.** Многие ученые выполнили исследования зернометательных машин, убедительно доказав их многофункциональность: Абидуев А.А. [7], Авдеев Н.Е. [9], Гончаров Е.С. [41], Бутенко А.Ф. [28-31], Заика П.М. [54], Иванов Н.М. [103], Климок А.И. [68], Леканов С.В. [104], Минаев В.Н. [83], Несиков А.А. [85], Урханов Н.А. [116,117], Пикуза А.И. [91], Стрикунов Н.И. [103,104], Шуханов С.Н. [131-133], Ханхасаев Г.Ф. [120] и многие другие авторы.

Исследование зернометательных машин показывает, что использование этих агрегатов существенно улучшит процессы разделения и охлаждения зернового материала.

**Цель исследования** – повышение качества обработки зернового вороха и снижение повреждаемости зерна.

**Задачи исследования:**

1. Разработать математическую модель движения зерна в сепарирующем метателе зерна.
2. Изучить взаимодействие лопасти сепарирующего метателя с зерном с целью снижения их повреждаемости.
3. Обосновать основные конструктивно-режимные параметры сепарирующего метателя зерна и определить его экономическую эффективность.

**Объект исследования** – процесс разделения зернового вороха на фракции при его обработке на сепарирующем органе метателя зерна.

**Предмет исследования** – закономерности процесса сепарации зерна на сепарирующем метателе зерна.

**Рабочая гипотеза** – повышение качества обработки зернового вороха и снижение повреждения зерна в ходе обработки сепарирующим метателем можно достичь за счет уменьшения контактного давления от лопасти.

**Научная новизна и теоретическая значимость.**

1. Обоснована математическая модель процесса сепарации и конструктивно-технологическая схема сепарирующего метателя зерна.

2. Определены зависимости, определяющие основные конструктивно-режимные параметры процесса сепарации на сепарирующем метателе зерна.

3. Установлены закономерности процесса взаимодействия зерна (*зернового вороха*) с лопастью зернометателя, влияющие на степень повреждения зерна при ударе.

Новизна технических решений подтверждена патентом на полезную модель «Метатель зерновых материалов» № 227398 от 18.07.2024 г.

### **Практическая значимость научного исследования.**

1. Обоснованы конструктивно-режимные параметры сепарирующего метателя зерна.

2. Результаты исследований могут быть использованы проектно-конструкторскими организациями для разработки новых зерноочистительных машин.

3. Технические решения, обеспечивающие повышение качества обработки зернового вороха и снижение степени повреждения зерна в процессе работы сепарирующим метателем зерна.

**Методология и методы исследования.** Исследования основывались на изучении научно-технической литературы как отечественной, так и зарубежной. Исследования проводились с использованием законов математики, физики и теоретической механики в рамках лабораторных и производственных экспериментов. Для экспериментальных исследований применялись как обычные, так и специализированные методики, а также способы планирования экспериментов и оборудование, соответствующее актуальным ГОСТам. Использовались методы математической статистики, а также программы Microsoft Excel 2013, Statistica 10.0 и Mathcad 15.

### **Научные положения, выносимые на защиту:**

– математическая модель перемещения частицы зернового материала

по лопасти сепарирующего метателя зерна;

– кинематические и конструктивно-режимные параметры сепарирующего метателя зерна;

– результаты экспериментальных исследований по обоснованию процесса очистки зерна на сепарирующем метателе зерна.

**Степень достоверности исследований подтверждается:**

– применением теории планирования экспериментов и обработки экспериментальных данных с помощью современных компьютерных технологий, таких как Statistica 10.0 и Mathcad 15, при этом наблюдается согласованность между теоретическими и экспериментальными данными. Достоверность результатов теоретических и практических исследований достигает уровня значимости 95 %.

**Реализация результатов исследований.** Теоретические и экспериментальные исследования были применены для подготовки технического задания на разработку и производство макета устройства для сепарации зерна, который прошел хозяйственные испытания и был внедрен в ООО «Куйтунское», 671130, Республика Бурятия, Тарбагатайский район, с. Куйтун; ООО «Наследие», 671950, Республика Бурятия, Закаменский р-н, г. Закаменск, ул. Седлецкого, д. 15а, помещ. 2; ООО «СибирьКонтинент», 670031, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Бийская, д. 87, блок 6.

**Апробация результатов исследований.** Результаты исследований были представлены на разнообразных конференциях, таких как секция «Технологии и технические средства в АПК» в рамках национальной научно-практической конференции «Образование и наука» в период с 2020 по 2024 год; на научной конференции «Современное общество, образование и наука» в Тамбове в 2020 году; на всероссийской научно-практической конференции «Приоритетные задачи научно-технологического развития агропромышленного комплекса» в 2024 году; а также на международной научно-практической конференции «Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития» в



Благовещенске, прошедшей в 2024 году.

**Публикации.** В результате проведенных исследований опубликовано 13 научных трудов, среди которых 7 статей в журналах, рекомендованных ВАК, и 2 статьи в издании, одобренном Scopus, получен патент на полезную модель «Метатель зерновых материалов».

**Структура и объем работы.** Диссертация включает в себя введение, пять глав, заключение и литературный список, состоящий из 143 источников, а также 6 приложений. Общий объем составляет 176 страниц печатного текста с 49 рисунками и 14 таблицами.

## **Глава I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **1.1. Состояние и перспективы производства зерна**

Важная роль в экономике Республики Бурятия играет сбор зерновых культур, так как это один из основных источников продуктов питания для населения и сырья для фермерского производства. Урожайность, влажность и засоренность зерна являются ключевыми показателями, влияющими на качество и количество продукции.

Для обеспечения качественного зерна необходимо использовать современные методы сортировки, очистки и сушки. Это позволяет улучшить товарный вид продукции, повысить ее стоимость и удовлетворить потребности населения в качественных продуктах.

Проведение анализа поступающего зерна поможет выявить проблемные моменты и предпринять необходимые меры для улучшения качества продукции. Таким образом, эффективная сортировка и очистка зерна играют важную роль в развитии сельского хозяйства и экономики страны в целом. В Республике Бурятия резко континентальный климат. Зима холодная, с сухим морозом и небольшим количеством снега. Весна ветреная, с заморозками и почти без осадков. Лето короткое, с жаркими днями и прохладными ночами, с обильными осадками в июле и августе. Осень наступает без резкой смены погоды.

Летние температуры, в среднем, достигают  $+18,5^{\circ}\text{C}$ , тогда как зимой могут опускаться до  $-22^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовой температурный показатель составляет около  $-1,6^{\circ}\text{C}$ . Сельскохозяйственные угодья Республики Бурятия преимущественно размещены на склонах: более 70% от общего объема, в то время как равнинные пашни занимают менее 5% пахотных земель [140].

Климатические условия и особенности рельефа в регионе способствуют относительно низким показателям по площади посевов и урожайности в сравнении с другими территориями.

Однако стоит отметить, что с 2021 года наблюдается небольшое восстановление общей посевной площади после ее снижения (рис. 1.1).

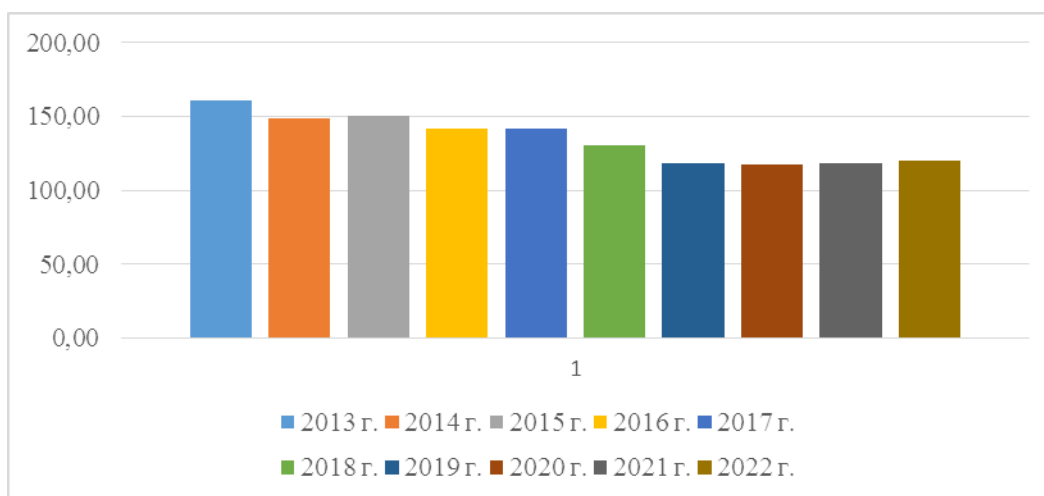


Рисунок 1.1. Площадь посевов в Республике Бурятия

Посевные площади сельскохозяйственных культур в 2020 г., занимаемые зерновыми и зернобобовыми культурами, располагались на 61,4 тыс. га, в 2021 г. – 66,1 тыс. га, в 2022 г. – 67,8 тыс. га, (по неокончательным данным в 2023 г. – 72,4 тыс. га.), т.е. посевные площади в республике увеличились в 2023 г. Наибольшая доля приходится на пшеницу: 2020 г. – 32,0 тыс. га, 2021 г. – 35,5 тыс. га, 2022 г. – 37,8 тыс. га (табл. 1.1) [141].

Таблица 1.1 – Посевные площади сельскохозяйственных культур в 2020-2022 гг.

	2020 г. тысяч гектаров	2021 г. тысяч гектаров	2022 г. тысяч гектаров
Вся посевная площадь	117,2	117,8	116,9
Зерновые и зернобобовые культуры	61,4	66,1	67,8
в том числе:			
тритикале	0,6	1,3	1,0
пшеница	32,0	35,5	37,8
рожь	1,0	1,6	0,6
ячмень	5,6	7,9	8,3
овес	20,8	18,7	19,0
гречиха	1,3	1,0	1,0
зернобобовые	0,1	0,1	0,1
Технические культуры	Данные не публикуются в целях обеспечения конфиденциальности первичных статистических данных, полученных от организаций, в соответствии с Федеральным законом от 29.11.2007 № 282-ФЗ «Об официальном статистическом учете и системе государственной статистики в Российской Федерации» (ст.4, п.5; ст.9, п.1).		
Картофель и овощебахчевые культуры	9,8	9,0	8,6
Кормовые культуры	46,0	42,7	39,6
Площадь чистых паров	22,1	15,1	29,5

Что касается валового сбора зерновых продуктов, то в 2022 году наблюдается снижение этого показателя по сравнению с 2021 г. на 5,6 тысяч и тонн (табл. 1.2) [139].

Таблица 1.2 – Валовой сбор зерновых продуктов в 2020-2022 гг.

	2020 г. тысяч тонн	2021 г. тысяч тонн	2022 г. тысяч тонн
Зерно (в весе после доработки)	89,4	122,3	116,7
в том числе:			
тритикале	1,2	3,0	1,7
пшеница яровая	44,7	67,7	66,5
рожь яровая	1,5	2,9	0,9
ячмень яровой	7,5	13,7	12,9
овес	33,3	34,0	33,8
гречиха	1,0	0,9	0,8
зернобобовые	0,3	Данные не публикуются в целях обеспечения конфиденциальности первичных статистических данных, полученных от организаций, в соответствии с Федеральным законом от 29.11.2007 № 282-ФЗ «Об официальном статистическом учете и системе государственной статистики в Российской Федерации» (ст.4, п.5; ст.9, п.1)	

Урожайность зерновых культур в хозяйствах всех категорий в центнерах с одного гектара уборной площади в 2022 г. по сравнению с 2021 г. и 2020 г. увеличилась. Так в 2020 г. урожайность составила 14,6 ц/га, в 2021 г. – 18,7 ц/га, в 2022 г. – 17,9 ц/га. В том числе, пшеница яровая в 2022 г. составила 18,2 ц/га, рожь яровая – 15,1 ц/га, ячмень яровой – 16,9 ц/га, овес – 18,1 ц/га, гречиха – 8,3 ц/га (табл. 1.3) [139].

Таблица 1.3 – Урожайность зерновых культур в 2020-2022 гг.

	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Зерновые и зернобобовые культуры (в весе после доработки)	14,6	18,7	17,9
пшеница яровая	14,1	19,4	18,2
рожь яровая	14,8	17,7	15,1
ячмень яровой	13,5	17,4	16,9
овес	16,0	18,2	18,1
гречиха	8,2	9,2	8,3
зернобобовые	23,3	18,6	16,5

По предварительным итогам 2023 года, урожай зерна в хозяйствах всех категорий достиг 140,6 тыс. тонн (в переработанном весе), что на 20,5% больше, чем в 2022 году. В этом году наблюдается рост в производстве всех видов зерна, за исключением яровой ржи. Доля сельскохозяйственных организаций в общем объеме производства зерна составила 63,3% в 2023 году, по сравнению с 66,7% в прошлом (табл. 1.4). Крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели собрали 36,5% общего объема зерна, что выше на 33,1% 2022 года [140].

Таблица 1.4 – Производство зерна по видам культур в 2023 году

	2023 г.			2022 г., тысяч тонн
	тысяч тонн	в % к 2022 г.	Доля производства отдельных видов зерна, %	
Зерно (в весе после доработки)	140,6	120,5	100	116,7
из него:				
пшеница яровая	81,2	122,2	57,8	66,5
рожь яровая	0,3	33,9	0,2	0,9
ячмень яровой	16,2	125,2	11,5	12,9
овес	38,0	112,6	27,0	33,8

Согласно информации от филиала ФГБУ «Россельхозцентр» в Республике Бурятия, все посеы сельскохозяйственных культур подвержены засорению в разной степени [142]. Состав сорной растительности разнообразен и включает множество биологических групп.

В частности, в сухостепных регионах зерновые культуры заражены следующим образом: гречишка вьюнковая (*Fallopia convolvulus* L.) встречается в количестве 5-20 экземпляров на квадратный метр, марь белая (*Chenopodium album* L.) – 20-70, просо сорное (*Panicum miliaceum*) – от 25 до 100 и более, полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.) – 10-20, а пырей ползучий (*Elytrigia repens* L.) – 3-8 экземпляров на квадратный метр. В общей сложности уровень засоренности может составлять 100-150 и более экземпляров на квадратный метр. Кроме того, наблюдается увеличение трудноотделимыми примесями, такими как татарская гречишка. В среднем,

засоренность поступающего зерна на обработку составляет на 10% и выше. Как показывают наблюдения, содержание примесей в исходном зерновом ворохе из-под комбайна составляет, в среднем, 4% легкой, 3% мелкой и 3% крупной примеси.

Следует отметить, что такое состояние с растительностью не является стабильным, поскольку количество осадков в регионе значительно варьируется по годам и редко соответствует средним показателям за длительный период. Так, за последние годы влажность поступающего зернового вороха составляла от 16 до 18%, что гораздо выше базисных кондиций.

Поэтому необходимо при первичной обработке исходного зернового материала очистить от различных примесей и снизить влажность зернового материала, чтобы сохранить урожай.

Для этого необходимы универсальные рабочие органы, которые позволяют не только очистить зерно от различных примесей, но и одновременно снизить влажность поступающего зерна за одну технологическую операцию одновременно.

Зерноуборочные машины, которые позволяют одновременно очищать зерно от различных примесей и понижать его влажность, также являются важным инструментом в решении данных проблем. Однако из-за их главного недостатка – высокое дробление частиц зернового материала, травмирование при обработке зернометателями – их применение ограничено.

## **1.2. Существующие техника и технология для послеуборочной обработки зерна**

В сельском хозяйстве выращивание зерновых культур состоит из нескольких важных стадий. Хранение и сортировка зерна после его сбора требуют менее 10% общих затрат, но если их пропустить или выполнить

некачественно, убытки могут значительно превысить расходы на эти процессы [60].

Прогресс в механизации послеуборочной обработки зерна в России характеризует собой важный аспект в эволюции сельского хозяйства страны. Этот процесс неразрывно связан с общей технологической модернизацией и совершенствованием аграрного производства, который начался в XIX веке и активно продолжается по сей день.

В дореволюционной России зерно очищалось и сушилось вручную или с применением самых простых орудий, что обуславливало значительные потери урожая и низкую продуктивность труда. Введение механических средств обработки зерна стало возможным в начале XX века с появлением первых молотилок и веялок. Эти машины, несмотря на свою относительно простую конструкцию, значительно улучшали эффективность работы и качество зерна.

С наступлением советской эпохи и коллективизацией сельского хозяйства произошёл резкий скачок в отношении механизации послеуборочной обработки зерна. В 1930-е годы началось массовое производство зерноочистительных машин, жаток и комбайнов, что было обусловлено необходимостью повышения продуктивности труда и сокращения потерь урожая. К середине века уже практически каждое крупное сельскохозяйственное предприятие было оснащено комплексом машин для послеуборочной обработки зерна, включая сушиллки, зерноочистительные комплексы и транспортные механизмы.

Особое внимание уделялось внедрению новых технологий и повышению качества сельскохозяйственной техники. В 1950-1980-е годы советская наука и промышленность разрабатывали и внедряли всё более совершенные модели комбайнов, которые могли не только убирать зерновые культуры, но и выполнять первичную обработку полученного урожая. Это позволило значительно сократить затраты времени и трудовых ресурсов, а также повысить качество урожая за счёт более тщательной его обработки.

После распада Советского Союза развитие сельскохозяйственной техники в России испытало серьёзные трудности из-за экономического кризиса. Однако с середины 1990-х годов и особенно в XXI веке началось возрождение этой отрасли. Были вложены значительные инвестиции в модернизацию производства, закупку современных машин и оборудования, что позволило аграриям значительно повысить эффективность обработки зерна.

Современное российское сельское хозяйство активно использует новейшие достижения техники и науки. Сегодня широко применяются мощные и высокоэффективные зерносушилки, автоматизированные зерноочистительные комплексы и системы управления процессами послеуборочной обработки. Внедрение цифровых технологий и элементов искусственного интеллекта начинает играть всё большую роль, позволяя оптимизировать процессы и минимизировать потери. Новые комбайны оснащены системами самодиагностики и могут взаимодействовать с различными аналитическими платформами для максимального повышения урожайности и контроля качества собранного зерна.

Таким образом, развитие механизации послеуборочной обработки зерна в России прошло путь от ручного труда до высоких технологий, обеспечивающих высокую эффективность и качество сельскохозяйственного производства. Этот процесс продолжается, и с внедрением новых технологий и инновационных решений можно ожидать дальнейшего повышения продуктивности и конкурентоспособности российского аграрного сектора.

Применялся разнообразный ряд машин для очистки зерна, созданных с целью увеличения производительности и улучшения качества обработки зерновых культур. К числу наиболее часто встречающихся видов машин были воздушно-решетные сепараторы (ОВС), основным предназначением которых было разделение зерна от примесей на основе различий в аэродинамических свойствах и размерах частиц. Эти машины могли работать



с различными видами зерновых культур, обеспечивая высокую степень очистки.

Также популярными были машины типа ЗАВ (зерноочистительно-сушильные комплексы), которые сочетали в себе функции очистки, сушки и хранения зерна. ЗАВ-машины были высокоэффективными и позволяли одновременно обрабатывать значительные объемы урожая, что значительно сокращало время и уменьшало потери зерна.

Не менее важными были зерновые триеры, которые использовались для сортировки зерен по длине, что помогало отделять короткие и поврежденные зерна от здорового зерна. Они играли ключевую роль в подготовке посевного материала и обеспечивали высевание только качественного зерна.

Стоит также отметить использование аспирационных каналов, чье назначение заключалось в удалении легких примесей и пыли при помощи воздушного потока. Эти элементы часто входили в состав комплексных очистительных систем и помогали улучшить качество зерна без существенных потерь.

Для более мелких хозяйств и кооперативов применялись механизированные вентилируемые зернохранилища, которые обеспечивали не только хранение, но и первичную очистку и вентилирование зерна. Эти системы предотвращали порчу зерна за счет поддержания оптимальных условий хранения.

Применяя такие разнообразные технологии, Советский Союз создавал многоуровневую систему обработки зерна, что способствовало поддержанию высокого уровня сельскохозяйственного производства и качества продукции.

При послеуборочной обработке зерна на открытых площадках уже через два дня начинает накапливаться углекислый газ, а кислород исчезает из промежутков между зернами, вызывая повреждение зародышей и утрату семенного качества. Это создает потребность немедленной очистки,

сортировки и сушки зерна. Рост объемов зернового производства потребовал введения поточной технологии обработки зерна в 60-х годах.

С момента создания зерноочистительных машин в основу конструкции был заложен двухъярусный ситовой корпус, который состоит из двух сит, расположенных один над другим: верхнее просевное сито, которое пропускает через крупные отверстия все зерно на нижнее сито (при этом крупная примесь сходит с верхнего сита), через нижнее (подсевное) проходит мелкая примесь, а зерно с некоторой долей оставшейся примеси с него сходит. Со временем изменялся принцип колебания сит, менялись устройства по очистке сит от застрявших в них зерен и примеси (ударяющие молоточки, скребки и щетки, шарики и т.д.), но принцип разделения зерновой смеси на крупную примесь, зерно и мелкую примесь при проходе зерновой массы через верхнее сито на нижнее не меняется (рис. 1.2).

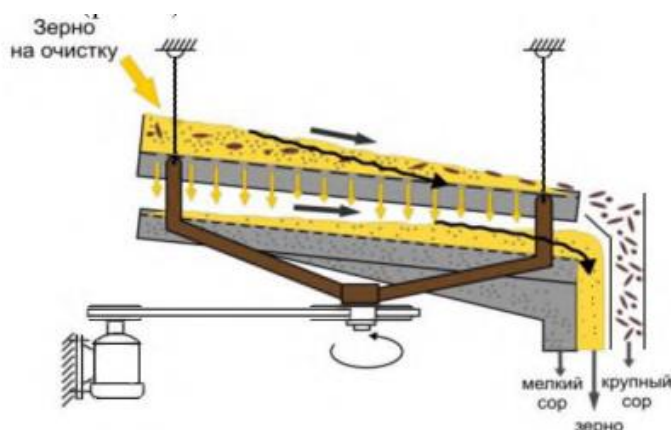


Рисунок 1.2. Принцип разделения зернового материала на сите

Зерноочищающая машина «Shmidt-zeeger» имеет 6 решет, расположенных друг над другом с дисбалансирующим приводом круговых колебаний и очисткой шариками и является на данный момент самой большой зерноочистительной машиной в мире (рис. 1.3).

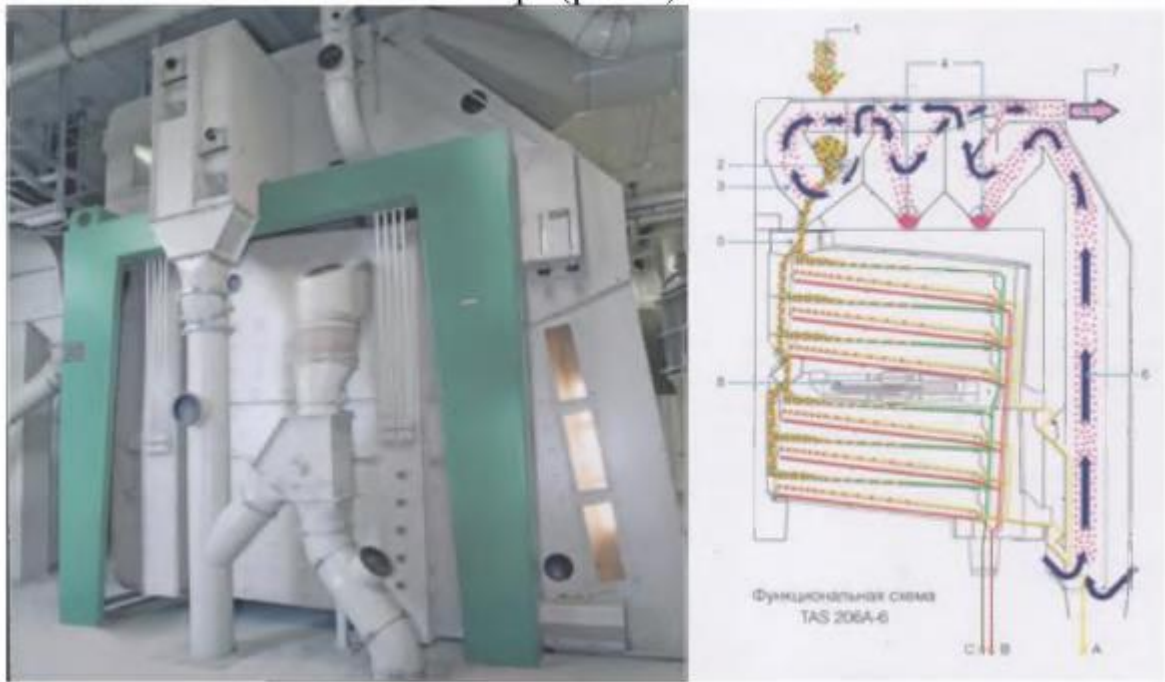


Рисунок 1.3. Внешний вид и функциональная схема зерноочищающей машины серии Schmidt-Seeger TAS

На сегодняшний день выпускают воздушно-решетные сепараторы следующие фирмы: Воронежсельмаш, Cimbria (Дания), Petkus (Германия), Denis (Франция).

Фирма Cimbria (Дания) выпускает универсальный сепаратор DELTA 146 Combi (рис. 1.4).

Данный сепаратор проводит все технологические операции. Решета расположены в двух корпусах, имеют большую площадь, шариковую очистку и могут очищать от крупных и мелких примесей. Угол наклона решет регулируется. При высоком угле наклона увеличивается скорость движения зерна и повышается производительность. Однако при малых углах наклона решет уменьшается скорость и производительность, но вероятность прохождения частиц увеличивается и, соответственно, эффективность выделения примесей тоже повышается.

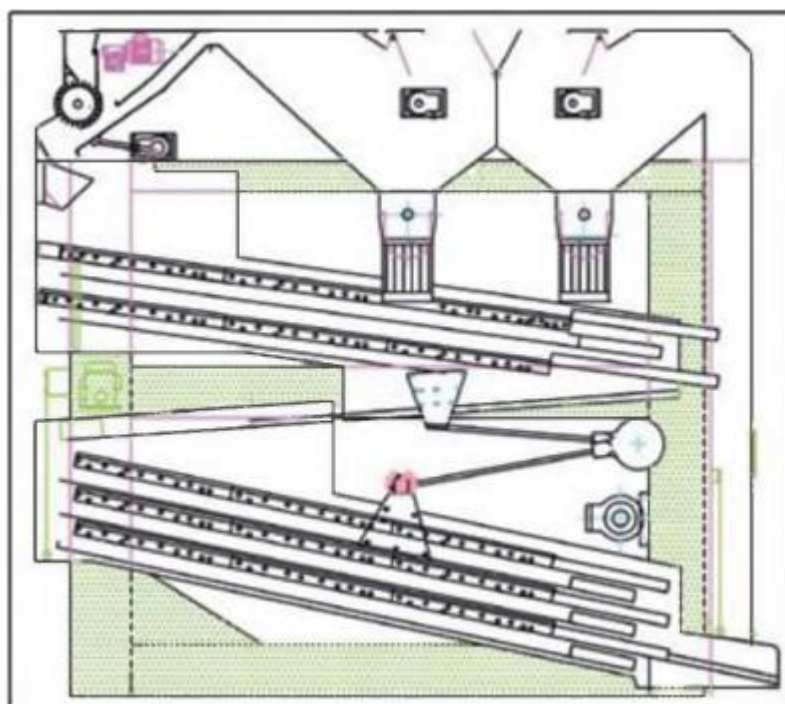


Рисунок 1.4. Универсальный сепаратор DELTA 146 Combi

Универсальный сепаратор СВУ-60 выполняет все технологические операции по очистке зерна, но имеет некоторые недостатки (рис. 1.5, 1.6, 1.7). СВУ-60 имеет 4 яруса решет, которые установлены параллельно. Каждый ярус имеет установленные последовательно три решета, при этом размеры отверстий увеличиваются по направлению движения зерна. Сперва на первом решете удаляется мелкая примесь, затем – зерновая примесь, и на третьем этапе чистое зерно проходит через решето, а крупные примеси выделяются в конце. В данном случае данная схема имеет недостатки, т.к. выделение мелкой примеси затрудняется тем, что на первое решето идет вся зерновая масса. В зарубежных сепараторах, например Petkus, крупная фракция убирается в самом начале операции, что позволяет мелкой примеси выделиться на нижних решетках. Также в зарубежных устройствах длина решет с одинаковым размером отверстий составляет минимум 3 метра, в отличие от СВУ-60, где длина решета не более метра. У зарубежных аналогов наблюдаются более лучшие технические характеристики.



Рисунок 1.5. Внешний вид сепаратора вороха универсального СВУ-60



Рисунок 1.6. Схема работы решета сепаратора вороха универсального СВУ-60

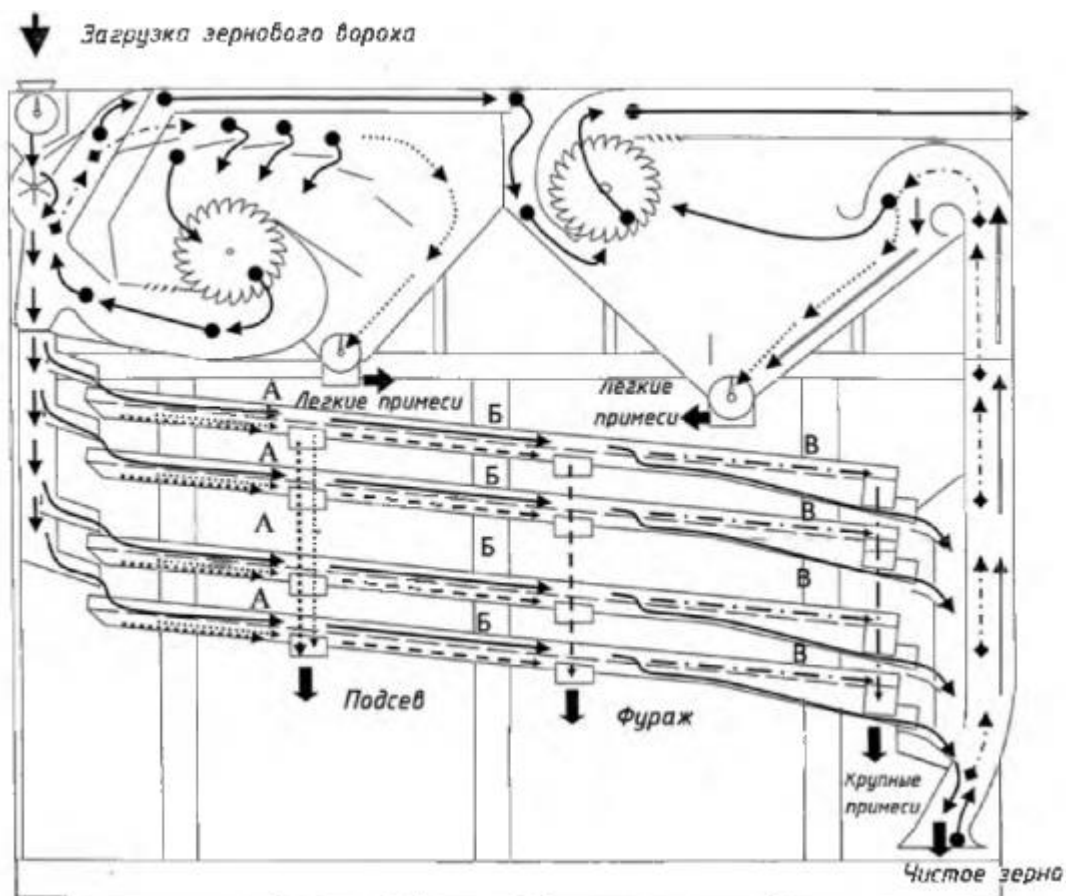


Рисунок 1.7. Схема работы сепаратора универсального СВУ-60

Многолетний опыт специалистов «НПФ Воронежмельсервис» показал, что выгоднее покупать универсальный сепаратор, который за одну технологическую операцию решит все задачи по очистке зерна.

Строительство здания или его реконструкция требует больших затрат, а также дорогостоящее технологическое оборудование. Таким образом, их стоимость превышает стоимость самого сепаратора.

Из этого следует, что экономически выгоднее использование универсального зернового сепаратора, который решает все технологические задачи, даже с относительно высокой стоимостью, так как затрат на строительство или реконструкцию значительно меньше.

Исследованию зерноочистительных машин и их разработке посвящены работы многих ученых: Н.Н. Ульриха [113-115]; И.Е. Кожуховского, который разработал «Основы расчета решетных сепараторов» [69,70]; Г.Т.

Павловского, разработавшего «Основы расчета цилиндрических триеров» [71]; Гладкова Н.Г. [37,38]; Г.Д. Терскова, выявившего, что процесс просеивания частиц зерна в отверстия решет описывается по экспоненциальному закону [111]; З.Л. Тиц [112]; В.И. Анискина, который разработал структуру зерноочистительно-сушильных комплексов высокой производительности [11-18]; А.Н. Зюлина, разработавшего теорию разделения частиц зернового материала по интенсивности просеивания [55-65]; В.А. Кубышева [74,75]; Н.А. Урханова, который разработал ячейку цилиндрического триера продолговатой формы [116,117]; Косилова Н.Е.[72,73], Е.С. Гончарова, разработавшего серию центробежных сепараторов для очистки зерна [41]; Н.М. Иванова [103]; С.С. Ямпилова, который разработал каскадный решетный сепаратор [134,135] и др.

Сепараторы моделей ЗСП (Зерновой сепаратор проточной) и ЗСМ (Зерновой сепаратор множественный) применяются для высокоэффективной очистки и сортировки зерновых культур. Зерновой сепаратор проточной модели предназначен для динамической обработки больших объемов зерна. Он включает в себя несколько стадий очистки и может функционировать непрерывно, что делает его идеальным выбором для крупных производственных предприятий.

Работа ЗСП строится на принципе перепада давления и воздушного потока. Зерно поступает в сепаратор, где проходит через ряд сит и воздушных камер. На каждом этапе происходит удаление различных типов примесей – от легких пылевых частиц до крупных механических включений. Конечный результат – чистое зерно, готовое к дальнейшей переработке или хранению.

Зерновой сепаратор множественный модели используется для более точной и детальной сортировки зерновых культур. Он включает в себя несколько модулей, каждый из которых выполняет свою специфическую функцию. Такая модульная конструкция позволяет гибко настраивать сепаратор под различные виды зерна и требования к их качеству.

Основной принцип работы ЗСМ строится на многократном просеивании и воздушной сепарации зерна. Входящее зерно последовательно проходит через несколько уровней очистки. На первом этапе удаляются крупные посторонние включения. На втором и третьем этапах осуществляется удаление более мелких примесей и легковесных частиц. Конечный этап включает в себя сортировку зерна по размеру и плотности, что обеспечивает однородность продукции.

Сепараторы моделей ЗСП и ЗСМ находят широкое применение в различных областях агропромышленного комплекса. Они используются на элеваторах, зерноперерабатывающих заводах, в пекарнях и на комбикормовых предприятиях.

Вибросепараторы моделей А1-БЦС-100, Р8-БЦ2С и Р8-УЦС-200 объединяет несколько ключевых особенностей и функций, которые позволяют им эффективно выполнять задачи по разделению и очистке различных материалов. Прежде всего, эти вибросепараторы используются в промышленности для того, чтобы отделять частицы разного размера, формы или плотности. Они могут применяться в таких областях, как сельское хозяйство, пищевая, химическая, фармацевтическая, горнодобывающая промышленность и многие другие.

Главным рабочим органом всех этих моделей вибросепараторов является вибрационный ситовой блок. Этот блок состоит из нескольких сит разного размера, которые расположены таким образом, чтобы материалы проходили через них поочередно, постепенно отделяя мелкие частицы от более крупных. Вибрационный механизм заставляет ситовой блок колебаться с высокой частотой, что способствует наиболее эффективному просеиванию и предотвращает засорение сит. Кроме того, в конструкции этих вибросепараторов зачастую используется система амортизации, которая снижает вибрационные нагрузки на окружающие конструкции и улучшает комфорт работы с оборудованием.



Современные вибросепараторы могут обладать дополнительными функциями, такими как возможность регулировки частоты вибрации, автоматическое удаление примесей и отходов, а также системы контроля качества и мониторинга состояния оборудования. В модели А1-БЦС-100, Р8-БЦС и Р8-УЦС-200 все эти функции могут быть представлены в различных комбинациях, что позволяет выбрать оптимальное решение для конкретных производственных нужд.

Наиболее широко в отечественном сельском хозяйстве используются машины с воздушно-решетной конструкцией, где основную работу выполняет решетная секция, дополненная пневмосистемой. Эти машины предназначены для эффективной обработки зерновых и других сельскохозяйственных культур, обеспечивая высокое качество очистки и сортировки.

Решетная секция, являясь сердцем конструкции, обеспечивает первичную фильтрацию материала, разделяя его на фракции по размеру и качеству. Использование многослойных решет и современных вибрационных механизмов позволяет достигать высокой точности просеивания. Крупные частицы удерживаются на верхнем уровне, тогда как более мелкие проходят через несколько уровней сит, достигая необходимого уровня чистоты.

Пневмосистема же играет вспомогательную, но не менее важную роль, обеспечивая дополнительное очищение и удаление легких примесей. Встроенные вентиляторы и воздушные каналы создают сильные воздушные потоки, которые извлекают легкие частицы, такие как пыль, плевела и мякина, оставляя только качественный материал. Этот метод позволяет значительно увеличить производительность и сократить ручной труд, который был бы необходим при использовании исключительно механических методов очистки.

Внедрение таких машин в сельское хозяйство позволило значительно повысить рентабельность и эффективность производства, снизить затраты на обработку зерна и улучшить его качество. Современные модели оснащаются

также системами автоматического контроля и регулирования, что делает работу с ними максимально удобной и эффективной для операторов.

Существует несколько планов размещения воздушно-решетных аппаратов, каждая из которых имеет свои особенности и преимущества в зависимости от предназначения и применения. Основные схемы включают последовательную, параллельную и комбинированную компоновку.

При последовательной схеме компоновки очищение зерна выполняется ступенчато, что позволяет достичь высокой степени очистки за счет прохождения зерна через несколько стадий обработки. В первую очередь зерно подвергается грубой очистке для удаления крупных посторонних предметов, таких как камни, солома и другие крупные примеси. Затем зерно перемещается в следующую зону, где осуществляется более тонкая очистка воздушными потоками и вибрационными ситами, что способствует удалению мелких примесей и легких частиц. Последний этап включает окончательную очистку и сортировку зерна по размеру и весу.

Параллельная схема компоновки предполагает одновременное прохождение зерна через несколько независимых зон очистки. Это позволяет значительно увеличить производительность машины, так как обработка зерна происходит параллельно в нескольких каналах. Каждая зона очистки оснащена своими фильтрами, вентиляторами и ситами, что обеспечивает высокую эффективность удаления различных типов примесей. Этот метод особенно эффективен при обработке крупных объемов зерна, требующих быстрой и качественной очистки.

Комбинированная схема компоновки объединяет элементы последовательной и параллельной очистки, что позволяет максимально эффективно использовать преимущества обоих методов. В такой системе зерно сначала проходит предварительную грубую очистку, после чего разделяется на несколько потоков для параллельной очистки. В конце каждого параллельного канала зерно повторно объединяется для проведения окончательной очистки и сортировки. Такая схема позволяет достичь

высокого уровня чистоты зерна при сохранении высокой производительности и минимизации энергозатрат.

Каждая схема компоновки воздушно-решетных машин имеет свои уникальные особенности и может быть адаптирована в зависимости от конкретных требований и условий эксплуатации. Выбор оптимальной схемы зависит от множества факторов, включая тип обрабатываемого зерна, требуемую степень очистки, доступные ресурсы и объемы производства.

Наиболее часто применяемая конфигурация предусматривает очистку воздушным потоком перед прохождением через решетки, что уменьшает влияние легких примесей на работу пневмосепаратора и повышает эффективность решет. Этот подход применяется в машине для предварительной очистки зерна МПР-50 (рис. 1.8).

На основе технологии машины МПР-50 очищаемое зерно поступает через зернопровод в пневмосепаратор. После обработки зерно направляется на два яруса решетной приставки, работающих параллельно. Проход через сито В и сито Г удаляется в приемники. Очищенное зерно, прошедшее через оба сита, попадает в бункер для дальнейшей обработки или хранения.

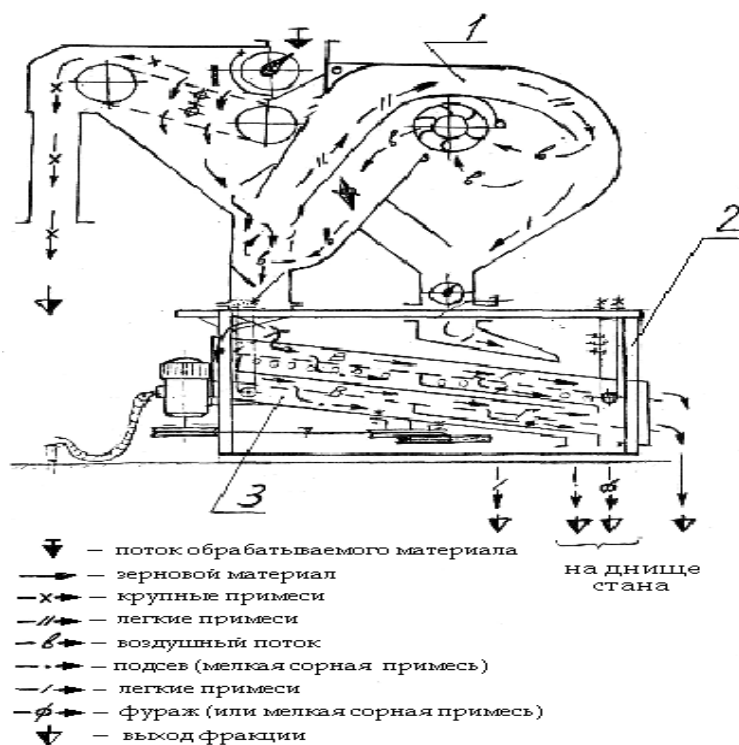


Рисунок 1.8. Технологический процесс МПР-50:

1 – пневмосепаратор МПО-50; 2 – решетная приставка РП-50;

3 – решетный стан

Основные элементы воздушно-решеточной машины МПР-50 для предварительной очистки зерна включают транспортер с сеткой (удаляющий крупные примеси), аспирационную систему (удаляющую легкие примеси) и устройство с решеткой для отделения мелких зерен. В конструкции машины предусмотрен пневмосепаратор МПО-50, установленный на решетную приставку РП-50, которая состоит из решетного устройства и рамы. Решетное устройство выполнено в виде сварной конструкции из верхнего и нижнего станков [19].

Применяются схемы, в которых после решетки устанавливается пневмосепаратор. Эти схемы часто применяются в различных промышленных процессах, где необходимо обеспечить высокую степень очистки или сортировки материалов. Решетка служит для предварительного отделения крупных фракций, таких как камни, куски металла или крупные органические частицы. Она выполняет роль первого этапа фильтрации,

позволяя пропустить только те частички, которые могут быть эффективно обработаны на следующем этапе.

Технологические схемы предусматривают двойную очистку зерна воздушным потоком как после решетки, так и до нее. Это усовершенствование позволяет значительно повысить качество удаления примесей и пыли, что особенно важно для обеспечения чистоты конечного продукта. Первичная очистка, проводимая до решетки, удаляет крупные фракции и легкие примеси, такие как солома, листья и пыль. Далее зерно проходит через сито, где происходит механическая сепарация оставшихся загрязнений. Используются в таких машинах, как СВУ-5 и К-531 «Петкус».

Наиболее часто применяется двухуровневая структура размещения решет, представляющая собой уникальное инженерное решение, которое позволяет эффективно распределять материал по ярусам. В этой системе используется три основные схемы, каждая из которых обладает своими особенностями и преимуществами.

Первая схема основывается на равномерном распределении материала между верхним и нижним ярусами. Это достигается с помощью специального механизма, который обеспечивает поступление одинакового объема материала на каждый уровень. Преимущества данного способа заключаются в его простоте и экономичности, поскольку не требуется сложных устройств для перераспределения. Тем не менее, для равномерного распределения материала требуется точная настройка оборудования, чтобы избежать перегрузки одного из ярусов.

Вторая схема отличается более сложным подходом, при котором материал распределяется по ярусам в зависимости от его фракционного состава. Более крупные частицы направляются на нижний ярус, а более мелкие – на верхний. Этот метод позволяет достичь лучшей эффективности в процессе обработки материала, поскольку каждый ярус адаптирован под определенный размер фракций. Недостатком данного метода является

необходимость в дополнительных системах сепарации и контроля, что может увеличить общие затраты на установку и эксплуатацию.

Третья схема основана на динамическом распределении материала, при котором параметры распределения могут меняться в зависимости от текущих условий. Например, при изменении объема поступающего материала система автоматически регулирует потоки, перераспределяя их между ярусами. Это позволяет достичь максимальной гибкости и производительности, адаптируясь к изменяющимся условиям. Преимущества такого метода очевидны, однако подобная схема требует внедрения высокотехнологичных датчиков и управляющих систем, что может потребовать дополнительных инвестиций и сложного технического обслуживания.

Фракционная переработка основывается на разделении начального потока зерна по фракциям. Переработка проводится с использованием специального оборудования, которое разделяет зерно на отдельные фракции по размеру, плотности и другим физическим характеристикам. Каждая фракция обрабатывается отдельно, что позволяет учитывать ее уникальные свойства и обеспечить наилучшие условия для дальнейшего использования.

Разработка зерноочистительных машин с плоскими решетками представляет собой ключевой этап в совершенствовании агротехнологии и обеспечении высокой чистоты зерна перед его дальнейшей обработкой и хранением. Эти машины играют важнейшую роль в удалении примесей различного рода – от пыли и легких органических частиц до более крупных камушков и обломков стеблей, что позволяет получить зерно высокого качества.

Первоначально зерноочистительные машины с плоскими решетками основывались на простых механических принципах, однако с техническим прогрессом их конструкция и функциональные возможности значительно усложнились. Современные модели снабжены системами автоматического контроля и регулирования, которые позволяют повысить эффективность и точность очистки. Такие инновации, как система автоматической

регулировки угла наклона решет и адаптивные вибрационные механизмы, позволяют значительно увеличить пропускную способность машин и уменьшить энергозатраты на процесс очистки.

Для улучшения процесса очистки используются многоуровневые плоские решета, каждое из которых имеет собственный набор отверстий, специально подобранных для удаления примесей определенного размера. Этот подход позволяет значительно улучшить разделение зерна и примесей, обеспечивая высокую степень чистоты конечного продукта. Вдобавок, последние разработки в области материаловедения позволили создать новые типы решет из сверхпрочных сплавов и наноматериалов, которые обладают увеличенной износостойкостью и значительно продлевают срок службы оборудования.

Не менее важным аспектом является влияние процессов, происходящих внутри зерноочистительных машин, имеющих критическое значение для сохранения качества зерна. Современные исследования показывают, что соблюдение оптимальных условий, таких как скорость движения зерна и вибрационные параметры, непосредственно влияет на уровень механических повреждений. Меньшее повреждение зерна во время очистки не только способствует улучшению его внешнего вида, но и сохраняет питательные свойства и структурную целостность зерна. Таким образом, в создании новых моделей зерноочистительных машин необходимо учитывать и биомеханические характеристики зерен различных культур.

Сложность и разнообразие примесей, с которыми приходится бороться зерноочистительным машинам, требуют применения комплексного подхода. Следует разрабатывать машины с многофункциональными модулями, способными выполнять различные операции по очистке и сортировке. Такой многоступенчатый процесс обеспечивает не только высокое качество очистки, но и гибкость в отношении различных зерновых культур и условий эксплуатации.

Сегодня разработки зерноочистительных машин с плоскими решетками не ограничиваются только техническими аспектами. Существенное внимание уделяется и экологическим требованиям, например, снижению шумовых нагрузок и пылеобразованию на рабочем месте. Внедрение инновационных систем фильтрации и шумоподавления способствует повышению экологической безопасности оборудования и улучшению условий труда для операторов.

Таким образом, разработка зерноочистительных машин с плоскими решетками является мультидисциплинарной задачей, требующей внимания к множеству факторов: от конструкционных особенностей и применяемых материалов до экологических аспектов и эргономики рабочего процесса. Соединение всех этих компонентов в едином технологическом решении позволяет создавать эффективное, долговечное и экологически безопасное оборудование, обеспечивающее высокое качество зерна и способствующее развитию аграрного сектора [55].

Вибрационное воздействие обеспечивает равномерное распределение материала по рабочей поверхности, улучшая отделение легких частиц от более тяжелых. В свою очередь, вращательное движение создает центробежные силы, усиливающие разделение компонентов по их плотности и форме.

Конструкция виброцентробежных зерновых сепараторов может включать различные типы рабочих органов и механизмов, обеспечивающих множество вариантов движения материала. Например, использование нескольких виброплатформ с различными частотами и амплитудами позволяет достигать более тонкого и точного разделения. Комбинированное воздействие вибраций и центробежных сил ускоряет процесс, повышает его эффективность и позволяет обрабатывать большие объемы зерновых материалов за короткий период времени.

Одним из ключевых аспектов работы виброцентробежных сепараторов является настройка параметров вибрации и скорости вращения.



Оптимальные параметры зависят от типа и состояния обрабатываемого зернового материала. Например, для более мелкозернистых материалов могут потребоваться более высокие частоты вибрации, тогда как для крупных зерен предпочтительны низкие частоты с большей амплитудой.

Эффективность вибрационного и центробежного сепарирования также может быть улучшена за счет использования дополнительных технологий, таких как воздушная сепарация или магнитные сепараторы. Совместное применение этих методов позволяет достичь наиболее высоких показателей чистоты отделяемого материала, что особенно важно при подготовке зерновых для дальнейшей переработки.

В целом, виброцентробежные зерновые сепараторы представляют собой передовое решение для агропромышленного комплекса, обеспечивая высокую производительность, эффективность и качество сепарирования зерновых материалов. Эти устройства являются неотъемлемым элементом современных зерноперерабатывающих предприятий и позволяют значительно повысить конкурентоспособность продукции на мировом рынке.

Края отверстий решета при возвратно-поступательном или вращательном движении могут наносить микроповреждения зерновкам. Эти микроповреждения могут проявляться в виде мелких царапин, надрывов оболочек, которые, будучи незначительными на первый взгляд, могут оказать существенное влияние на качество конечного продукта. С течением времени такие повреждения могут привести к потерям существенной части урожая из-за разрушения защитной оболочки зерна и увеличению риска его порчи при хранении. Эти микроповреждения могут также способствовать проникновению вредителей и патогенов, что значительно снижает общую биологическую устойчивость зерновок. Для снижения вероятности повреждения зерновок необходимо тщательное техническое обслуживание и регулировка решета, выбор материалов, обладающих максимально щадящими свойствами при соприкосновении с зерном, а также внедрение

инновационных технологий, минимизирующих трение и контактные нагрузки.

Неочищенное и влажное зерно уже через два дня начинает накапливать углекислый газ и вытеснять кислород, что ведет к быстрому ухудшению его качеств. Процессы дыхания и ферментации усиливаются, вызывая ускоренное разложение органических веществ. Влага способствует росту плесени и грибковых инфекций, что делает зерно непригодным для дальнейшего использования. Если такая ситуация не контролируется, это может привести к значительным потерям урожая и экономическим убыткам.. Для предотвращения этого необходимо своевременно очищать и высушивать зерно, обеспечивая его правильное хранение в условиях с низкой влажностью и хорошей вентиляцией. В то же время семена должны отвечать стандарту качества, установленному ГОСТ Р 52325-2005 «Сортовые и посевные качества семян».

На основании приведенных сведений необходимо разработать новые зерноочистительные устройства, способные выполнять их функцию универсально. Оборудование должно одним технологическим процессом удалить различные примеси и довести основную массу зерна до стандартных кондиций и одновременно снизить влажность зернового материала. К этой группе можно включить машины для метания зерна.

### **1.3. Место зернометателей в рабочем процессе послеуборочной обработки зерновых культур**

Собранные с полей зерновые требуют внимательной послеуборочной обработки, чтобы обеспечить их качество и безопасность для последующего хранения и использования. Важное значение в данном процессе имеют зернометатели – специализированные устройства, предназначенные для транспортировки, перераспределения и очистки зерна. Эти устройства

значительно повышают эффективность работы, сокращают время, затрачиваемое на обработку, и уменьшают трудозатраты.

Важнейшим этапом послеуборочной обработки зерновых культур является их тщательная очистка от примесей, остатков растительности и поврежденных зерен. Зернометатели идеально справляются с этой задачей, так как оборудованы системами аэрации и сепарации, которые позволяют быстро и качественно отделять не пригодные для хранения или переработки фракции. Благодаря их работе зерно поступает на хранение в чистом виде, что значительно снижает риск развития плесени, грибков и других вредных микроорганизмов.

Еще одной важной функцией зернометателей является перемещение зерна по рабочим площадкам или хозяйственным помещениям. За счет своей мобильности и возможности работы под различным углом наклона зернометатели обеспечивают равномерное распределение зерна в складских помещениях, бункерах и элеваторах. Это не только упрощает дальнейшую транспортировку и переработку зерновых культур, но и способствует экономии полезного пространства, что особенно важно при ограниченных объемах хранения.

В условиях крупного хозяйства или агропромышленного комплекса использование зернометателей становится незаменимым элементом технологической цепочки. Автоматизация и механизация процесса перемещения и очистки зерна позволяют значительно повысить производительность труда, снизить затраты на рабочую силу и минимизировать риски, связанные с человеческим фактором. Современные модели зернометателей оснащены средствами управления, что позволяет оптимизировать рабочий процесс и добиваться максимальной эффективности при минимальных временных и трудовых затратах.

Зернометатели занимают ключевое место в послеуборочной обработке зерновых культур, обеспечивая качественную очистку, надежное перемещение и эффективное распределение зерна. Их применение позволяет

значительно повысить производительность труда, улучшить качество продукции и добиться экономической эффективности в аграрных хозяйствах. Внедрение и использование современных зернометателей является необходимым условием для успешного ведения сельскохозяйственной деятельности и достижения высоких экономических показателей.

Задача погрузчиков простирается далеко за рамки перемещения зерна. При его пропуске через метательную машину осуществляется начальная чистка, удаление легких и мелких примесей – половы, соломки, а также уменьшение влажности зерна, что минимизирует вероятность самосогревания и улучшает условия хранения. В зависимости от климатических условий и посевных площадей схема постуборочной обработки зерна может варьироваться. В южных, юго-восточных и черноземных областях, где уборку проводят в теплое и сухое время, воздушно-солнечную сушку применяют чаще всего, многократно переворачивая зерно на временных площадках при помощи непрерывных погрузчиков. Выявлено, что один цикл через метательное устройство снижает влажность на 1-4% и температуру на 10-15°C, уничтожая вредоносных насекомых [19].

Широко известны зернометатели разработок П.Н. Платонова, А.И. Пикуза, И.А. Бороненко, С.В. Башкирова, М.М. Мисника, Я.Ф. Борщева, А.А. Кукибного, Н.А. Урханова, Г.Ф. Ханхасаева, С.Н. Шуханова, А.А. Абидуева, А.Ф. Бутенко, Н.И. Стрикунова, А.В. Асатуряна и других [1-6].

В местах с повышенной влажностью в сезон уборки (например, на Северо-Западе, Урале и в Дальневосточном регионе) зерновые культуры обрабатывают до нужной влажности посредством специализированных зерносушильных установок.

Сегодня в сельском хозяйстве применяют зернометатели ЗМ и зернопогрузчики ЗПС, которые создают сплошной поток зернового материала. В этом потоке фракции связаны между собой, что препятствует

эффективному разделению материала на качественное зерно, фураж и различные типы половы (крупные, средние и лёгкие фракции).

В своей работе Асатурян А.В. также отметил: «При метании отдельные зерна из-за различий в массе и аэродинамических свойствах приземляются на разном расстоянии от метателя» [19]. Это наблюдение позволило разработать и внедрить в практику метод предварительного сортирования зерна без использования сортировальных машин [26]. Этот способ был эффективно применен в одном из сельхозпредприятий Восточной Сибири для разделения зерен (рис. 1.9).

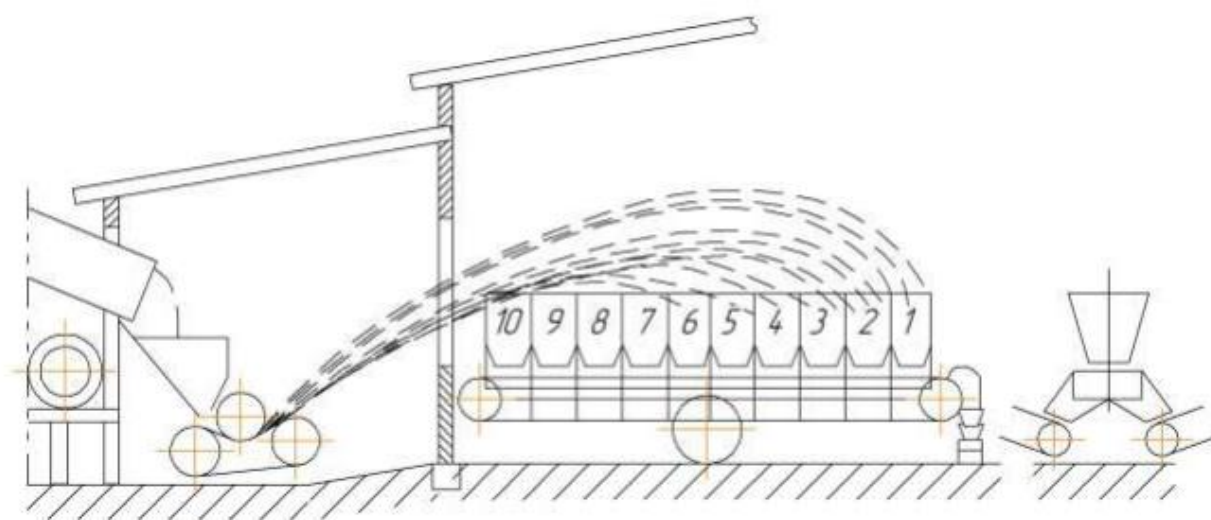


Рисунок 1.9. Механизм работы ленточного зернометателя для сортировки зерна по фракциям

Во время работы ленточного зернометателя элементы колосьев, соломенные примеси, слабые зерна невысокого качества не имеют возможности преодолеть большие расстояния при полете. Различие в массе и аэродинамических характеристиках не только выявляет качественное зерно, но и помогает оптимизировать процессы хранения и обработки. Крупное и качественное зерно, благодаря своим свойствам, преодолевает расстояние и попадает на склад, где хранится до дальнейшей переработки или транспортировки. Мелкие и слабые зерна остаются перед барьером, что позволяет их собирать и использовать в других целях, таких как

производство корма для животных или переработка в меньшем объеме. Такое распределение зерна по различным отсекам позволяет хранить его отдельно в буртах, формируемых при помощи специальных подвижных транспортеров. Однократное прохождение зерна через ленточный зернометатель данной конструкции приводит к получению травмированных семян.

Переувлажнение зерна в первые часы после сбора урожая является одной из ключевых проблем в аграрном секторе. Влага, оставшаяся на зерне или попадающая на него из окружающей среды, может стать катализатором для развития микробиологических процессов. Увеличенное содержание влаги в зерне отражается на его физических свойствах. Зерно начинает терять свою плотность и прочность, что делает его более уязвимым к механическим повреждениям при транспортировке и хранении.

Для предотвращения переувлажнения зерна сразу после сбора урожая необходимо применять комплекс мер. Сушка зерна является первоочередным этапом, который должен быть выполнен в возможно короткие сроки после его уборки.

Обработка семян остается сложным процессом, требующим многократного пропуска зернового материала через зерноочистительные машины для достижения необходимого качества. Это ведет к повышенным повреждениям семян и увеличению энергозатрат на их обработку.

Значительные потери зерна на всех этапах производства остаются одной из ключевых проблем в зерновой отрасли. Несмотря на доступность современных технологий и агротехники, фермеры не могут полностью избежать рисков, связанных с природными и климатическими условиями, вредителями и болезнями растений. Эти факторы оказывают непосредственное влияние на урожайность и экономическую эффективность сельского хозяйства. Чтобы минимизировать потери на этапе послеуборочной обработки, необходимо совершенствование материально-технической базы, так как они превышают потери при уборке в 2-3 раза. На

послеуборочную обработку приходится 30-60% общих затрат, а она составляет 40% себестоимости. Качественная и своевременная обработка зерна помогает снизить потери и улучшить его семенные, продовольственные и фуражные качества.

Текущая техника устарела и не соответствует современным стандартам. Поэтому возникает необходимость создать машины, работающие по новым принципам и обеспечивающие качественно иной уровень обработки. Особенно важны устройства, сочетающие несколько операций, такие как зернометатели, которые объединяют предварительную очистку с подсушкой и охлаждением зернового материала [141].

Зернометательные машины прошли значительный этап своего развития, начиная от самых примитивных устройств и достигая нынешних сложных систем. Благодаря совокупным усилиям научных и производственных организаций, зернометательные машины сегодня представляют собой сложные и высокоэффективные системы, способные работать в самых различных условиях и справляться с разнообразными задачами. Внедрение новых технологий и материалов постоянно совершенствует их работоспособность, делая процесс уборки, транспортировки и переработки зерна максимально продуктивным.

Разнообразные эксперименты и изучение способов увеличения эффективности использования зернометателей привели к формированию рабочей гипотезы о внедрении машин лопастного типа. При этом многие зернометательные устройства, наносящие серьезные повреждения зерновому материалу, были сняты с производства.

Лопастные зернометательные машины обладают способностью предварительно разделять зерновой поток на фракции: легкие и мелкие примеси (1), зерно с мелкими примесями (2), базисное продовольственное зерно (3), зерно с крупными примесями (4) и крупные примеси (5). Благодаря этому использование таких машин значительно уменьшает нагрузку на

установки для чистой послеуборочной обработки зерна, что существенно улучшает качество конечного продукта.

Современное сельское хозяйство требует постоянного увеличения объемов производства, повышения производительности и рентабельности выполняемых работ, сокращения времени выполнения всех производственных процессов и максимального уровня их механизации.

Все эти требования невозможно реализовать без качественного, высокопроизводительного и эффективного аграрного оборудования. А это, безусловно, требует его модернизации и оптимизации. Это касается в том числе и погрузчиков/зернометателей, которые в первую очередь предназначены для скоростной загрузки зерна с поля зернового тока (склада) в транспортные средства. Применение такой техники максимально оптимизирует трудоемкий процесс и экономит время на его выполнение.

#### **1.4. Обзор конструкций зернометательных машин**

Разделение метателей по механизму работы и их компонентов детально освещено в научных трудах [90,125,169,185,186]. Обобщенную классификационную схему зернометательных устройств представил А.В. Асатурян на рисунке 1.10 [21].



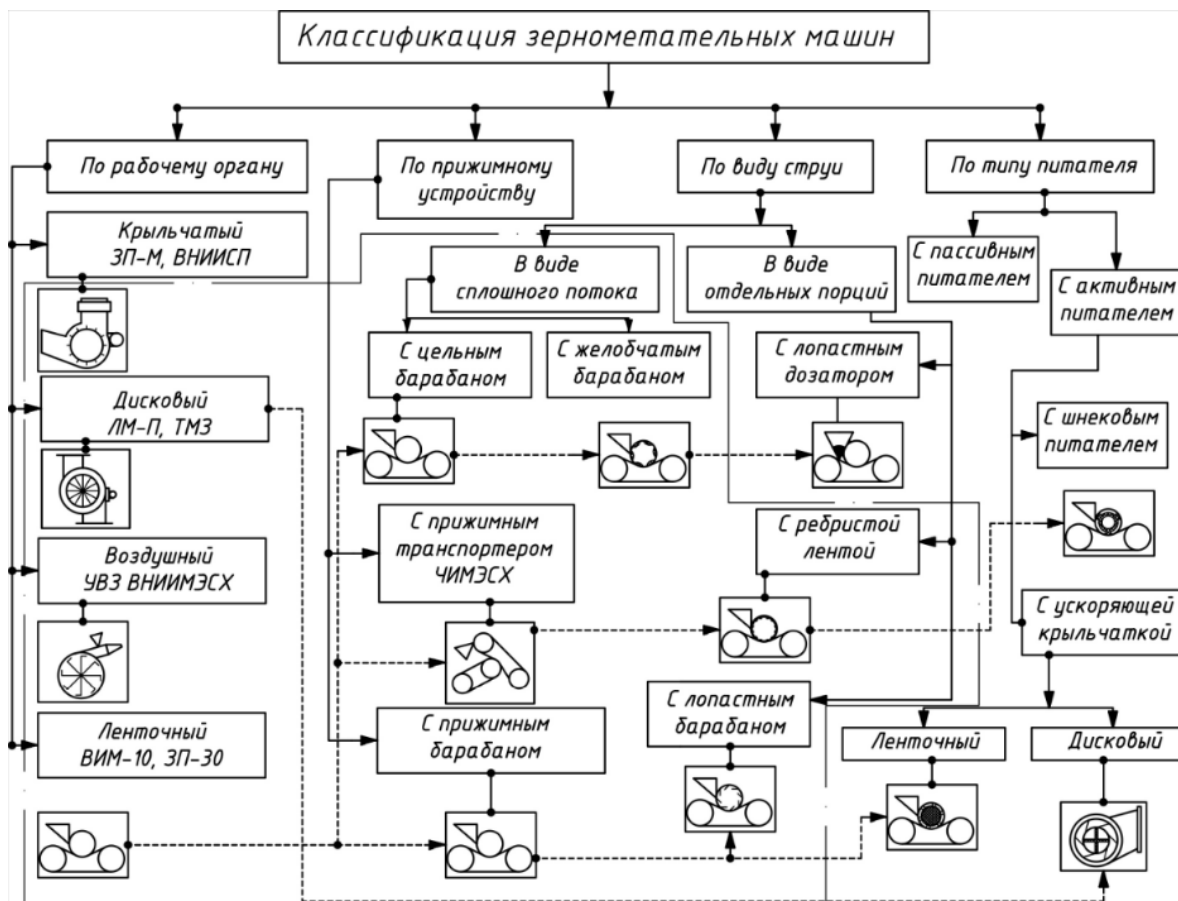


Рисунок 1.10. Классификационная схема зернометательных машин

Вентиляторные, ленточные и лопастные зернометатели являются наиболее широко используемыми. Давайте более подробно рассмотрим самые популярные из этих типов.

### 1.4.1. Вентиляторные зернометатели

Вентиляторные зернометатели являются важным элементом современного аграрного хозяйства, обеспечивая эффективное перемещение и очистку зерновых культур. Эти механизмы представляют собой сложные устройства, оснащенные высокопроизводительными вентиляторами, которые создают мощный воздушный поток для транспортировки зерна. Вентиляторные зернометатели могут использоваться в различных условиях, от небольших фермерских хозяйств до крупных агропромышленных комплексов.

Применение вентилятора для метания зерна в России впервые было осуществлено в конце 19 века, что стало важным событием в истории сельского хозяйства. До этого момента процесс сепарации и очистки зерна проводился вручную или при помощи крайне примитивных устройств, что отнимало значительное количество времени и сил у крестьян и аграриев.

При использовании вентилятора зерно засыпалось в специальную воронку, после чего включался механизм привода. Лопасти вентилятора, вращаясь с большой скоростью, создавали мощный поток воздуха, который раздувал поступающие со зерном легкие примеси и шелуху, оставляя более тяжелые зерна чистыми и готовыми к дальнейшей обработке или хранению.

Эта технология стала катализатором для других новшеств в аграрной сфере. Появились первые железные «веялки» и «очистители зерна» с более сложными и многоступенчатыми системами очистки. Их использование и широкое внедрение повысило качество продукции, уменьшило трудозатраты, что, в свою очередь, способствовало росту сельскохозяйственного производства.

В 20 веке технология продолжала совершенствоваться. В результате научно-технического прогресса были разработаны автоматизированные системы, в которых вентиляционная сепарация зерна стала одной из многочисленных операций наряду с калибровкой, очисткой от загрязнений и доведением до товарного состояния.

Процесс работы зернометателя начинается с загрузки зерна в приемный бункер. Зерновая масса поступает в зону обработки через загрузочный лоток, откуда она направляется на вращающийся шнек. Шнековый механизм обеспечивает подачу материала к вентилятору, предотвращая возможное скопление и застревание зерна.

После того как зерно попадает на шнек, оно направляется к вентилятору. Вентилятор, оснащенный мощными лопастями, создает мощный воздушный поток, который подхватывает зерновую массу и направляет её по трубе или рукаву. Важно отметить, что вентилятор

обеспечивает равномерное распределение зерна, предотвращая его комкование и образование заторов.

Воздушный поток, создаваемый вентилятором, не только транспортирует зерно, но и выполняет функцию аэрации. Финальная стадия работы зернометателя заключается в выгрузке зерна в заданное место. Это может быть транспортный контейнер, бункер, силос или любая другая ёмкость для хранения.

Зернометатель с вентилятором конструкции М.М. Мисника представляет собой эффективное устройство для перемещения и загрузки зерна, построенное на основе усовершенствованной технологии подачи и распределения воздушного потока. Конструкция этого агрегата отличается высокой производительностью и надежностью, что делает его незаменимым инструментом в сельском хозяйстве и зерновой промышленности (рис.1.11).

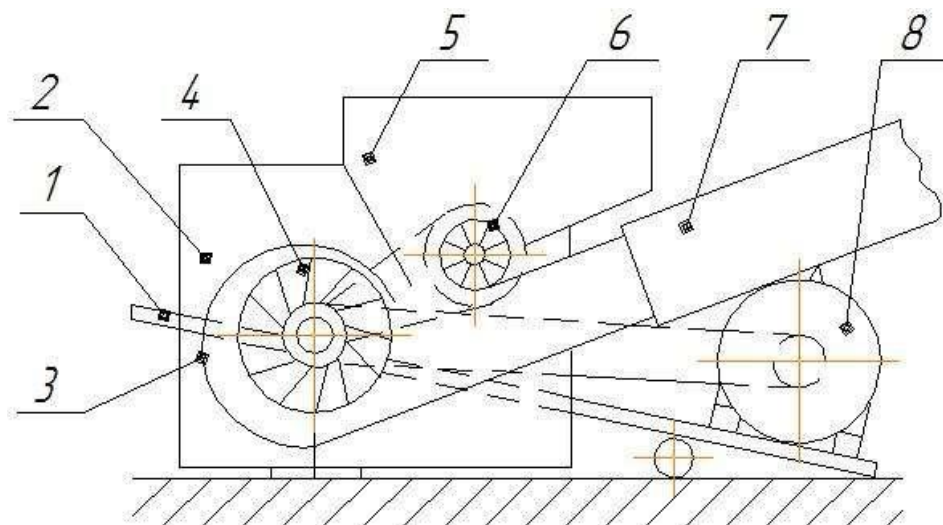


Рисунок 1.11. Зернометатель с вентилятором конструкции М.М. Мисника:  
1 – рама; 2 – вентиляторный корпус; 3 – кожух вентилятора; 4 – крыльчатка;  
5 – бункер для зерна; 6 – питательный механизм; 7 – трубопровод;  
8 – электродвигатель

Основными составными частями зернометателя являются шнековый транспортер, вентилятор, системы управления и подачи зерна. Шнековый транспортер отвечает за подачу зерна к вентиляторной установке, где создается мощный воздушный поток, направляющий зерно в нужное русло.

Вентилятор, являющийся центральным элементом устройства, генерирует поток воздуха, который способствует равномерному распределению зерна на значительные расстояния. Такой подход позволяет значительно ускорить процесс погрузки на грузоперевозочные средства или распределения зерна по складам.

Система управления зернометателем включает в себя разнообразные датчики и регулирующие механизмы, обеспечивающие поддержание оптимального режима работы. Это позволяет эффективно контролировать расход энергии и снизить эксплуатационные затраты. Особое внимание в разработке конструкции зернометателя М.М. Мисник уделил вопросам безопасности. Установлены надежные защитные экраны и автоматические системы отключения при перегрузках и других отклонениях от нормы.

Перспективы применения зернометателя с вентилятором конструкции М.М. Мисника широки и разнообразны. Кроме основного использования в сельском хозяйстве, его можно применять в зерновых элеваторах, на комбинатах хлебопродуктов и в зерновых терминалах портов. Высокая мобильность и легкость в обслуживании делают его удобным для использования в различных условиях и на разных этапах обработки зерна.

Также стоит отметить, что конструкция зернометателя достаточно гибка и может быть адаптирована для работы с различными типами зерновых культур. Это обеспечивает универсальность устройства и возможность его интеграции в различные технологические процессы.

Инновационные подходы, заложенные в конструкции зернометателя, позволяют значительно повысить производительность труда и улучшить качество работы с зерном. Внедрение такого устройства на предприятиях агропромышленного комплекса способствует повышению эффективности и экономичности производства, а также улучшению условий труда работников.

Преимущества этого зернопульта заключаются в простой конструкции, надежности и сравнительно низкой металлоемкости. Тем не менее, данная техника не нашла широкого применения из-за высокой энергоемкости и низкой производительности.

Я.Ф. Борщёв разработал «на одной из МТС Саратовской области веялку-зернопульт (рис. 1.12). Рабочие органы вентиляторного типа также комбинировались с другими элементами.

Веялка-зернопульт включает приёмный ковш с цепным элеватором, бункер 1 с рифлёным валом-распределителем 2, решётный стан 3, состоящий из двух основных решёт и одной подсевной, веяльный вентилятор 4, бункер зернопульта 5, выбросную трубу 6 и вентилятор зернопульта 7. Привод осуществляется от вала отбора мощности трактора» [93].

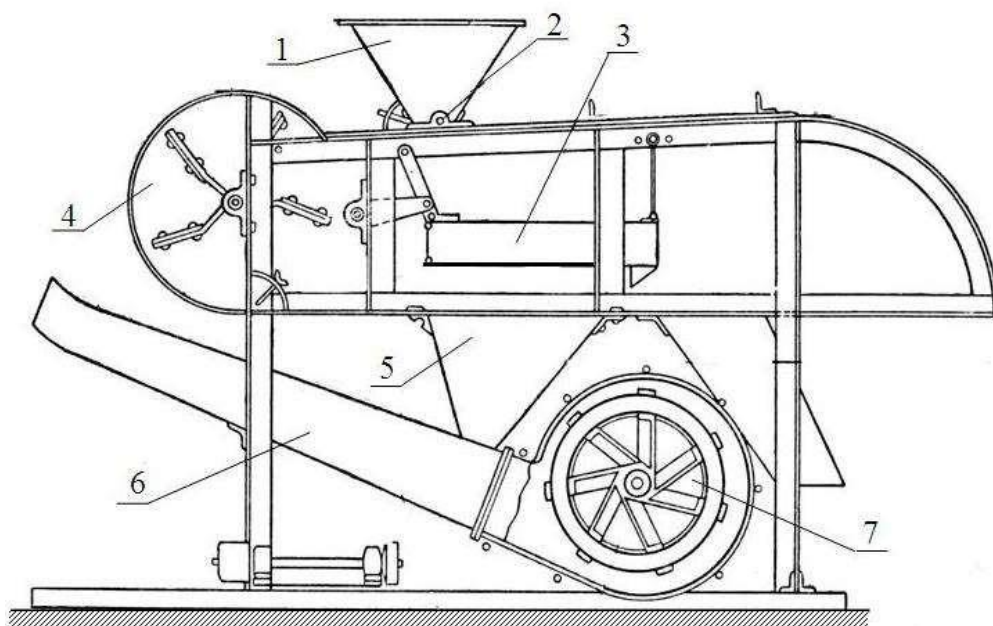


Рисунок 1.12. Веялка-зернопульт разработки Я.Ф. Борщёва:  
1 – бункер веялки; 2 – распределительный вал; 3 – решётный стан;  
4 – веяльный вентилятор; 5 – бункер зернопульта; 6 – выбросная  
труба; 7 – вентилятор зернопульта

Производительность зернопульты достигала 8-10 тонн в час. Для его эксплуатации требовалось участие семи человек. Увеличенная затрата энергии и большой штат обслуживающего персонала привели к ограниченному использованию этой машины.

Со временем фермеры и аграрные производители отказались от вентиляторных зернопульты. Главные причины этого решения заключаются в высокой энергоёмкости, относительно низкой производительности и значительных трудозатратах на обслуживание.

#### **1.4.2. Ленточные зернометатели**

В технологических процессах переработки зерна наиболее часто используются ленточные зернометатели.

Ленточный зернометатель конструкции П.Н. Платонова представляет собой инженерное устройство, предназначенное для механизированного перемещения и переработки зерновых культур на сельскохозяйственных предприятиях. Основными компонентами конструкции являются приводной механизм, ленточный транспортер и система подачи материала (рис.1.13а).

Принцип работы этого зернометателя базируется на использовании длинной конвейерной ленты, которая позволяет эффективно перемещать зерно с минимальными потерями и высокой производительностью.

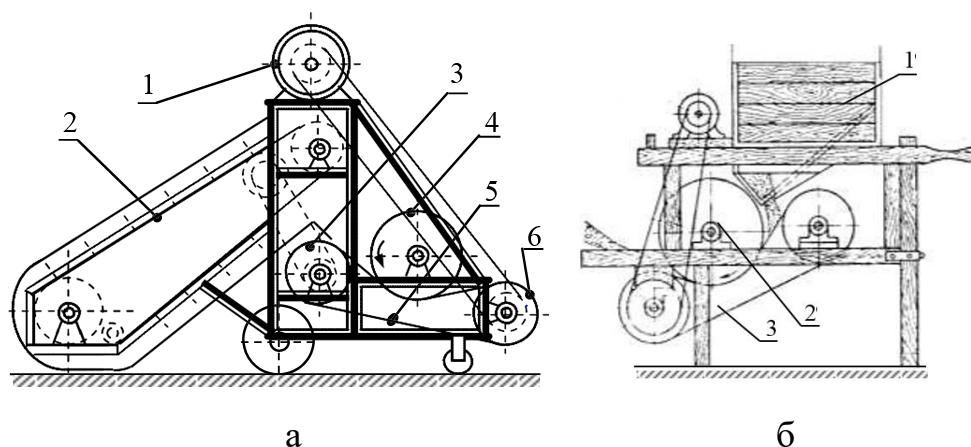


Рисунок 1.13. Конструкции ленточных зернометателей:  
 а – предложенная Платоновым; б – разработанная Одесским заводом  
 элеваторного оборудования:  
 1 – электродвигатель; 2 – приемный транспортер; 3 – ведомый  
 барабан; 4 – барабан-натяжитель; 5 – бесконечная лента;  
 б – ведущий барабан

Некоторое время спустя на фермах начали использовать зернопульт, производимый Одесским заводом элеваторной промышленности, в дополнение к машинам Платонова. Особенностью этой машины была установка на деревянной раме и наличие собственного электродвигателя (рис. 1.13б). Вместо подающего транспортера в конструкции зернопульта предусматривался приемный бункер. Рабочий процесс был схож с механизмами Платонова и Бровера. Зато зернопульт отличался множеством вариантов настройки и значительной гибкостью при применении в сфере сельского хозяйства – можно было изменять скорость его ленты от 7 до 20 м/с, а также регулировать угол метания в пределах от 15 до 60 градусов. Однако зернопульты не стали популярными среди фермеров из-за их короткого срока службы и ненадежности конструкции, изготовленной из дерева.

Перечисленные выше зернометательные устройства обладают проблемами, из которых наиболее значительной является механическое повреждение зерна рабочими элементами из-за трения и сжатия между давящим барабаном и непрерывной лентой. Резина быстро изнашивалась,

наматываясь на боковые рёбра цилиндрических барабанов и вызывая механические повреждения.

После модернизации зернометы были лишены последнего недостатка благодаря повышенному радиусу кривизны эллипсоидных поверхностей барабанов, что обеспечило надежное и равномерное движение бесконечной ленты и увеличило срок её службы до трех-четырех лет без замены [19].

В аграрной сфере применяются зернометатели ЗМ-30, предназначенные для загрузки складов и транспорта на высоту до 4 метров и создания буртов. Триммер зернометателя вращается вокруг вертикальной оси для равномерного заполнения. Модель ЗМ-60, основанная на ЗМ-30, имеет повышенную производительность и обновлена до ЗМ-60А. В состав самоходной ЗМ-60А входят платформа на трех колесах, загрузочный механизм с подающими устройствами, привод для передвижения, электрический двигатель и трубчатый направляющий триммер (рис.1.14).

ЗМ-60 служит для загрузки, транспортировки и размещения зерновых культур на различных площадках и в складах, оснащен сильным двигателем для обработки разных видов зерна.

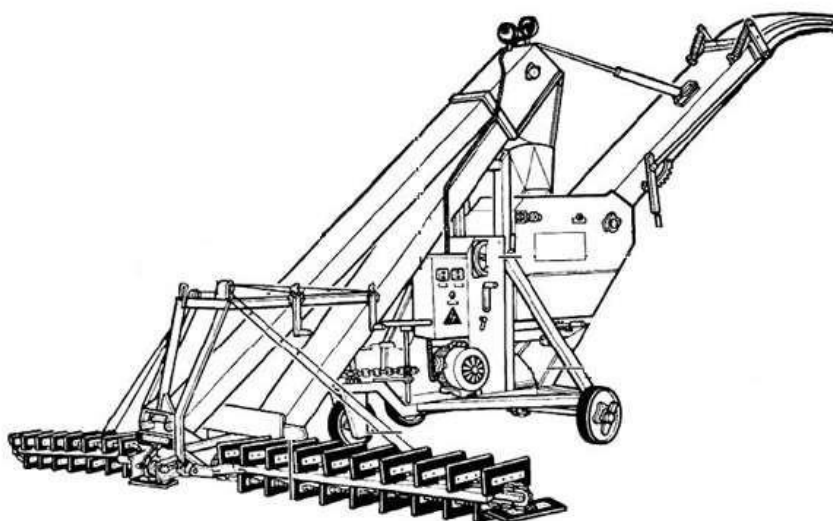


Рисунок 1.14. Самоходный зернометатель ЗМ-60А



Компактный и надежный зернометатель ЗМ-60 рассчитан на продолжительную эксплуатацию и способен функционировать в различных климатических условиях. Его конструкция предусматривает простоту в обслуживании и ремонте, что делает его незаменимым помощником для фермеров и крупных сельскохозяйственных предприятий. Благодаря регулируемой высоте выгрузного устройства, зернометатель легко адаптируется к различным типам складов и транспортных средств, обеспечивая равномерное распределение загружаемого материала.

Зернометатель также оборудован системой подачи воздуха для удаления пыли и мелкого мусора, что способствует улучшению качества перемещаемого зерна и снижению риска его порчи.

Основное отличие от зернопогрузчика ЗПС-100 заключается в том, что у ЗМ-60 вместо отгрузочного ленточного транспортера используется триммер.

Он специально разработан для механизации погрузочно-разгрузочных операций на открытых токах и в зерноскладах с производительностью до 60 т/ч. Зернометатель ЗМ-60 выполняет следующие задачи.

Погрузка зерновых и технических культур в транспортное средство с минимальными потерями и повреждениями зерна. Обмолот зернобобовых культур с высокой урожайностью и чистотой зерна. Сортировка и калибровка зерновых культур с использованием системы сит и фильтров. Вентиляция и сушка зерновых масс для предотвращения плесени и гниения. Очистка зерна от примесей и сорняков. Транспортировка зерноуборочных комбайнов благодаря компактным размерам и мобильной конструкции.

Таким образом, зернометатель ЗМ-60 представляет собой многофункциональное устройство, способное значительно повысить эффективность работы в сельскохозяйственном секторе, снизить затраты на ручной труд и обеспечить высокое качество конечного продукта.

Модернизированный зернометатель ЗМ-60А-01 представлен на рисунке 1.15.



Рисунок 1.15. Зернометатель ЗМ-60А-01

Вместо гладких сплошных лент в конструкции метателей часто используются ленты с рельефными зацепами для повышения эффективности (рис.1.16). Эти зацепы могут быть поперечными (рис. 1.16 а) или диагональными в виде «ёлочки» (рис. 1.16 б).



а)

б)

Рисунок 1.16. Ленты зернометательных машин:  
а – поперечная; б – «елочка»

Зернометатели ЗН-60 предназначены для универсального использования на открытых площадках и в зернохранилищах для выполнения следующих технологических операций (рис. 1.17): перемещение зерновых масс для формирования буртов (перекладывание зерна из общей кучи, которую доставляют на участки транспортом в период уборки урожая

непосредственно от комбайнов); механическое перемешивание зерна при его хранении насыпью для охлаждения; первичная очистка зерновых; перемещение зерна в зернохранилища или из них; погрузка зерновых культур в транспортные средства.

Эти устройства уникальны тем, что способны загружать склады с зерном до высоты 8 метров и создавать высокие насыпи на открытых территориях. Повернув триммер зернометателя на 90° в обе стороны от продольной оси рамы, можно обеспечить:

- непрерывную погрузку зерна в транспортные средства;
- равномерное распределение зернового материала при загрузке складского помещения;
- создание буртов с одним гребнем после прохождения зернометателя;
- распределение зерна из бурта для просушки на площадке и повторное формирование бурта после сушки.

Технические характеристики зернометателей.

Основными узлами зернометателя являются рама с передним ходом и механизмом поворота, загрузочный транспортер, два питателя, триммер и желоб. Питатели поднимают и опускают с помощью рукояток лебедок, соединенных с питателями канатом, а загрузочный транспортер – с помощью собственно лебедки. Привод машин – электрический, от сети с напряжением 380 В.

Рама зернометателя – сварная конструкция, являющаяся несущей частью зернометателя. Машина опирается своей массой на ходовую часть, которая состоит из двух задних колес и двух управляемых ведущих – передних. Зернометач приводят в движение с помощью червячного мотор-редуктора, размещенного на одном валу с ведущими колесами. С рамой мотор-редуктор соединяется с помощью цапфы и ступицы, а триммер – так же с помощью ступицы. Повороты зернометателя во время движения происходят с помощью рулевого колеса или мотор-редуктора – с применением пульта дистанционного управления.

Загрузочный транспортер состоит из таких элементов: верхнего и нижнего коробов, хобота и рамы, соединенных путем сварки; цепи со скребками; мотор-редуктора для движения загрузочного транспортера; мотор-редуктора для привода питателя; а также натяжной и промежуточной звездочек.

Мотор-редукторы, управляющие питателями, зафиксированы на плите рамки, тогда как мотор-редуктор, приводящий в действие загрузочный транспортер, размещен сбоку на хоботе.

Питатель состоит из щитка, каркаса, натяжной звездочки, цепи со скребками, опорного колеса и ролика. Конструкция закреплена на рамке и мотор-редукторе, во избежание осевого перемещения оно зафиксировано шайбой и шплинтом. Приводится в движение скребковая цепь с помощью звездочки, размещенной на валу мотор-редуктора, а натяжение этого транспортера обеспечивает натяжная звездочка.



Рисунок 1.17. Зернометатель ЗН-60

Зернометатели ЗЗП-60, ЗЗП-80, ЗЗП-100 (ООО «Ореховсельмаш») достаточно распространены в зернопроизводстве Украины. Особенности этой группы машин целесообразно проследить на примере зернометателя ЗЗП-80.

Зернометатель ЗЗП-80 может выбрасывать зерно на расстояние от 15 до 25 м и обеспечивает загрузку или складирование зерна высотой до 6 м. В зависимости от вида культуры максимальная дальность перемещения зерна может меняться. Ширина захвата крыльев загрузочного транспортера составляет 5,2 м. Ширина скребка – 250 мм. Зернометатель оборудован тремя электродвигателями различной мощности: в составе триммера – 5,5 кВт (1500 об/мин), подающего транспортера – 5,5 (100), для обеспечения движения – 1,1 кВт (100 об/мин). Суммарная их мощность составляет 12,1 кВт (рис. 1.18).

Ходовая часть и механизм поворота зернометателя ЗЗП-80

Особенности конструкции:

- для увеличения жесткости и увеличения срока службы рамы производитель применил горячекатанный уголок (75x75x5 мм);
- толщина металла наклонной камеры увеличена до 2 мм;
- триммер способен вращаться на 90° влево и вправо относительно продольной оси рамы;
- увеличена на 500 мм загрузка триммера, что позволило увеличить высоту подъема выгрузной трубы до 3850 мм. С поднятым козырьком высота достигает 4300 мм;
- в конструкции зернометателя присутствует дополнительный редуктор с сателлитным блоком, что позволяет избежать отключения муфты при развороте сельскохозяйственной машины;
- редуктор имеет две скорости – рабочую и транспортную; его шестерни работают в масле;
- регулировочный винт переднего хода оборудован опорным подшипником, что облегчает настройку высоты наклона наклонной камеры;
- зернометатель оснащен осветительными устройствами;
- пульт управления был модернизирован;
- пульт управления имеет тепловое реле для защиты двигателей зернометателя от перегрева.

Конструкционные особенности триммера:

- барабаны в процессе изготовления подвергаются на специальном стенде компьютерной балансировке;
- в его состав входит универсальная шевронная лента шириной 400 мм, которая имеет лучший контакт с зерном, что способствует увеличению дальности его бросания. Шеврон расположен таким образом, чтобы поток зерна формировался уже непосредственно внутри триммера;
- благодаря увеличению входного окна и совершенствованию конструкции катушки увеличена пропускная способность триммера;
- для увеличения жесткости конструкции боковины усилены распорными шпильками.

Приводить транспортер в движение можно только после включения триммера, соблюдение этого требования позволит избежать перегрузки ленты триммера.



Рисунок 1.18. Зернокидатель ЗЗП-80

Исследования, проведенные С.А. Чазовым и В.Ф. Плактиным [127,128], показали, что повреждение зерна зернопультотом может достигать 16,5 % и более (см. табл. 1.5).

Таблица 1.5 – Повреждение семян зернопультом

Точка забора пробы	Микроповреждения, %	
	общие	зародыша
Не прошедшее обработку зерно	16,3	13,5
Удаление от зернопульта 2 м	19,5	17,5
Удаление от зернопульта 4 м	27,3	19,8
Удаление от зернопульта 8 м	32,8	23,7

Асатурян А.В. сделал ряд выводов: «на основе данных отчетов МИС по дроблению зерна с использованием метателей, представленных в таблице 1.6» [19].

Таблица 1.6 – Дробление зерновых культур метателями

Организация	Сев. Кав. МИС			Приволжская МИС			Сибирская МИС			Ю. Украин МИС	
	ЗМ – 60А	ЗПС – 60	ЗС – 90	ЗМ – 60А	ЗПС – 60	ЗС – 90	ЗМ – 60А	ЗПС – 60	ЗС – 90	ЗМ – 60А	ЗПС – 60
Озимая пшеница	0,45	2,1	2,85	0,55	1,98	2,66	0,57	2,25	3,01	0,28- 0,47	1,56- 2,98
ячмень	3,4	4,5	5,13	2,98	4,02	5,9	-	3,8	5,58	2,94- 3,65	3,66- 4,25
горох	-	3,35	-	2,07	3,61	3,84	-	2,99	4,11	1,95- 2,13	2,55- 3,28

Конструкция зернометателей ЗМ-60А (или ЗМЭ-60) не всегда обеспечивает равномерное распределение зерна. В процессе работы возможно возникновение ситуаций, когда зерно перемещается с неравномерной скоростью, что может привести к его повреждению или неравномерному распределению в хранилищах. Это, в свою очередь, отрицательно сказывается на качестве хранения и потенциальной потере части урожая.

Проблема повреждения зерна в этой зоне связана с несколькими факторами. Во-первых, сила трения, возникающая при соприкосновении зерен с поверхностью барабана и ленты, может быть значительной. Это особенно актуально для зерновых культур с тонкой и легко травмируемой оболочкой. Во-вторых, относительное движение зерен в слое вороха приводит к их столкновениям и взаимному трению, что также способствует появлению микроповреждений на их поверхности.

Несмотря на важность некоторых технологических процедур, выполнение которых невозможно без зернометателей, многие модели данных машин уже сняты с производства. Это связано с неоднократными жалобами агрономов, указывающих на слишком высокую степень повреждения зерна (значительно превышающую допустимые нормы) при их использовании.

### **1.4.3. Лопастные зернометатели**

Один из первых серийных лопастных метателей был создан по проекту НИМИС и представлял собой универсальный зернопогрузчик. Производить данную машину начали в конце 40-х годов. В её конструкцию входил электродвигатель, питательная часть, элеватор и зернометатель.

Зерномёт лопастного типа имеет ротор с лопатками разной длины, вспомогательные винты и дальность метания до 17 м, производительность 60 т/ч при мощности 12 кВт, но вызывает высокие повреждения зерна [20].

Григорович предложил турбопульт, который был компактным и с низкой мощностью, но он также повреждал зерно и поэтому не получил широкого распространения (рис. 1.19).



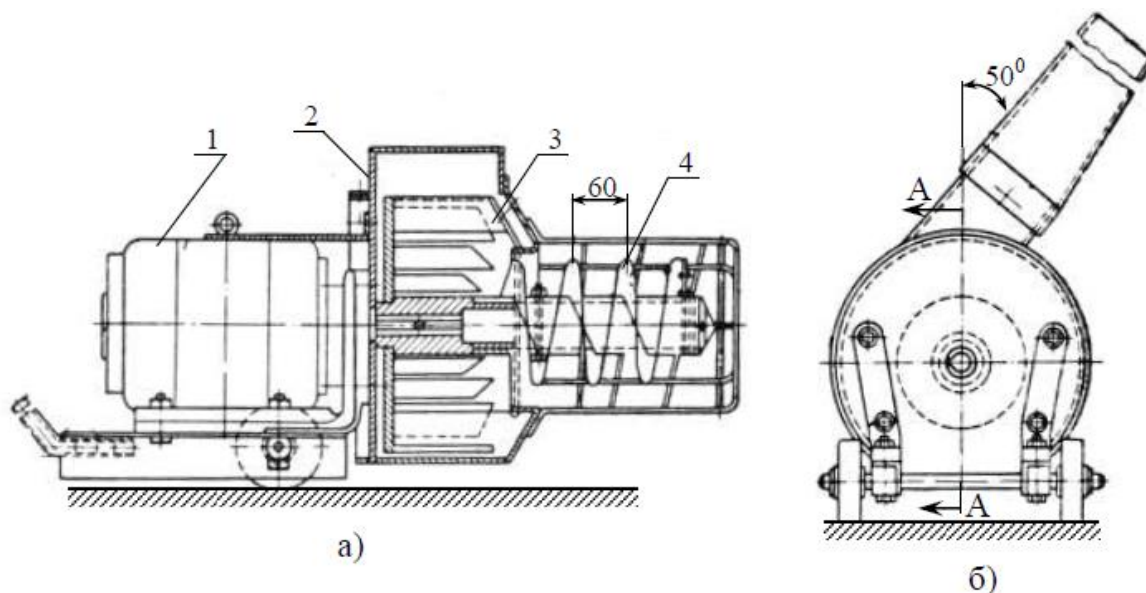


Рисунок 1.19. Турбопульт по проекту Григоровича: а – разрез вдоль оси; б – основной вид устройства; 1 – мотор; 2 – внешний каркас турбины; 3 – колесо турбинного рабочего механизма; 4 – шнек винтового типа

В качестве универсальной машины, которая не только очищает зерновой материал от различных примесей, а также одновременно его высушивает, разработан сепарирующий метатель зерна, на который получен патент на полезную модель «Метатель зерновых материалов» №227398 от 18.07.2024 г. [143].

Предложенное устройство для сепарации зерна обладает оригинальной конструкцией по сравнению с действующими вариантами: его лопасти включают две части – приемную и серповидную. На конце серповидной части располагается участок в виде конуса с радиусом кривизны  $r$ , а приемная часть покрыта резиной для уменьшения силы удара по зерну.

Сепарирующий метатель зерна включает в себя барабан и приводной механизм, оборудованный электродвигателем, регулятором скорости электродвигателя, червячным редуктором и клиноременной передачей. Система с приводом и вращающимся барабаном представляет инновационное решение для обработки зернового материала, обеспечивая

его эффективную очистку, сушку и фракционирование. Приемный бункер с регулируемой заслонкой контролирует подачу материала, предотвращая потери и способствуя равномерной обработке. Цилиндрический кожух выпускного патрубка защищает барабан, повышая долговечность системы.

Зерновой материал во вращающемся барабане перемещается под действием центробежных сил по лопастям.

Зерновой материал на периферии вращающегося барабана вылетает через выпускные каналы барабана на цилиндрическую поверхность кожуха выпускного патрубка.

Затем через выпускной канал зерновой материал по инерции вылетает в воздушный поток, где производится его сушка, охлаждение, фракционирование по удельному весу и очистка от легкой, мелкой и крупной примесей.

Все перемещения зернового материала в устройстве безударные, что снижает повреждение и травмирование зернового материала.

Особенностью данного устройства является введение инновационного элемента в конструкцию барабана: обода конусной формы, охватывающего края лопастей и создающего зазор шириной  $H$  с периферией приемного кольцевого диска. Новая конструкция лопастей состоит из двух соединённых элементов – серповидного и приёмного. Первая крепится на диске под углом  $\alpha$  к радиусу барабана, противоположному направлению его вращения, и имеет на краю округленный конусный участок с радиусом  $r$ , переходящий в конусный обод барабана. Оба сегмента лопасти имеют резиновое покрытие на рабочей поверхности. Цилиндрическая часть выпускного патрубка также оборудована резиновым покрытием. Также в нововведении предусмотрено размещение приемного диска барабана внутри цилиндрической секции выпускного патрубка и установка несущего диска с конусообразным краем за пределами этой секции.

Размещение на внешней части поддерживающего кольцевого диска барабана обода в форме конуса и приемной части барабана с зазором  $H$

позволяет выгружать материал, проходящий через щель с вращающегося барабана в виде частиц, перемещаясь от каждой лопасти к цилиндрической части выпускного патрубка. Это способствует разделению материала на отдельные частицы, которые по инерции движутся вдоль направляющей поверхности патрубка. В результате материал выпускается через выпускной патрубок в виде распыленных веерообразных потоков, каждый из которых состоит из одного слоя материала, улучшает его обработку и чистку при выдувании в воздушном потоке. Кроме того, данный признак обеспечивает плавный переход сыпучего материала с вращающегося барабана на цилиндрическую часть выпускного патрубка, что позволяет снизить повреждение и травмирование зернового материала.

Нововведенные лопасти, имеющие форму серпа со скругленным конусообразным участком радиусом  $r$  на периферии и закрепленные под углом  $\alpha$  к радиусу барабана, направленного против его вращения, снижают радиальную скорость зернового материала. Это снижает ударное воздействие на конический обод и уменьшает вероятность повреждения материала. Конусообразная конфигурация участка способствует отправке зернового материала в цилиндрическую секцию выпускного патрубка. Кроме того, на резиновой рабочей поверхности приемной и серповидной частей лопасти минимизируются повреждения зерна при его подаче на лопасти и при заборе материала. Резиновая оболочка на цилиндрическом участке выпускного патрубка уменьшает повреждение зерна при его выбросе.

### **1.5. Анализ теоретических исследований движения частиц зернового материала по лопасти зернометательных машин, а также определение мгновенной силы удара лопасти о частицу зерна**

Научные труды многих исследователей направлены на изучение зернометательных машин, подтвердивших их широкую применимость –

Абидуева А.А.[7], Авдеева Н.Е. [9], Асатурыяна А.В. [19-24], Гончарова Е.С. [41], Бутенко А.Ф. [28-31], Иванова Н.М. [103], Климок А.И. [68], Минаева В.Н. [83], Несикова А.А. [85], Урханова Н.А. [116,117], Пикуза А.И. [91], Стрикунова Н.И. [103,104], Штаермана И.Я. [130], Шуханова С.Н. [131-133], Ханхасаева Г.Ф. [120] и многих других авторов.

Универсальность зернометательных машин, по мнению этих исследователей, состоит в том, что зернометательные машины не только разделяют зерновой материал на различные фракции, но и при этом очищают исходный зерновой материал от различных примесей (легких, мелких, крупных), а также одновременно подсушивают и охлаждают зерно. Кроме того, эти машины используют для перелопачивания зернового материала и погрузки зерна в машины.

Исследователи описали движения частиц зерна по лопатке барабана для обоснования основных параметров лопастного зернометателя.

1. Шуханов С.Н. описал: «Движение зерна на лопатке барабана ленточного метателя:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} - N \sin(\varphi - \alpha) + \mu N \frac{4}{|s|} \cos(\varphi - \alpha) - k_p m v \frac{dx}{dt}$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -mg - N \cos(\varphi - \alpha) + \mu N \frac{4}{|s|} \sin(\varphi - \alpha) - k_p m v \frac{dy}{dt}, \quad (1.1)$$

где  $x, y$  – координаты движущейся частицы (материальной точки М);

$s$  – длина отрезка АМ;

$m$  – величина вектора абсолютной скорости точки М, м/с;

$m$  – масса материальной точки М, кг;

$\alpha$  – величина абсолютного ускорения материальной точки М, м/с

$N$  – величина нормальной составляющей реакции лопатки, Н;

$k_p$  – коэффициент парусности частицы, 1/м;

$\mu$  – коэффициент трения скольжения частицы с лопаткой» [133].

2. Забродин В.П. описал движение зерновки по криволинейной лопатке:

$$\xi'' = \omega_2^2 f \cdot \left[ c_1 \cdot \left( \frac{1}{f} \sin \beta + \cos \beta \right) - r_{л} - \frac{2\xi'}{\omega_2} \right] + g(\cos \omega_R - f \sin \varphi_R), \quad (1.2)$$

где  $\omega$  – угловая скорость, м/с;

$f$  – коэффициент трения;

$c_1$  – кривизна поверхности лопатки, м;

$\beta$  – угол между центробежной силой и вектором относительной скорости движения частицы, град;

$r_{л}$  – радиус кривизны поверхности лопатки, м;

$\varphi_R$  – угол трения частицы о поверхность лопатки, рад;

$\xi'$  – уравнение первого порядка относительно функции скорости [52].

Изучение повреждения зерна зерноочистительными и другими машинами послеуборочной обработки зерна занимались следующие исследователи: Абрамов Г.К. [8], Алферов С.А. [10], Глотов В.П. [39,40], Еремин В.И. [48], Кильчевский Н.А. [66], Клёнин Н.И. [67], Лебедев [78], Наумов И.А. [84], Попов А.А. [92], Птицын С.Д. [96], Пугачев А.Н. [97], Тарасенко А.П. [105-109].

В своей работе Пугачев А.Н. анализировал механические свойства зерен пшеницы [97]. Согласно результатам исследований Еремина В.И., «зерно твердой пшеницы с влажностью 9-11 % разрушается при нагрузке 15-17 кгс, тогда как зерно мягкой пшеницы поддается разрушению при 7-9 кгс» [48]. Птицын С.Д. в своих исследованиях воздействия удара на зерно установил: «что с увеличением влажности его прочность возрастает до определенного уровня, после чего значительно снижается» [96]. Исследования Тарасенко А.П. показали, «что скорость рабочих органов машин для обработки зерна до 40 м/с приводит к увеличению дробления и микротравмирования до 65-73 %» [105-109].

3. Дринча В.М. «для оценки степени динамических воздействий определил расчетную величину ударной нагрузки на груз:

$$q = 0,5mv^2, \quad (1.3)$$

где  $m$  – масса груза, кг;

$v$  – скорость груза в момент удара, м/с» [47].

4. Штаерман И.Я. для решения контактной задачи для случая взаимодействия двух тел вывел формулу определения мгновенной силы удара:

$$P = k \cdot \alpha^{\frac{3}{2}}, \quad (1.4)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от свойств материала лопасти и кривизны поверхностей частицы зерна в точке контакта;

$\alpha$  – упругая деформация частицы зерна в точке контакта [130].

5. Бутенко А.Ф. определил коэффициент  $k$  в случае удара стальной лопасти о зерновку:

$$k = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_1 E_2}{E_1(1 - \mu_2^2) + E_2(1 - \mu_1^2)} \sqrt{\frac{1}{2} \frac{1}{\Sigma r}}, \quad (1.5)$$

где  $E_1, E_2$  – модули Юнга частицы зерна и материала стальной лопасти;

$\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты Пуассона частицы зерна и материала стальной лопасти;

$\Sigma r$  – сумма главных кривизны в точке контакта частицы зерна о лопасть.

При взаимодействии стальной лопатки с зерном поверхность лопатки не деформируется и поэтому можно считать, что её кривизна равна нулю.

Также он определил упругую деформацию зерновой частицы в момент удара:

$$\alpha = \left[ \frac{5}{4} \cdot \frac{m_1 \cdot V_{H1}^2}{k} \right]^{\frac{3}{5}}, \quad (1.6)$$

где  $V_H$  – относительная скорость соударяющихся тел (далее  $V_H = V_{H1}$ );

$m_1$  – приведённая масса ударяющихся тел [31].

6. Асатурян А.В. определил коэффициент  $k$  в случае удара стальной лопасти о зерновку с учетом модуля Юнга лопасти:

$$k = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_1}{1 - \mu^2} \cdot \left( \frac{E_2}{E_1 + E_2} \right) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{c \cdot a^2}{a^2 + c^2} \right)^{1/2}, \quad (1.7)$$

где  $E_1, E_2$  – модули Юнга частицы зерна и материала лопасти;

$\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты Пуассона частицы зерна и материала лопасти;

Величины коэффициента Пуассона для стали и зерна принял равным  $\mu_1, \mu_2 = 0,3$ .

$\Sigma r$  – сумма главных кривизны в точке контакта частицы зерна о лопасть [24].

Он принял за исходное предположение, что форма зерновки имеет вид эллипсоида, размеры которого определяются полуосями  $a, c$  и шириной  $b$ . При этом кривизна поверхности лопасти не учитывалась.

При расчете коэффициента  $k$ , зависящего от материала лопасти и кривизны поверхностей зерновки в точке соприкосновения, А.В. Асатурян [24] и А.Ф. Бутенко [31] изучали удар стальной лопасти по зерновке без резинового покрытия. Таким образом, они предположили, что при этом взаимодействии деформации стальной поверхности лопасти отсутствуют, и кривизна лопасти считается равной нулю. А также при определении относительной скорости соударяющихся тел они не учитывали угол наклона лопасти в обратную сторону вращения при обрешиненной поверхности.

Таким образом, при определении  $k$  – коэффициента, зависящего от свойств материала лопасти и кривизны поверхностей частицы зерна в точке контакта исследователи при определении мгновенной силы удара не исследовали влияние удара лопасти при установке резиновых и других поверхностей на лопасти. Кроме того, не учитывали кривизну в точке контакта частицы зерна о лопасть при деформации обрешиненной лопасти.

А также не изучали мгновенную силу удара лопасти о частицу зерна при установке лопасти (влияние угла наклона лопасти при установке их в обратную сторону вращения барабана).

В результате анализа конструкций существующих зернометательных машин и теоретических исследований выявлено, что главным недостатком

универсальных зернометательных машин является повреждение и травмирование частиц зернового материала.

Поэтому была выдвинута следующая **рабочая гипотеза**:

– повышение качества обработки зернового вороха и снижение повреждения зерна в ходе обработки сепарирующим метателем можно достичь за счет уменьшения контактного давления от лопасти.

Разработан сепарирующий метатель зерна, который может работать в качестве универсальной машины, т.к. за одну процедуру возможно осуществить очистку исходного зерна от различных примесей (легкой, мелкой и крупной), подсушить и охладить. А для снижения повреждения зерна необходимо обосновать различные поверхности (резиновые, полипропиленовые и др.) при монтаже на лопастях для уменьшения мгновенной силы удара лопасти о зерновую частицу.

Предварительные исследования показали, что при изменении угла наклона лопасти в противоположную сторону вращения барабана уменьшается сила удара лопасти о зерновую частицу. Таким образом, необходимо обосновать оптимальный угол наклона лопасти при установке в обратную сторону вращения барабана.

Проанализирована эволюция зернометательных машин и их ранние применения. Описаны наиболее популярные в настоящее время зернометатели, даны их схемы и конструктивные черты, объяснен принцип действия и режимы работы. Были рассмотрены различные литературные источники по техническим средствам для послеполевой обработки зерна, находящегося в сырых и загрязненных условиях после уборки комбайнами. Это позволило выявить сильные и слабые стороны вентиляторных, ленточных и лопастных зернометателей. Проведенное исследование вопросов эффективности использования зернометательных машин позволило выдвинуть рабочую гипотезу о целесообразности применения лопастных машин из-за их низкой металло- и энергоемкости [76,77]. Однако, для использования лопастных зернометателей необходимо уменьшить



мгновенную силу удара лопасти о зерно для снижения повреждаемости зернового материала.

**Цель исследования** – повышение качества обработки зернового вороха и снижение повреждаемости зерна

**Задачи исследования:**

1. Разработать математическую модель движения зерна в сепарирующем метателе зерна.

2. Изучить взаимодействие лопасти сепарирующего метателя с зерном с целью снижения их повреждаемости.

3. Обосновать основные конструктивно-режимные параметры сепарирующего метателя зерна и определить его экономическую эффективность.

## **Глава II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА ПО ЛОПАСТИ СЕПАРИРУЮЩЕГО МЕТАТЕЛЯ ЗЕРНА**

### **2.1. Обоснование конструкции сепарирующего метателя зерна**

С каждым годом по всей стране увеличивается валовой сбор зерновых культур. В связи с этим растет потребность в современных, многофункциональных зерноочистительных машинах, способных удовлетворить потребности фермерских хозяйств.

В полной мере удовлетворяет возрастающим требованиям сепарирующий зернометатель, который способен выполнить очистку зернового материала в барабане устройства, его сушку и фракционирование при метании зерна в воздушный поток.

Для определения основных технологических параметров сепарирующего зернометателя были проведены теоретические исследования. Представлено аналитическое описание движения зернового материала, где вывели дифференциальное уравнение второго порядка, которое является линейным неоднородным с постоянными коэффициентами, описывающее перемещения зерна в сепарирующем зернометателе.

Конструирование и изготовление опытных изделий сепарирующего зернометателя должны основываться на теоретических исследованиях, которые базируются на аналитическом описании движения зернового материала по очистительному устройству сепарирующего метателя зерна. В работе представлено аналитическое описание движения зернового материала дифференциальным уравнением, распределение действия сил на частицу при движении по очистительному устройству, а также ключевые конструктивные компоненты прибора.

Зерно из приемного бункера поступает во вращающийся барабан, при этом подача материала регулируется заслонкой.

Зерновой материал во вращающемся барабане перемещается под действием центробежных сил по лопастям.

В процессе вращения материал равномерно распределяется по внутренней поверхности барабана, что обеспечивает его постепенный и эффективный выход через выпускные каналы.

Затем через выпускной канал зерновой материал по инерции вылетает в воздушный поток, где производится его сушка, охлаждение, фракционирование и очистка от легкой, мелкой и крупной примесей.

Все перемещения зернового материала в устройстве безударные, что снижает повреждение и травмирование зернового материала.

Данный рабочий орган выделяется введением нового компонента в конструкцию барабана, а именно конусообразного обода, охватывающего концы лопастей и создающего зазор шириной  $H$  с внешним краем приёмного кольцевого диска. Конический обод существенно повышает эффективность системы, распределяя нагрузку более равномерно и улучшая аэродинамические характеристики. Новая форма лопастей, состоящих из серповидной и приёмной частей, оптимизирует взаимодействие с окружающей средой. Серповидная часть прикреплена к диску под углом  $\alpha$  к радиусу барабана в направлении, противоположном его вращению, и плавно переходит в конический сегмент с радиусом  $r$ , который соединяется с ободом барабана. Такая конструкция улучшает захват и перемещение материала, при этом снижая его травмирование и повреждение.

Приёмная часть выполнена с закругленным профилем для более эффективного захвата материала, обеспечивая плавный переход потока и уменьшая вероятность засорения. Оба элемента – приёмная и серповидная части – обладают обрешиненной рабочей поверхностью.

Кроме того, новая установка предусматривает оптимизированное расположение приёмного диска барабана внутри цилиндрической части выпускного патрубка. Это решение позволяет более эффективно направлять поток материала, снижая сопротивление и потери энергии. Несущий диск с

коническим ободом, находящийся вне патрубка, способствует усиленному охлаждению и стабилизации конструкции, предотвращая перегрев и деформацию под нагрузкой.

Принцип работы заключается в том, что материал из каждой последующей лопасти попадает на цилиндрическую часть выпускного патрубка отдельными частицами, что способствует равномерному распределению порций сыпучего материала на индивидуальные частицы. Эти частицы по инерции перемещаются, следуя своей траектории вдоль направляющей поверхности патрубка, что обеспечивает их точное попадание в целевое место. В результате зерновой материал вылетает из выпускного патрубка в виде тонкого веерообразного слоя, что повышает эффективность обработки и очистки материала при его попадании в воздушный поток. Кроме того, это обеспечивает плавный переход сыпучего материала с вращающегося барабана на цилиндрическую часть выпускного патрубка, что позволяет снизить повреждение и травмирование зернового материала.

Новое конструктивное решение лопастей, представляющее собой введение серповидной секции, расположенной периферийно и закрепленной под углом  $\alpha$  к радиусу барабана, позволяет существенно снизить радиальную скорость зернового материала. Это в конечном счете приводит к уменьшению ударного воздействия на материал и снижению его повреждений при движении по лопасти вращающегося барабана.

Кроме того, конусообразный участок лопасти облегчает процесс выгрузки зернового материала, повышая эффективность его перемещения с лопасти в цилиндрическую часть выпускного патрубка. Использование обрешиненного покрытия на рабочих поверхностях приемной и серповидной частей лопасти значительно уменьшает риск повреждений и травмирования материала.

## **2.2. Теоретическое описание движения частиц зернового материала в сепарирующем метателе зерна**

В настоящее время ведутся разработки в области сепарирования и очистки зерна. Перспективной является разработка сепарирующего зернометателя. Очистительные устройства расположены в барабане сепарирующего зернометателя.

Представленный сепарирующий зернометатель с очистительными устройствами, установленный во вращающемся барабане, увеличивает эффективность очистки зернового материала, а также сушку зерна при его метании в воздушный поток, уменьшает травмирование зерна.

Сепарирующий зернометатель способен за один проход произвести охлаждение и сушку зерна, предварительную, первичную и вторичную очистку зернового материала, а также фракционирование зерна по удельной плотности с учетом геометрических размеров.

В ВСГУТУ разработан сепарирующий зернометатель, содержащий вращающийся барабан, в котором установлены сепарирующие устройства, осуществляющие очистку зернового материала от мелких примесей. Очистка производится под действием центробежных сил, значительно превышающих гравитационные, позволяющих за один проход очистить зерновой материал на 70-80 %.

По данным аналитических исследований движения частиц зернового материала в сепарирующем зернометателе получены дифференциальные уравнения. Анализ данных уравнений и экспериментальные исследования, подтверждающие аналитические исследования, позволят определить геометрические и кинематические показатели сепарирующего сепаратора для проектирования промышленного образца.

Изучением движение частиц зернового материала по лопастям машин занимались следующие ученые: Василенко П.М. [32], Жилин А.П. [50,51],

Ханхасаев Г.Ф. [120], Шуханов С.Н. [131-133], Забродин В.П. [52,53] и другие.

Для сравнительного анализа действия центробежных и гравитационных сил на частицу сопоставили результаты аналитических исследований. Действие гравитационных сил на частицу, перемещающуюся по наклонному неподвижному сепарирующему устройству, приведены в исследованиях гравитационного сепаратора.

Для исследования движения зерна в сепарирующем метателе зерна рассмотрим движение зерна по очистительному устройству. Поскольку внешние силы, действующие на зерно, расположены в плоскости вращения барабана, то зерно движется по очистительному устройству без отрыва от нее в неподвижной плоскости. Схема действия центробежных сил на частицу зернового материала во вращающемся барабане показана на рисунке 2.1.

Согласно распределению действия сил на частицу при движении по очистительному устройству (рис. 2.1), дифференциальное уравнение имеет вид:

$$m \frac{d^2S}{dt^2} = F_{\text{ц}} \cos \alpha - F_{\text{тр}} + G \sin(\beta - \alpha), \quad (2.1)$$

где  $G = mg$  – сила гравитации;

$F_{\text{тр}} = fN$  – сила трения;

$F_{\text{ц}} = mS\omega^2$  – сила центробежная;

$F_{\text{к}} = 2m\omega \frac{dS}{dt}$  – сила Кориолиса;

$m$  – масса зерна, кг;

$f$  – коэффициент трения зерна по очистительному устройству;

$N$  – сила реакции опоры, Н;

$\omega$  – угловая скорость лопатки, рад/с;

$S$  – расстояние от центра вращения барабана до зерна, м.

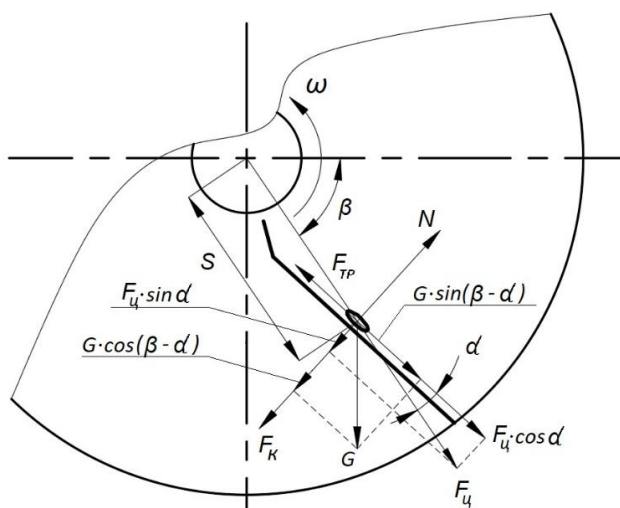


Рисунок 2.1. Распределение действия сил на частицу при движении по очистительному устройству

Уравнение равновесия зерна на очистительном устройстве:

$$N - F_k - F_{ц} \sin \alpha - G \cos(\beta - \alpha) = 0, \text{ или}$$

$$N = F_k + F_{ц} \sin \alpha + G \cos(\beta - \alpha) \quad (2.2)$$

С учетом уравнения 2 уравнение 1 примет следующий вид:

$$m \frac{d^2 S}{dt^2} = F_{ц} \cos \alpha - f F_k - f F_{ц} \sin \alpha - f G \cos(\beta - \alpha) + G \sin(\beta - \alpha) \quad (2.3)$$

Осуществляя подстановку и деление уравнения (2.3) на  $m$ , получаем следующее уравнение:

$$\frac{d^2 S}{dt^2} = S \omega^2 \cos \alpha - 2f \omega \frac{dS}{dt} - f S \omega^2 \sin \alpha - f g \cos(\beta - \alpha) + g \sin(\beta - \alpha) \quad (2.4)$$

Учитывая, что угловая скорость  $\omega$  зависит от скорости изменения угла поворота очищающего устройства, обозначив угол поворота очищающего устройства через  $\beta$ , то есть  $\omega = d\beta/dt$  или  $dt = d\beta/\omega$ , то уравнение 4 примет следующий вид:

$$\omega^2 \frac{d^2 S}{d\beta^2} + 2f \omega^2 \frac{dS}{d\beta} - S \omega^2 (\cos \alpha - f \sin \alpha) = g (\sin(\beta - \alpha) - f \cos(\beta - \alpha)),$$

или

$$\frac{d^2S}{d\beta^2} + 2f \frac{dS}{d\beta} - S(\cos \alpha - f \sin \alpha) = \frac{g}{\omega^2} (\sin(\beta - \alpha) - f \cos(\beta - \alpha)) \quad (2.5)$$

Полученная формула (2.5) перемещения частицы эллипсоидного вида по прямолинейному очистительному устройству является неоднородным линейным уравнением второго порядка, имеющая постоянные коэффициенты.

Для определения основных технологических параметров сепарирующего метателя зерна нами были проведены теоретические исследования. Представлено аналитическое описание движения зернового материала [122], где вывели дифференциальное уравнение второго порядка, которое является линейным неоднородным с постоянными коэффициентами, описывающее перемещения зерна в сепарирующем метателе зерна.

В работе представлено решение уравнения.

Дифференциальное уравнение движения зернового материала, согласно схеме сил, действующих на зерно во вращающемся барабане (рис. 2.1), имеет следующий вид:

$$m \frac{d^2S}{dt^2} = F_{\text{ц}} \cos \alpha - F_{\text{тр}} + G \sin(\beta + \alpha), \quad (2.6)$$

где  $F_{\text{тр}} = fN$  – сила трения, Н;

$f$  – коэффициент трения зерна по очистительному устройству;

$F_{\text{к}} = 2m\omega \frac{dS}{dt}$  – сила Кориолиса, Н;

$m$  – масса зерна, кг;

$\omega$  – угловая скорость лопатки, рад/с;

$N$  – сила реакции опоры, Н;

$G = mg$  – сила гравитационная, Н;

$F_{\text{ц}} = mS\omega^2$  – сила центробежная, Н;

$S$  – расстояние от центра барабана, м.

Ранее аналитически нами было получено выражение [123]:



$$\frac{d^2 S}{d\beta^2} + 2f \frac{dS}{d\beta} - S(\cos \alpha - f \sin \alpha) = \frac{g}{\omega^2} (\cos(\beta + \alpha) - f \sin(\beta + \alpha)). \quad (2.7)$$

Получили дифференциальное уравнение второго порядка, которое является линейным неоднородным с постоянными коэффициентами.

### **Решение неоднородного линейного уравнения второго порядка**

Решение дифференциального уравнения (2.1), как известно, состоит из общей части и частного решения.

Общее решение линейного неоднородного дифференциального уравнения 2-го порядка с постоянными коэффициентами имеет вид:

$$S = S_0 + S_{\text{ч}}, \quad (2.8)$$

где  $S_0$  – общее решение однородного уравнения;

$S_{\text{ч}}$  – частное решение.

Общее решение  $S_0$  зависит от значения корней характеристического уравнения  $\lambda$ . Для составления характеристического уравнения неизвестную величину заменяют единицей, ее производные – соответствующими степенями корней  $\lambda$ , сохраняют все коэффициенты и отбрасывают правую часть.

Найдем сначала общее решение однородного уравнения.

$$\frac{d^2 S}{d\beta^2} + 2f \frac{dS}{d\beta} - S(\cos \alpha - f \sin \alpha) = 0. \quad (2.9)$$

Применительно к уравнению (2.9) характеристическое уравнение примет вид:

$$\lambda^2 + 2f\lambda - (\cos \alpha - f \sin \alpha) = 0. \quad (2.10)$$

Квадратное уравнение (2.10) имеет два корня:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -f + \sqrt{f^2 + (\cos \alpha - f \sin \alpha)}, \\ \lambda_2 &= -f - \sqrt{f^2 + (\cos \alpha - f \sin \alpha)}. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Исследование выражений (2.11) показало, что при  $f = 0.1 \dots 0.4$  и  $\alpha = 0^\circ \dots 50^\circ$  получим положительную величину под корнем. Поэтому характеристическое уравнение имеет решение, а корни являются действительными числами и различны, общим решением однородного уравнения будет следующим:

$$S_0 = c_1 e^{\lambda_1 \beta} + c_2 e^{\lambda_2 \beta}, \quad (2.12)$$

где  $c_1, c_2$  – находятся по начальным условиям.

Частное решение неоднородного уравнения зависит от правой части уравнения (2.5) и корней характеристического уравнения (2.8). Частное решение ищем в виде:

$$F(\beta) = e^{\kappa \beta} [P_n(\beta) \cdot \cos(b\beta) + Q_m(\beta) \cdot \sin(b\beta)], \quad (2.13)$$

где  $\kappa, b$  – заданные постоянные;

$P_n(\beta), Q_m(\beta)$  – многочлены степени  $n$  и  $m$  соответственно.

Представим правую часть уравнения (2.5) и методами преобразования тригонометрических выражений приведем уравнение к требуемому виду (2.13).

$$F(\beta) = \frac{g}{\omega^2} (\cos(\beta + \alpha) - f \sin(\beta + \alpha)) \quad \text{или}$$

$$F(\beta) = \frac{g}{\omega^2} (\cos \alpha - f \sin \alpha) \cdot \cos \beta - \frac{g}{\omega^2} (\sin \alpha + f \cos \alpha) \cdot \sin \beta \quad \text{или}$$

$$F(\beta) = e^{0\beta} \left[ \frac{g}{\omega^2} (\cos \alpha - f \sin \alpha) \cdot \cos(1 \beta) - \frac{g}{\omega^2} (\sin \alpha + f \cos \alpha) \cdot \sin(1 \beta) \right]. \quad (2.14)$$

Из уравнений (2.13) и (2.14) находим постоянные и многочлены:  $\kappa = 0$ ,  $b = 1$ :

$$P_n(\beta) = \frac{g}{\omega^2} (\cos \alpha - f \sin \alpha), \quad Q_m(\beta) = -\frac{g}{\omega^2} (\sin \alpha + f \cos \alpha),$$

то есть  $P_n(\beta)$  и  $Q_m(\beta)$  – многочлены нулевой степени.

Поскольку число  $\kappa + bi = 0 + 1i = 1i$  не является корнем характеристического уравнения (2.4), то частное решение линейного неоднородного дифференциального уравнения второго порядка будет в виде:

$$S_{\text{ч}} = A \cos \beta + B \sin \beta. \quad (2.15)$$

Для нахождения коэффициентов  $A$  и  $B$  необходимо значение соответствующих производных уравнения (2.15) подставить в уравнение (2.5).

Производные:	Соответствующие коэффициенты:
$S_{\text{ч}} = A \cos \beta + B \sin \beta$	$-(\cos \alpha - f \sin \alpha)$
$S'_{\text{ч}} = -A \sin \beta + B \cos \beta$	$2f$
$S''_{\text{ч}} = -A \cos \beta - B \sin \beta$	$1$

Получим уравнение из сумм произведений производных с соответствующими коэффициентами:

$$\begin{aligned} & -A \cos \beta - B \sin \beta - 2fA \sin \beta + 2fB \cos \beta - \\ & -A \cos \beta (\cos \alpha - f \sin \alpha) - B \sin \beta (\cos \alpha - f \sin \alpha) = \\ & = \frac{g}{\omega^2} (\cos \alpha - f \sin \alpha) \cdot \cos \beta - \frac{g}{\omega^2} (\sin \alpha + f \cos \alpha) \cdot \sin \beta. \quad (2.16) \end{aligned}$$

Затем получим систему уравнений приравнивая коэффициенты при  $\sin \beta$  и  $\cos \beta$ :

$$\begin{cases} B + 2fA + B(\cos \alpha - f \sin \alpha) = \frac{g}{\omega^2} (\sin \alpha + f \cos \alpha); \\ -A + 2fB - A(\cos \alpha - f \sin \alpha) = \frac{g}{\omega^2} (\cos \alpha - f \sin \alpha). \end{cases} \quad (2.17)$$

Решив систему уравнений (2.17), найдем коэффициенты  $A$  и  $B$ :

$$A = -\frac{g}{\omega^2} \cdot \frac{f^2 (\sin \alpha)^2 - 2f^2 \cos \alpha - 2f \cos \alpha \sin \alpha - 3f \sin \alpha + (\cos \alpha)^2 + \cos \alpha}{f^2 (\sin \alpha)^2 + 4f^2 - 2f \cos \alpha \sin \alpha - 2f \sin \alpha + (\cos \alpha)^2 + 2 \cos \alpha + 1}; \quad (2.18)$$

$$B = \frac{g}{\omega^2} \cdot \frac{f(\cos \alpha)^2 - 2f^2 \sin \alpha - f^2 \cos \alpha \sin \alpha + 3f \cos \alpha - f(\sin \alpha)^2 + \cos \alpha \sin \alpha + \sin \alpha}{f^2 (\sin \alpha)^2 + 4f^2 - 2f \cos \alpha \sin \alpha - 2f \sin \alpha + (\cos \alpha)^2 + 2 \cos \alpha + 1}. \quad (2.19)$$

Представим общее решение дифференциального уравнения (5) в виде:

$$S = S_0 + S_q = c_1 e^{\lambda_1 \beta} + c_2 e^{\lambda_2 \beta} + A \cos \beta + B \sin \beta . \quad (2.20)$$

Величины постоянных коэффициентов  $c_1$  и  $c_2$  определяем из начальных условий, для чего находим производную уравнения (2.20) и получаем переносную скорость:

$$U_e = \frac{dS}{d\beta} = c_1 \lambda_1 e^{\lambda_1 \beta} + c_2 \lambda_2 e^{\lambda_2 \beta} - A \sin \beta + B \cos \beta , \quad (2.21)$$

поскольку  $d\beta = \omega \cdot dt$  и  $\frac{dS}{d\beta} = \frac{dS}{\omega dt}$ , получим:

$$\frac{dS}{dt} = \omega (c_1 \lambda_1 e^{\lambda_1 \beta} + c_2 \lambda_2 e^{\lambda_2 \beta} - A \sin \beta + B \cos \beta) . \quad (2.22)$$

Рассмотрим данные начального условия  $\beta = \beta_0$ ,  $S = S_0$ ,  $U = U_0$ , тогда получим:

$$S_0 = c_1 e^{\lambda_1 \beta_0} + c_2 e^{\lambda_2 \beta_0} + A \cos \beta_0 + B \sin \beta_0 . \quad (2.23)$$

$$U_0 = \omega (c_1 \lambda_1 e^{\lambda_1 \beta_0} + c_2 \lambda_2 e^{\lambda_2 \beta_0} - A \sin \beta_0 + B \cos \beta_0) . \quad (2.24)$$

Решим систему из двух уравнений (2.23, 2.24) и найдем искомые коэффициенты  $c_1$  и  $c_2$ :

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{1}{e^{\lambda_1 \beta_0}} \cdot \frac{U_0 - \omega \lambda_2 S_0 + A(\omega \sin \beta_0 + \omega \lambda_2 \cos \beta_0) - B(\omega \cos \beta_0 - \omega \lambda_2 \sin \beta_0)}{\omega \lambda_1 - \omega \lambda_2} ; \\ c_2 &= - \frac{U_0 - \omega \lambda_1 S_0 + A(\omega \sin \beta_0 + \omega \lambda_1 \cos \beta_0) - B(\omega \cos \beta_0 - \omega \lambda_1 \sin \beta_0)}{\omega e^{\lambda_2 \beta_0} (\lambda_1 - \lambda_2)} . \end{aligned} \quad (2.25)$$

Найденные значения постоянных коэффициентов  $c_1$  и  $c_2$  подставим в уравнение (18) и получим следующее выражение:

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{e^{\lambda_1 \beta_0}} \cdot \frac{U_0 - \omega \lambda_2 S_0 + A(\omega \sin \beta_0 + \omega \lambda_2 \cos \beta_0) - B(\omega \cos \beta_0 - \omega \lambda_2 \sin \beta_0)}{\omega \lambda_1 - \omega \lambda_2} \cdot e^{\lambda_1 \beta} - \\ &- \frac{U_0 - \omega \lambda_1 S_0 + A(\omega \sin \beta_0 + \omega \lambda_1 \cos \beta_0) - B(\omega \cos \beta_0 - \omega \lambda_1 \sin \beta_0)}{\omega e^{\lambda_2 \beta_0} (\lambda_1 - \lambda_2)} \cdot e^{\lambda_2 \beta} + \\ &+ A \cos \beta + B \sin \beta . \end{aligned} \quad (2.26)$$

Коэффициенты  $A$  и  $B$  подставим в уравнение (2.26) и получим искомое решение дифференциального уравнения (2.5):

$$\begin{aligned}
 S = & \frac{1}{e^{\lambda_1 \beta_0}} \cdot \frac{U_0 - \omega \lambda_2 S_0 + \left[ -\frac{g}{\omega^2} \cdot \frac{f^2 (\sin \alpha)^2 - 2f^2 \cos \alpha - 2f \cos \alpha \sin \alpha - 3f \sin \alpha +}{f^2 (\sin \alpha)^2 + 4f^2 - 2f \cos \alpha \sin \alpha - 2f \sin \alpha +} \right. \\
 & \left. \frac{+ (\cos \alpha)^2 + \cos \alpha}{+ (\cos \alpha)^2 + 2 \cos \alpha + 1} \right] \cdot (\omega \sin \beta_0 + \omega \lambda_2 \cos \beta_0) - \left[ \frac{g}{\omega^2} \cdot \frac{f (\cos \alpha)^2 - 2f^2 \sin \alpha -}{f^2 (\sin \alpha)^2 + 4f^2 -} \right. \\
 & \left. \frac{-f^2 \cos \alpha \sin \alpha + 3f \cos \alpha - f (\sin \alpha)^2 + \cos \alpha \sin \alpha + \sin \alpha}{-2f \cos \alpha \sin \alpha - 2f \sin \alpha + (\cos \alpha)^2 + 2 \cos \alpha + 1} \right] \cdot (\omega \cos \beta_0 - \omega \lambda_2 \sin \beta_0)}{\omega \lambda_1 - \omega \lambda_2} \cdot e^{\lambda_1 \beta} - \\
 & \frac{U_0 - \omega \lambda_1 S_0 + \left[ -\frac{g}{\omega^2} \cdot \frac{f^2 (\sin \alpha)^2 - 2f^2 \cos \alpha - 2f \cos \alpha \sin \alpha - 3f \sin \alpha + (\cos \alpha)^2 + \cos \alpha}{f^2 (\sin \alpha)^2 + 4f^2 - 2f \cos \alpha \sin \alpha - 2f \sin \alpha + (\cos \alpha)^2 + 2 \cos \alpha + 1} \right] \cdot}{\omega e^{\lambda_2 \beta_0} (\lambda_1 - \lambda_2)} \cdot \\
 & \left. (\omega \sin \beta_0 + \omega \lambda_1 \cos \beta_0) - \left[ \frac{g}{\omega^2} \cdot \frac{f (\cos \alpha)^2 - 2f^2 \sin \alpha - f^2 \cos \alpha \sin \alpha + 3f \cos \alpha -}{f^2 (\sin \alpha)^2 + 4f^2 - 2f \cos \alpha \sin \alpha - 2f \sin \alpha +} \right. \right. \\
 & \left. \left. \frac{-f (\sin \alpha)^2 + \cos \alpha \sin \alpha + \sin \alpha}{+ (\cos \alpha)^2 + 2 \cos \alpha + 1} \right] \cdot (\omega \cos \beta_0 - \omega \lambda_1 \sin \beta_0) \right] \cdot e^{\lambda_2 \beta} - \\
 & - \frac{g}{\omega^2} \cdot \frac{f^2 (\sin \alpha)^2 - 2f^2 \cos \alpha - 2f \cos \alpha \sin \alpha - 3f \sin \alpha + (\cos \alpha)^2 + \cos \alpha}{f^2 (\sin \alpha)^2 + 4f^2 - 2f \cos \alpha \sin \alpha - 2f \sin \alpha + (\cos \alpha)^2 + 2 \cos \alpha + 1} \cdot \cos \beta + \frac{g}{\omega^2} \cdot \\
 & \frac{f (\cos \alpha)^2 - 2f^2 \sin \alpha - f^2 \cos \alpha \sin \alpha + 3f \cos \alpha - f (\sin \alpha)^2 + \cos \alpha \sin \alpha + \sin \alpha}{f^2 (\sin \alpha)^2 + 4f^2 - 2f \cos \alpha \sin \alpha - 2f \sin \alpha + (\cos \alpha)^2 + 2 \cos \alpha + 1} \\
 & \cdot \sin \beta. \tag{2.27}
 \end{aligned}$$

Подставим коэффициенты  $c_1$  и  $c_2$  в выражение (2.24), получим уравнение переносной скорости:

$$\begin{aligned}
 U_e = & \frac{1}{e^{\lambda_1 \beta_0}} \cdot \frac{U_0 - \omega \lambda_2 S_0 + A(\omega \sin \beta_0 + \omega \lambda_2 \cos \beta_0) - B(\omega \cos \beta_0 - \omega \lambda_2 \sin \beta_0)}{\omega \lambda_1 - \omega \lambda_2} \cdot \lambda_1 e^{\lambda_1 \beta} - \\
 & \frac{U_0 - \omega \lambda_1 S_0 + A(\omega \sin \beta_0 + \omega \lambda_1 \cos \beta_0) - B(\omega \cos \beta_0 - \omega \lambda_1 \sin \beta_0)}{\omega e^{\lambda_2 \beta_0} (\lambda_1 - \lambda_2)} \cdot \lambda_2 e^{\lambda_2 \beta} - \\
 & - A \sin \beta + B \cos \beta. \tag{2.28}
 \end{aligned}$$

Полученное уравнение (2.27) представляет собой уравнение перемещения частицы сыпучего материала во вращающемся барабане сепарирующего метателя зерна и показывает изменение расстояния от центра вращения барабана до зерна. Уравнение (2.28) позволяет определить переносную скорость движения зерна.

Для проверки аналитически полученных выражений (2.26-2.27) подставляем значения:  $S_0 = 0.085$  м,  $U_0 = 0$  м/с,  $\beta_0 = 0^\circ$ ,  $\omega = 37.7$  рад/с,  $f = 0.4$  (коэффициент трения зерен пшеницы по стальному листу),  $\alpha = -20^\circ, 0^\circ$  и  $+20^\circ$  и, подставляя угол  $\beta$  с шагом вращения барабана в 10 градусов, получили результаты расчета по выражению 2.23 и вставили их в таблицу 2.1. Затем на экспериментальной установке (рис. 4.2) были проведены эксперименты при этих значениях параметров  $S_0, U_0, \beta_0, \omega, \alpha = -20^\circ, 0^\circ$  и  $+20^\circ$  и угол  $\beta$  с шагом вращения барабана в 10 градусов и по полученным результатам построили экспериментальные траектории (линии пунктирные) перемещения зерна пшеницы в зависимости от угла наклона лопасти  $\beta$  (рис. 2.2).

Таблица 2.1 – Результаты теоретических исследований

$\beta$ , град.	$S$ , м. при $\alpha = -20^\circ$	$S$ , м. при $\alpha = 0^\circ$	$S$ , м. при $\alpha = 20^\circ$
0	0.085	0.085	0.085
10	0.08644	0.08634	0.08607
20	0.09056	0.09014	0.0891
30	0.09711	0.09618	0.09387
40	0.10597	0.1043	0.10024
50	0.11708	0.11443	0.1081
60	0.13047	0.12657	0.11739
70	0.14622	0.14076	0.12812
80	0.16447	0.15712	0.1403
90	0.18542	0.17577	0.154
100	0.20932	0.19692	0.16928
110	0.23648	0.22082	0.18629
120	0.26729	0.24776	0.20515
130	0.30217	0.27808	0.22604
140	0.34164	0.31219	0.24918
150	0.38628	0.35056	0.27478
160	0.43681	0.3937	0.30313
170	0.49389	0.44224	0.33452
180	0.55852	0.49685	0.36929

По данным таблицы построим теоретические траектории (см. рис. 2.2, траектория 1). Поскольку коэффициенты трения зерен пшеницы по стальному листу отличаются в зависимости от состояния поверхности зерна, а также подача зерен неравномерная, то их траектории движения в реальных условиях различны (см. рис. 2.2, экспериментальные траектории 2), а вылет зерен наблюдается в определенном секторе 3 (рис. 2.2).

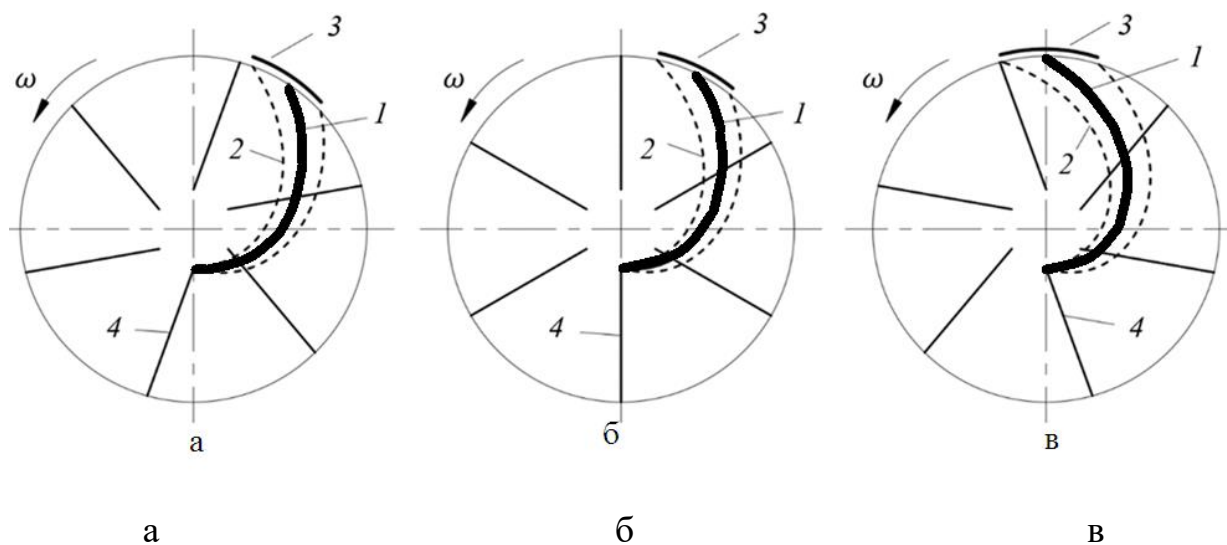


Рисунок 2.2. Теоретические и экспериментальные траектории перемещения зерна пшеницы в зависимости от угла наклона

очистительного устройства:

а –  $-20^\circ$ ; б –  $0^\circ$ ; в –  $+20^\circ$ ;

1 – теоретические траектории; 2 – экспериментальные траектории;

3 – наблюдаемый сектор; 4 – сплошные лопасти

Решением дифференциального уравнения второго порядка, которое является линейным неоднородным с постоянными коэффициентами (2.1) являются выражения (2.27) и (2.28). Выражения адекватно описывают траекторию перемещения зерен пшеницы в барабане сепарирующего метателя зерна.

### 2.3. Обоснование материала лопасти сепарирующего метателя зерна

Анализ процесса работы разработанного рабочего органа показывает, что в сравнении с другими зернометательными машинами удар со стороны лопасти сепарирующего метателя зерна о частицу зерна значительно уменьшается за счет установки на лопастях резиновых или других покрытий. При контакте частицы зерна с лопастью степень взаимодействия характеризуется мгновенной силой удара.

Многочисленные исследования [66,129,130] позволяют определить мгновенную силу удара лопасти зернометательной машины о частицу зерна.

Когда лопасть зернометательной машины ударяет по зерну, прилагаемая сила вызывает структурные изменения в его материале в рамках упругой деформации. Чем сильнее удар, тем больше вероятность значительных повреждений зерна. В этом контексте гипотеза Герца становится незаменимым инструментом для точного определения мгновенной силы удара. Применение данной гипотезы позволяет учитывать ограничения упругой деформации, что играет ключевую роль в прогнозировании последствий удара. Это особенно важно для разработки методов, направленных на минимизацию повреждений зерна и повышение его качества. И.Я. Штаерман, используя гипотезу Герца, решил задачу взаимодействия лопасти о частицу зерна в случае удара лопасти о частицу зерна. Чтобы определить мгновенную силу удара лопасти по частице зерна в конкретной точке в момент контакта, была предложена следующая формула [182]:

$$P = k \cdot \alpha^{\frac{3}{2}}, \quad (2.29)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от кривизны поверхностей частицы зерна в точке контакта и от свойств материала лопасти;  $\alpha$  – упругая деформация частицы зерна в точке контакта;



Для определения коэффициента  $k$ , зависящего от кривизны поверхностей частицы зерна в точке контакта и от свойств материала лопасти, Бутенко А.Ф. предложил формулу:

$$k = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_1 E_2}{E_1(1 - \mu_2^2) + E_2(1 - \mu_1^2)} \sqrt{\frac{1}{2} \frac{1}{\Sigma r}}, \quad (2.30)$$

где  $E_1, E_2$  – модули Юнга частицы зерна и материала лопасти;  $\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты Пуассона частицы зерна и материала лопасти;  $\Sigma r$  – сумма главных кривизны в точке контакта частицы зерна о лопасть. При установлении коэффициента  $k$ , который зависит от кривизны поверхности зерна в месте контакта и от свойств материалов лопасти, было допущено, что форма зерна аналогична эллипсоиду вращения с полуосями  $a$  и  $c$  и шириной  $b$ . Предполагалось, что при контакте лопатки и зерна поверхность лопатки останется неизменной, учитывая, что лопатка изготовлена из стали, то есть кривизна её поверхности равна нулю. Приведенная кривизна зерна будет определяться через радиусы кривизны следующим образом:

$$r_{11} = \frac{b}{2} = c; \quad r_{12} = \frac{a^2}{c}. \quad (2.31)$$

И тогда с учётом формул (2.30) и (2.31) Бутенко А.Ф. предложил формулу для определения коэффициента  $k$ , зависящего от кривизны поверхностей частицы зерна в точке контакта и от свойств материала лопасти:

$$k = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_1}{(1 - \mu_1^2)} \cdot \left( \frac{E_2}{E_1 + E_2} \right) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{ca^2}{a^2 + c^2} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.32)$$

Для обоснования материала поверхности лопасти сепарирующего метателя зерна определяли коэффициент  $k$ , зависящий от кривизны поверхностей частицы зерна в точке контакта и от свойств материала лопасти, используя формулу (2.31) при установке на лопасти резиновых покрытий и полимерных покрытий, считая, что данные покрытия лопасти сепарирующего метателя зерна уменьшат данный коэффициент и тем самым

уменьшат силу удара лопасти о частицу зерна. При этом уменьшится количество дробленого, поврежденного зерна.

При определении кривизны нельзя пренебрегать предположением о том, что форма зерновой частицы соответствует эллипсоиду вращения с полуосями  $a$ ,  $c$  и шириной  $b$  (рис. 2.3).

Кроме того, принимается во внимание следующее допущение: при взаимодействии резиновой поверхности лопасти с зерновой частицей в точке контакта поверхность резины деформируется соразмерно форме зерна (рис. 2.3), тогда радиусы кривизны при ударе лопасти с обрезиненной поверхностью о частицу зерна  $r_{21}$ ,  $r_{22}$  находим так же, как и  $r_{11}$ ,  $r_{12}$ .

В итоге сумма основных кривизны двух соприкасающихся поверхностей обрезиненной лопасти и частицы зерна равна:

$$\Sigma r = \frac{1}{r_{11}} + \frac{1}{r_{12}} + \frac{1}{r_{21}} + \frac{1}{r_{22}}, \quad (2.33)$$

где  $r_{21}$ ,  $r_{22}$  – кривизны обрезиненной поверхности лопасти, мм.

Тогда с учётом формул (2.31) и (2.32) выражение (2.30) принимает вид:

$$k = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1(1 - \mu_2^2) + E_2(1 - \mu_1^2)} \cdot \sqrt{0,25 \cdot \frac{c \cdot a^2}{a^2 + c^2}}, \quad (2.34)$$

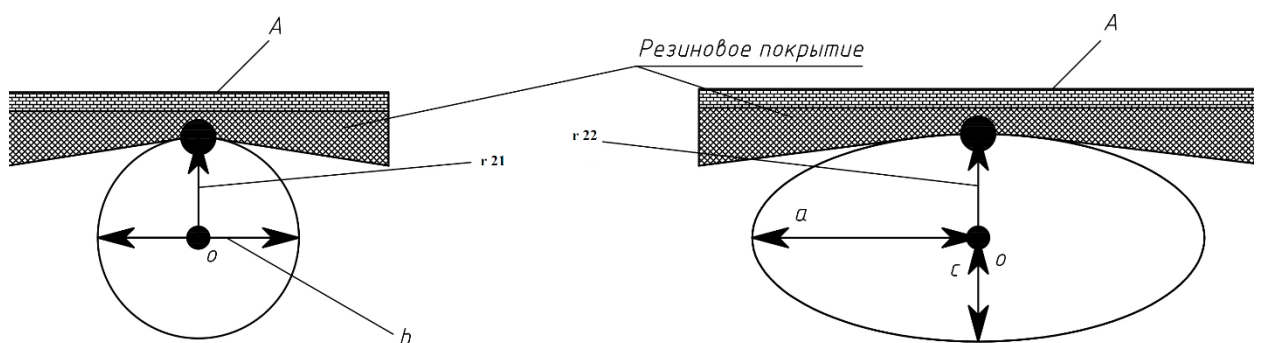


Рисунок 2.3. Схема удара частицы зерна об обрезиненную поверхность лопасти сепарирующего метателя зерна

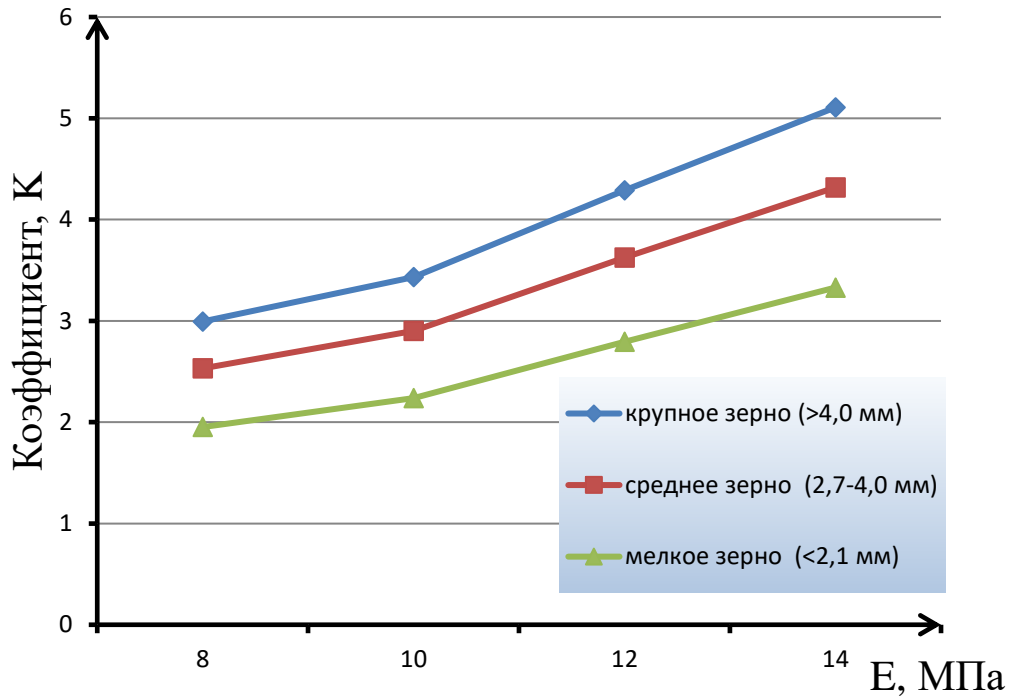
Анализ выражения (2.34), когда на лопасти установлено резиновое покрытие, показывает, что при установке на лопастях резиновых покрытий модуль Юнга для резины ( $E_{рез} = E_2 = 2 \dots 18$  МПа), а модуль Юнга для частиц зерна (обозначается  $E_{зер}$ ) составляет от 10 до 40 МПа. Для резины коэффициент Пуассона равен  $\mu_2$  и составляет 0,5. Что касается стальных лопастей, модуль Юнга для стали ( $E_{стали}$  или  $E_2$ ) равняется  $2 \cdot 10^5$  МПа. Известно также, что коэффициент Пуассона для стали находится в диапазоне от 0,25 до 0,33. Принимая  $\mu_2 = 0,3$ , рассчитав  $k$  для стальных лопастей при контакте зерновки с лопастью при ударе среднего зерна, то  $k_{стали} = 18,48$ .

Рассчитаем коэффициент  $k$ , зависящий от материала поверхности лопасти и кривизны поверхностей тел в точке контакта при установке на лопастях резиновых покрытий для крупного, среднего и мелкого зерна (пшеницы) (рис. 2.4 а). Анализ данных графика показал, что коэффициент  $k$  изменяется от 1 до 6 в зависимости от модуля Юнга от 2 до 18. Среднее значение коэффициент  $k$ , зависящего от поверхности лопасти, установленной резиновым покрытием и кривизны поверхностей тел в точке контакта, составляет 3,35 для среднего зерна при  $E=10$  МПа.

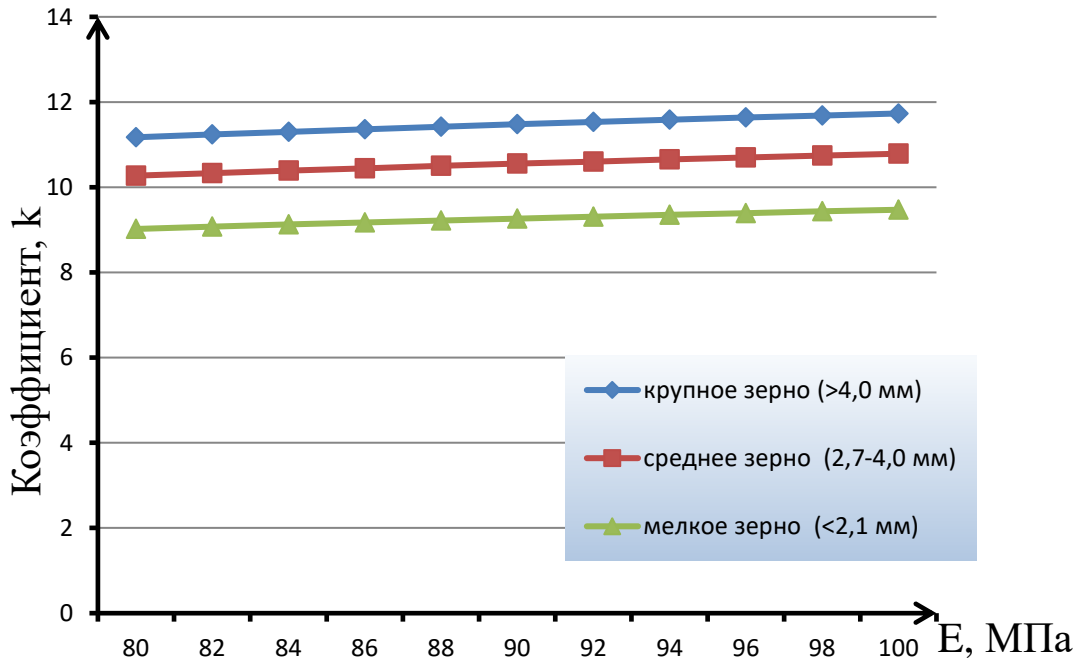
Таким образом, коэффициент  $k$  от материала поверхности лопасти и кривизны поверхностей тел в точке контакта при установке на лопастях резиновых покрытий в 5,51 раз меньше, чем при ударе зерновки о стальную лопасть.

Аналогично рассчитали коэффициент  $k$ , зависящий от материала поверхности лопасти и кривизны поверхностей тел в точке контакта, при покрытии лопасти полимерными покрытиями (капролоном) ( $E_{капролон} = E_2 = 80 \dots 100$  МПа) (рис. 2.4 б). Коэффициент Пуассона для капролона составляет  $\mu_2 = 0,43$ . Средний коэффициент  $k$ , зависящий от материала поверхности лопасти и кривизны поверхностей тел в точке контакта, при покрытии лопасти полимерными покрытиями (капролоном) при  $E_{капролон} = 90$  МПа

для среднего зерна составляет 10,2, это в 2,7 раза выше, чем при покрытии лопасти резиновыми покрытиями.



а – для резиновых покрытий



б – для полимерных покрытий

Рисунок 2.4. Коэффициент к, зависящий от материала поверхности лопасти и кривизны поверхностей тел в точке контакта

Поэтому мы выбираем резиновые покрытия для лопастей зернового сепаратора, где коэффициент  $k$  определяется материалом поверхности лопасти и кривизной контактирующих поверхностей, что намного меньше, чем при покрытии лопасти полимерными покрытиями.

Таким образом, сила, воздействующая в момент столкновения зерновки с лопастями сепарирующего метателя с резиновыми покрытиями, будет значительно ниже, что приведет к уменьшению дробления зерновых частиц.

Исследования показали, что происходит при контакте зерна с лопастью метательного устройства, где величина мгновенной силы при ударе определяется коэффициентом  $k$ , который зависит от материала поверхности лопасти и кривизны контактирующих поверхностей, а также от упругой деформации зерновой частицы в точке контакта.

Анализ коэффициента  $k$ , зависящего от материала лопасти и кривизны контактирующих поверхностей, подтвердил значимость этих факторов. При покрытии лопасти резиновыми покрытиями в 2,7 раза меньше, чем при покрытии лопасти полимерными покрытиями (капролоном).

Таким образом, используем резиновое покрытие на лопастях зерноочистительного устройства, при котором коэффициент  $k$ , зависящий от материала поверхности лопастей и кривизны контактирующих поверхностей, значительно меньше, чем при отсутствии покрытия на лопастях.

#### **2.4. Теоретические исследования процесса взаимодействия частиц зерна с лопастью, на которой установлены резиновые покрытия**

В результате теоретических исследований рабочего органа сепарирующего метателя зерна обосновано установка на лопасти резиновых покрытий, которые снижают мгновенную силу удара лопасти о частицу зерна.

Известно, что в момент удара лопасти о частицу зерна упругая деформация частицы равна [24]:

$$\alpha = \left[ \frac{5}{4} \frac{m V_H^2}{k} \right]^{\frac{2}{5}}, \quad (2.35)$$

где  $V_H$  – относительная скорость соударяющихся тел (далее  $V_H = V_{H1}$ );  
 $m$  – приведенная масса ударяющихся тел:

$$m = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} = m_1 \left( \frac{m_2}{m_1 + m_2} \right), \quad (2.36)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – массы, соответственно, зерна и лопасти.

Имея в виду то, что масса лопасти во много раз превышает массу частицы, в выражении (2.36) множитель в скобках приближённо равен 1. Исходя из этого приняли, что приведённая масса равна массе частицы зерна ( $m = m_1$ ).

С учётом всех изменений формула (1) приобретает следующий вид:

$$P = k \left[ \frac{5}{4} \frac{m_1 V_H^2}{k} \right]^{\frac{3}{5}} \quad (2.29)$$

Из уравнения (2.29) видно, что сила, возникающая при ударе, определяется значением коэффициента  $k$  и начальной относительной скоростью ( $V_H$ ).

Проанализируем взаимодействие частицы с лопастью, на которой установлены резиновые покрытия, чтобы определить направления и величины скоростей частицы до столкновения с лопаткой.

Рассмотрим случай наклона лопасти под углом  $\alpha$  в сторону, противоположную вращению (рис. 2.5). При этом положении зерно, сходя с лопасти, проходит меньший угол сектора удара по сравнению с лопастями, наклонёнными вперёд или установленными по радиусу, что значительно снижает мгновенную силу удара.

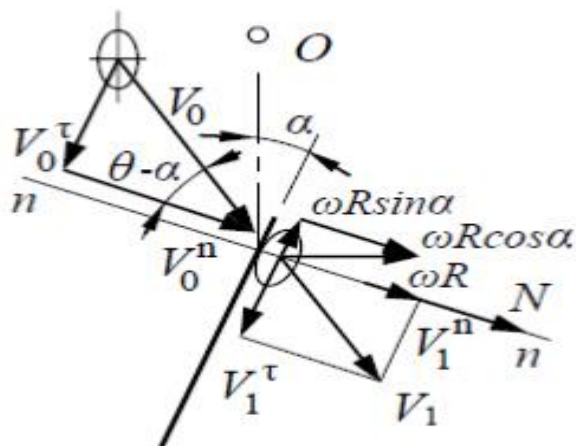


Рисунок. 2.5. Принцип распределения относительных скоростей зерна до столкновения с лопастью

Когда частица зерновки взаимодействует с наклоненной лопаткой, вращающейся в обратную сторону, линия приложения направления нормальной реакции лопатки не совпадает с направлением абсолютной скорости этой лопатки  $\omega R$ . Это приводит к уменьшению нормальной компоненты относительной скорости частицы по отношению к лопатке во время удара, что, в свою очередь, снижает ударную силу, действующую на частицу.

Запишем составляющие относительной скорости частицы по нормали и касательной к поверхности лопасти до удара (рис. 2.5):

$$\begin{aligned} V_{n1} &= V_0 \cos(\theta - \alpha) + \omega R \cos \theta ; \\ V_{\tau 1} &= \omega R \sin \theta - V_0 \sin(\theta - \alpha), \end{aligned} \quad (2.30)$$

где  $V_0$  – начальная скорость зерна, м/с.

По формуле 2.30 были рассчитаны составляющие относительной скорости частицы до удара  $V_{n1}$  в зависимости от коэффициентов  $k$ , зависящих от материала поверхности лопасти и кривизны поверхностей тел в точке контакта при установке на лопастях резиновых покрытий, и определены мгновенные силы удара (рис. 2.6).

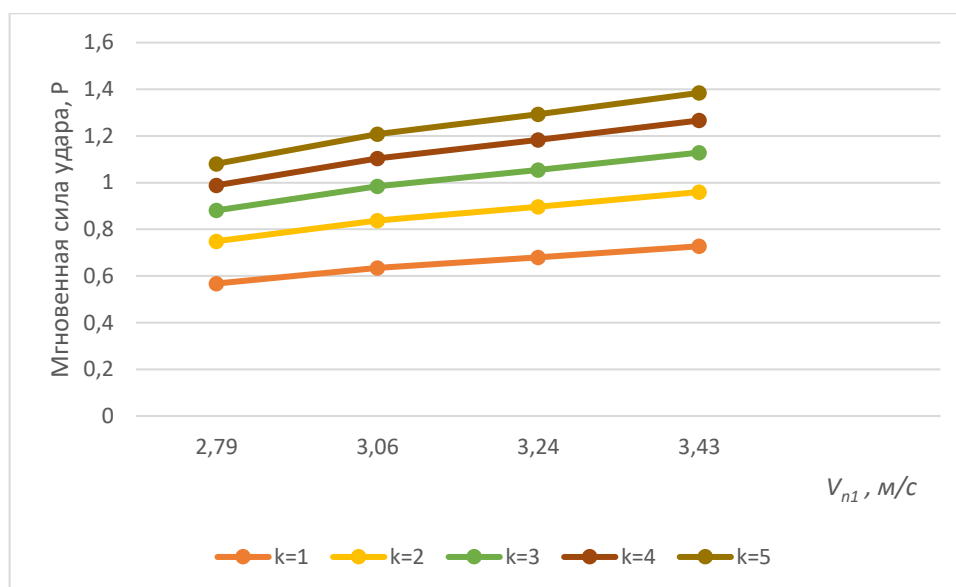


Рисунок 2.6. График зависимости мгновенной силы удара  $P$  от нормальной составляющей  $V_{n1}$

Анализ графика показывает, что с увеличением коэффициентов  $k$ , зависящих от материала поверхности лопасти и кривизны поверхностей тел в точке контакта, при установке на лопастях резиновых покрытий с 1 до 5 единиц величина мгновенной силы увеличивается на 51...55% в зависимости от относительной скорости частицы с лопастью в начальный момент удара. При увеличении нормальной составляющей относительной скорости частицы до удара  $V_{n1}$  мгновенная сила удара увеличивается.

Для определения зависимости величины мгновенной силы от коэффициента  $k$  зависящего от материала поверхности лопасти и кривизны поверхностей тел в точке контакта при установке на лопастях резиновых покрытий, и относительной скорости частицы частицы  $V_{n1}$  до удара с лопастью в начальный момент времени были построен график (рис. 2.7).



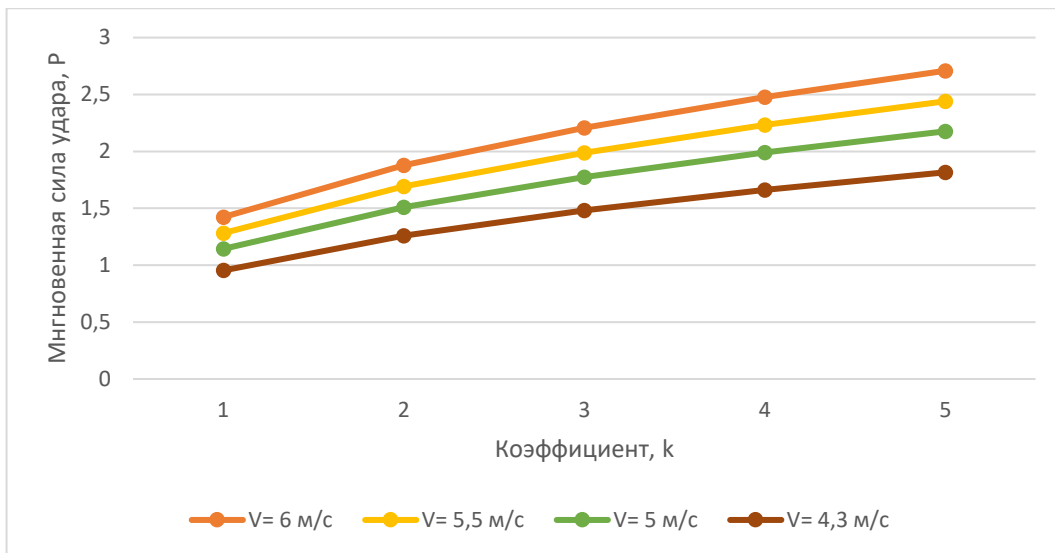


Рисунок 2.7. График зависимости мгновенной силы удара  $P$  от коэффициента  $k$ , который зависит от материала поверхности лопасти и кривизны в точке контакта

Для установления воздействия угла наклона лопасти на нормальную компоненту относительной скорости частицы в начальный период времени с учетом коэффициента  $k$ , который зависит от материала поверхности лопасти (резина) и кривизны поверхностей тел в точке их соприкосновения, был построен график (рис. 2.8).

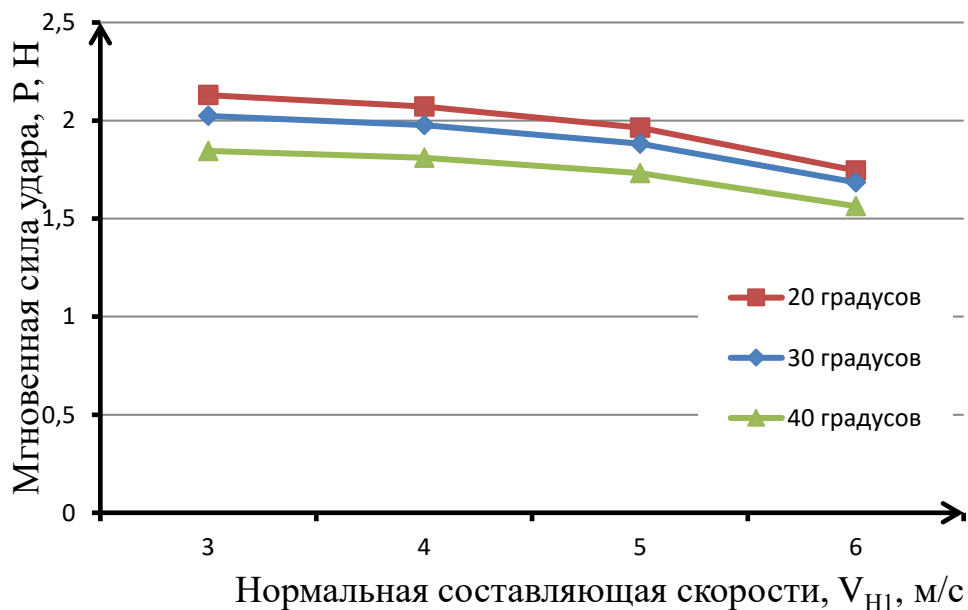


Рисунок 2.8. Зависимость мгновенной силы удара от нормальной составляющей скорости

Результаты анализа исследований [135], посвящённых влиянию угла наклона лопасти на нормальную составляющую относительной скорости зерновой частицы в начальный момент, продемонстрировали, что при увеличении этого угла более 200 градусов нормальная составляющая относительной скорости частицы в первый момент времени снижается. Исходя из этого, оптимальным углом наклона лопасти к начальному радиусу является диапазон 30-40 градусов, при котором нормальная составляющая относительной скорости частицы в начальный момент времени также уменьшается.

Анализ графиков показывает, что с увеличением коэффициентов  $k$ , зависящего от материала поверхности лопасти и кривизны поверхностей тел в точке контакта, при установке на лопастях резиновых покрытий с 1 до 5 единиц величина мгновенной силы увеличивается на 51...55% в зависимости от относительной скорости частицы с лопастью в начальный момент удара.

Проведённый теоретический анализ взаимодействия зерновой частицы с лопастью позволяет заключить, что величина мгновенной силы удара определяется нормальной составляющей относительной скорости частицы в момент начала удара и коэффициентом  $k$ , который зависит от материала лопасти и кривизны контактирующих поверхностей. Для уменьшения величины мгновенной силы при постоянной угловой скорости рекомендуется установить серповидную часть лопасти сепарирующего метателя зерна под углом  $\alpha$  в противоположную сторону вращения на 30...40 градусов. Кроме того, для снижения ударного взаимодействия зерна с лопастью следует покрыть лопасти резиновыми накладками, что поможет уменьшить силу мгновенного удара.

### Выводы

Разработанная математическая модель перемещения частицы зернового материала по лопасти сепарирующего метателя зерна в виде дифференциального уравнения второго порядка, которое является линейным неоднородным с постоянными коэффициентами, отличающаяся тем, что

учитывает угол наклона лопасти в обратную сторону вращения при определении расстояния от центра вращения барабана до зерна, позволяет обосновать кинематические и конструктивные параметры сепарирующего метателя зерна.

Анализ исследований коэффициента  $k$ , зависящего от материала поверхности лопасти и кривизны поверхностей тел в точке контакта, показал, что коэффициент  $k$ , зависящий от материала поверхности лопасти и кривизны поверхностей тел в точке контакта при покрытии лопасти резиновыми покрытиями в 2,7 раза меньше, чем при покрытии лопасти полимерными покрытиями (капролоном). Уменьшение коэффициента  $k$ , зависящего от материала поверхности лопасти и кривизны поверхностей тел в точке контакта при покрытии лопасти резиновыми покрытиями, снижает мгновенную силу удара.

Анализ теоретических исследований взаимодействия частицы зерна с лопастью показывает, что мгновенная сила в момент удара определяется величиной нормальной составляющей относительной скорости частицы и лопасти в начальный момент столкновения, а также коэффициентом  $k$ , который зависит от материала лопасти и кривизны поверхностей в точке контакта. Чтобы уменьшить мгновенную силу при неизменной угловой скорости, необходимо установить серповидную часть лопасти сепарирующего метателя зерна под углом  $\alpha$  в противоположную сторону вращения на 30...40 градусов.

## **Глава III. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Цель этого экспериментального исследования заключается в изучении работы зернового сепаратора с барабаном, имеющим восемь лопастей. Новым конструктивным решением является серповидная секция, расположенная на периферии каждой лопасти как закругленный конусообразный участок с радиусом  $r$ . Эта секция закреплена под углом  $\alpha$  к радиусу барабана, направляясь в противоположную сторону от его вращения. Приёмная часть выполнена с закругленным профилем для более эффективного захвата материала, обеспечивая плавный переход потока и уменьшая вероятность засорения. Оба элемента – приёмная и серповидная части – покрыты натуральным каучуком CV-10 для снижения повреждения зерна.

### **3.1. Программа экспериментальных исследований**

Проверка теоретических основ процесса просеивания зерновых культур через сепаратор и обоснование ключевых параметров состоит из разработки оптимальной конструкции зерносепарирующего устройства; изучения процесса разделения исходного сырья на фракции в зависимости от главных параметров – угла наклона выпускного канала относительно горизонтали, скорости вращения кольцевого диска и удельной подачи зерна; изучения влажности зернового материала при обработке на сепарирующем метателе зерна и повреждение частиц зернового материала.

### **3.2. Описание экспериментальной установки и обоснование принципа работы сепарирующего метателя зерна**

Исследование текущего состояния зерноочистительного оборудования в фермерских хозяйствах выявило увеличивающуюся необходимость в многофункциональных универсальных устройствах для обработки зерна, которые способны за одну операцию произвести охлаждение, сушку, очистку и фракционирование зернового материала. Для выполнения данных требований в ВСГУТУ ведется разработка сепарирующего метателя зерна. Предлагаемое устройство отличается от традиционных зернообрабатывающих машин тем, что способно производить сушку зернового материала и его очистку от примесей за один проход.

Чтобы обосновать основные технологические и конструктивные параметры, нужно провести исследования на специально созданной экспериментальной установке. Проектирование и изготовление зернового сепаратора обязаны основываться на теоретических исследованиях, подразумевающих аналитические расчеты и ключевые концепции фундаментальной математики.

Для проведения экспериментальных исследований использовали экспериментальную установку сепарирующего метателя зерна с вращающимся барабаном, в котором сплошные лопасти способны менять угол наклона. Эксперименты проводили при следующих условиях:  $S_0 = 0,085$  м,  $U_0 = 0$  м/с,  $\beta_0 = 0^\circ$ ,  $\omega = 37,7$  рад/с,  $f = 0,4$  (коэффициент трения зерен пшеницы по стальному листу),  $\alpha = -20^\circ, 0^\circ$  и  $+20^\circ$ .

На рисунке 3.1 показан общий вид установки. Испытали функциональность в подвальном помещении 8 здания ВСГУТУ. Основным зерновым материалом служили 100 кг пшеницы, легкие примеси составляли 4 кг, мелкие примеси – 3 кг, крупные примеси – 3 кг.



Рисунок 3.1. Внешний вид экспериментального оборудования



Рисунок 3.2. Вид экспериментальной установки с торца



Рисунок 3.3. Вид экспериментальной установки сверху

Сепарирующий метатель зерна способен производить очистку зерна от различных примесей (легкой, мелкой, крупной) за одну технологическую операцию и одновременно снизить влажность поступающего зерна.

Разрабатываемое устройство способно удовлетворить растущие потребности хозяйств, занимающихся производством зерновых культур (рис. 3.4).

Зерновой материал поступает из приемного бункера во вращающийся барабан. Внутри бункера находится заслонка, которая контролирует подачу зерна.

Зерновой материал во вращающемся барабане перемещается под действием центробежных сил по лопастям.

Зерновой материал на периферии вращающегося барабана вылетает через выпускные каналы барабана на цилиндрическую поверхность кожуха выпускного патрубка.

Затем через выпускной канал зерновой материал по инерции вылетает в воздушный поток, где производится его сушка, охлаждение, фракционирование по удельному весу и очистка от легкой, мелкой и крупной примесей.

Все перемещения зернового материала в устройстве безударные, что снижает повреждение и травмирование зернового материала.

Загрузочный диск 2 вращающегося барабана 1 образует с обручем 4 конусообразной формы щелевидное окно шириной  $H$  для выброса зерна на поверхность цилиндрического корпуса 5. Щелевидное окно шириной  $H$  расположено в цилиндрическом корпусе 5, а несущий диск 3 с обручем 4 конусообразной формы – в цилиндрической части патрубка. Очистительные лопасти 7 в зависимости от конструктивных и технологических требований устанавливаются под определенным углом во вращающейся части 1. Электродвигатель посредством ременной передачи приводит вал 9 в движение. Сквозь центр корпуса 5 проходит загрузочный канал 10, соединенный с дозирующим накопителем 11. Процессы охлаждения, сушки, очистки, транспортировки и фракционирования сыпучего материала сепарирующим зернометателем осуществляются следующим образом. Зерновой ворох транспортирующим устройством подается в дозирующий накопитель 11, затем загрузочный канал 10 подает зерно в приемное отверстие загрузочного диска 2. Под действием гравитационных сил зерно поступает на приемную часть очистительных устройств 7, где зерновой материал отсекается приемной частью. Приемная часть – обрешеченная для уменьшения травмирования зерна. Под действием центробежной силы зерно перемещается с обрешеченной приемной части на серповидную часть лопасти. Основная фракция сходом перемещается с большой скоростью на закругленный конусообразный участок, где скорость снижается, переходя на конусообразный обруч 4 барабана 1. Центробежная сила, действующая на материал при вращении барабана, закругленность участка и конусообразность обруча 4 вращающегося барабана 1 выбрасывают зерновой



материал через щелевидное окно шириной  $H$  на цилиндрическую часть корпуса 5. Вращение барабана приводит к рассредоточению зернового материала по цилиндрической поверхности корпуса 5. Зерновой материал движется по цилиндрической поверхности по инерции к метаемому каналу 6. Через метаемый канал зерновой материал движется по инерции и выбрасывается в воздушный поток порционно в один зерновой слой, образуя плоскую поверхность. При движении в воздушном пространстве зерновой материал разделяется на фракции в зависимости от аэродинамических характеристик каждого зерна. Сепарирующий зернометатель способен провести ряд операций за один проход, таких как охлаждение и сушка зерна при метании в воздушный поток, предварительная, первичная очистка зернового материала с помощью сепарирующих устройств, а также фракционирование зерна по однородности и биологической ценности. Практической особенностью сепарирующего зернометателя является высокая разрешающая способность разделять зерновой материал по удельной плотности с учетом состояния поверхности зерна и геометрических размеров.

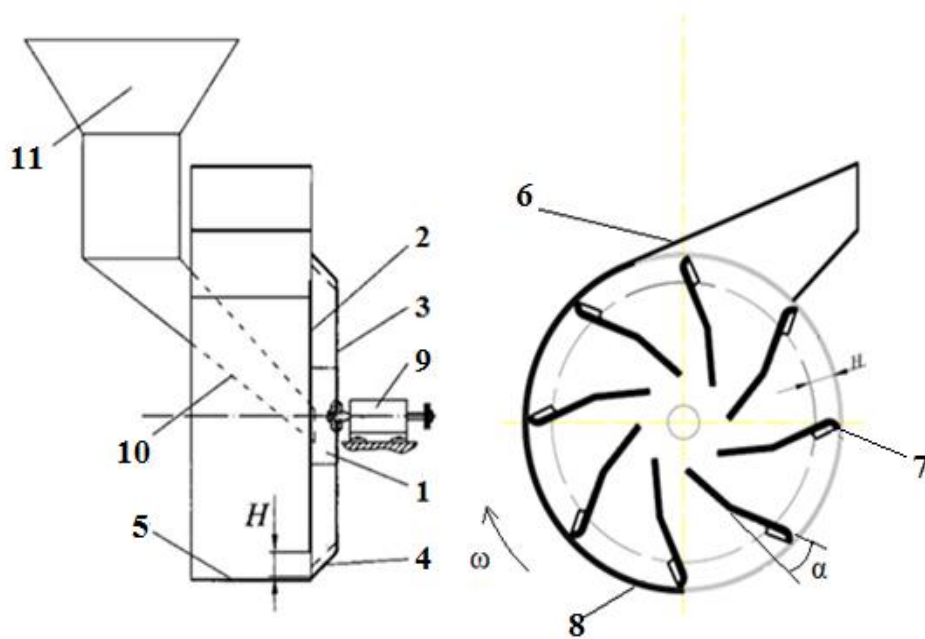


Рисунок 3.4. Схема сепарирующего метателя зерна:

- 1 – лопастной барабан; 2 – приемный кольцевой диск; 3 – несущий кольцевой диск; 4 – конусообразный обод; 5,6 – выпускной патрубок;  
 7 – конусообразный участок кольцевого диска; 8 – обрешиненная поверхность цилиндрической части выпускного патрубка;  
 9 – привод с электродвигателем; 10 – питающий патрубок; 11 – бункер-питатель

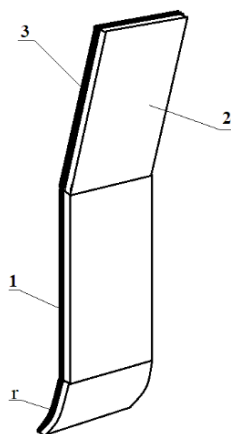


Рисунок 3.5. Лопасть сепарирующего метателя зерна:

- 1 – серповидная часть лопасти; 2 – приемная часть лопасти;  
 3 – обрешиненная рабочая поверхность

В отличие от существующих решений, новизна предлагаемого изобретения заключается в добавлении уникального конструктивного элемента в барабан – конусообразного обода, который охватывает концы лопастей и создает зазор шириной  $H$  с краем приемного кольцевого диска.

Новая конструкция лопастей состоит из двух соединённых элементов – серповидного и приёмного. Первая крепится на диске под углом  $\alpha$  к радиусу барабана, противоположному направлению его вращения, и имеет на краю округленный конусный участок с радиусом  $r$ , переходящий в конусный обод барабана. Оба сегмента лопасти имеют резиновое покрытие на рабочей поверхности. Цилиндрическая часть выпускного патрубка также оборудована резиновым покрытием. Также в нововведении предусмотрено размещение приемного диска барабана внутри цилиндрической секции выпускного патрубка и установка несущего диска с конусообразным краем за пределами этой секции.

Размещение на внешней части поддерживающего кольцевого диска барабана обода в форме конуса и приемной части барабана с зазором  $H$  позволяет выгружать материал в виде частиц, проходящих через щель с вращающегося барабана, перемещаясь от каждой лопасти к цилиндрической части выпускного патрубка. Это способствует разделению материала на отдельные частицы, которые по инерции движутся вдоль направляющей поверхности патрубка. В результате материал выпускается через выпускной патрубок в виде распыленных веерообразных потоков, каждый из которых состоит из одного слоя материала, улучшает его обработку и чистку при выдувании в воздушном потоке. Кроме того, данный признак обеспечивает плавный переход сыпучего материала с вращающегося барабана на цилиндрическую часть выпускного патрубка, что позволяет снизить повреждение и травмирование зернового материала.

Нововведенные лопасти, имеющие форму серпа со скругленным конусообразным участком радиусом  $r$  на периферии и закрепленные под углом  $\alpha$  к радиусу барабана, направленного против его вращения, снижают

радиальную скорость зернового материала. Это снижает ударное воздействие на конический обод и уменьшает вероятность повреждения материала. Конусообразная конфигурация участка способствует отправке зернового материала в цилиндрическую секцию выпускного патрубка. Кроме того, на резиновой рабочей поверхности приемной и серповидной частях лопасти минимизируются повреждения зерна при его подаче на лопасти и при заборе материала. Резиновая оболочка на цилиндрическом участке выпускного патрубка уменьшает повреждение зерна при его выбросе.

Частицы материала перемещаются по инерции вдоль цилиндрической части выпускного патрубка по направляющей поверхности, расплываясь веерообразно и образуя слой в один материал. Это позволяет улучшить обработку и очистку материала при его выбросе в воздушный поток, повышая общую эффективность процесса. Кроме того, данный признак обеспечивает плавный переход сыпучего материала с вращающегося барабана на цилиндрическую часть выпускного патрубка, что позволяет снизить повреждение и травмирование зернового материала.

### **3.3. Методика проведения опытов**

В каждом эксперименте были настроены параметры исследуемых факторов: скорость вращения кольца сепарирующего метателя зерна, угол наклона выпускного патрубка относительно горизонтали и удельная подача зернового материала. На участке выброса зернового материала были установлены ограничители с интервалом в 1 метр. Исходный зерновой материал загружали в бункер питания установки. Затем открывали заслонку подачи материала и запускали двигатель метателя зерна. После завершения работы на каждом участке производили сбор и взвешивание материала, выявляли состав основного зерна, а также легких, мелких и крупных примесей. Данные результатов заносились в журнал экспериментальных

записей. Эффективность удаления загрязнений оценивалась на основании формулы В.Г. и Г.В. Ньютонов для каждого этапа в отдельности.

Экспериментальные данные, характеризующие эффективность раздельного выделения зернового материала в зависимости от изученных факторов, были проанализированы в соответствии с ГОСТ 8.207-76 «Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений». Исследование экспериментальных данных осуществлялось посредством применения теорий вероятностных моделей [33] и численных методов анализа.

Доверительные границы случайной погрешности результата измерения находили по формуле:

$$\varepsilon = t_{ct}S(A), \quad (3.1)$$

где  $t_{ct}$  – коэффициент Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности  $P$  и числа результатов наблюдений  $n_n$  находили по таблице справочного приложения, указанного в ГОСТ.

### **3.4. Показатели эффективности технологического процесса**

Процесс сортировки зернового материала с помощью зерноотделяющего метателя оценивается на основании метода В.Г. и Г.В. Ньютонов [86]. Для оценки коэффициента раздельной эффективности применяли следующую методику.

Процент извлечения зерна основной культуры и удаления легких, мелких и крупных примесей в пробоотборниках оценивался исходя из общего содержания каждого из компонентов во всех пробоотборниках. Далее были установлены совокупные показатели степени извлечения зерен основной культуры, а также общего извлечения легковесных, мелких и крупных примесей.

Общую эффективность удаления легкой примеси при бросании зернового материала с применением сепарирующего метателя зерна

определяли как сумму эффективности удаления легкой примеси в разных секциях пробоотборного устройства.

$$\sum \varepsilon_n^L = \varepsilon_n^{I^L} + \varepsilon_n^{II^L} + \varepsilon_n^{III^L} + \dots + \varepsilon_n^{nL}, \quad (3.2)$$

где  $\varepsilon_n^{I^L}$  – полнота выделения легкой примеси в первой секции пробоотборника;

$\varepsilon_n^{II^L}, \varepsilon_n^{III^L}$  – полнота выделения легкой примеси во второй, третьей секциях пробоотборника;

$\varepsilon_n^{nL}$  – полнота выделения легкой примеси в n-секции пробоотборника.

2. Суммарную полноту выделения мелкой примеси при метании зернового материала сепарирующим метателем зерна определяли как сумму полноты выделения мелкой примеси в различные секции пробоотборника:

$$\sum \varepsilon_n^M = \varepsilon_n^{I^M} + \varepsilon_n^{II^M} + \varepsilon_n^{III^M} + \dots + \varepsilon_n^{nM}, \quad (3.3)$$

где  $\varepsilon_n^{I^M}$  – полнота выделения мелкой примеси в первой секции пробоотборника;

$\varepsilon_n^{II^M}, \varepsilon_n^{III^M}$  – полнота выделения мелкой примеси во второй, третьей секциях пробоотборника;

$\varepsilon_n^{nM}$  – полнота выделения мелкой примеси в n-секции пробоотборника.

3. Суммарную полноту выделения зерна основной культуры в различные секции пробоотборника при метании на сепарирующем метателе зерна определяли как сумму полноты выделения зерна основной культуры в первой, второй, третьей и n-й секциях пробоотборника:

$$\sum \varepsilon_n^0 = \varepsilon_n^{I^0} + \varepsilon_n^{II^0} + \varepsilon_n^{III^0} + \dots + \varepsilon_n^{n0}, \quad (3.4)$$

где  $\varepsilon_n^{I^0}$  – полнота выделения зерна основной культуры в первой секции пробоотборника сепарирующего метателя;

$\varepsilon_n^{''0}, \varepsilon_n^{''''0}$  – полнота выделения зерна основной культуры во второй, в третьей секциях пробоотборника сепарирующего метателя зерна;

$\varepsilon_n^{n0}$  – полнота выделения мелкой примеси в n-секции пробоотборника.

4. Суммарную полноту выделения крупной примеси в различные секции пробоотборника определяли как сумму полноты выделения крупной примеси в первую, вторую, третью и n-ю секции пробоотборника:

$$\sum \varepsilon_n^K = \varepsilon_n^{'K} + \varepsilon_n^{''K} + \varepsilon_n^{''''K} + \dots + \varepsilon_n^{nK}, \quad (3.5)$$

где  $\varepsilon_n^{'K}$  – полнота выделения крупной примеси в первой секции пробоотборника;

$\varepsilon_n^{''K}, \varepsilon_n^{''''K}$  – полнота выделения крупной примеси во второй, третьей секциях пробоотборника;

$\varepsilon_n^{nK}$  – полнота выделения крупной примеси в n-й секции пробоотборника.

5. Эффективность извлечения легкой примеси  $E_L$  определяли как разность между полнотой извлечения примеси и количеством зерна, вышедшего в секции пробоотборника сепарирующего метателя.

$$E_L = \sum \varepsilon_n^L - \sum \varepsilon_n^0, \quad (3.6)$$

где  $\sum \varepsilon_n^L$  – суммарная полнота выделения легкой примеси в секции пробоотборника;

$\sum \varepsilon_n^0$  – количество зерна, выделившегося в секции пробоотборника сепарирующего метателя зерна.

6. Вычисляли эффективность выделения мелкой примеси  $E_M$  как разность суммарной полноты выделения мелкой примеси и суммарной

полноты выделения зерна основной культуры в различные секции пробоотборника:

$$E_M = \sum \varepsilon_n^M - \sum \varepsilon_n^0, \quad (3.7)$$

где  $\sum \varepsilon_n^M$  – суммарная полнота выделения мелкой примеси в секции пробоотборника;

$\sum \varepsilon_n^0$  – количество зерна, выделившегося в секции пробоотборника сепарирующего метателя зерна.

7. Вычисляли эффективность выделения крупной примеси  $E_K$  как разность полноты выделения крупной примеси и количества зерна, выделившегося в секции пробоотборника сепарирующего метателя:

$$E_K = \sum \varepsilon_n^K - \sum \varepsilon_n^0, \quad (3.8)$$

где  $\sum \varepsilon_n^K$  – суммарная полнота выделения крупной примеси в секции пробоотборника;

$\sum \varepsilon_n^0$  – количество зерна, выделившегося в секции пробоотборника сепарирующего метателя зерна.

### **3.5. Методика определения макроповреждений и микротравмирования зерна**

Для выявления уровня макроповрежденного зерна отбирали четыре пробы массой 50 г с каждого метра траектории полета зернового вещества. Поврежденные зерна отделяли от остальной массы и взвешивали на весах ВЛТЭ-1100 с точностью до 0,01 г. После измерения массы поврежденного зерна рассчитывали, какой процент оно составляло от общей массы каждой из проб.

Для оценки микротравмирования зерна применяли метод окрашивания. Пробы, включающие сто семян, анализировались по четыре раза на каждом метре. В исследование включались зерна с разными видами



повреждений: нарушенный зародыш, нарушенная оболочка зародыша и дефектный эндосперм.

Методика, предложенная С.А. Чазовым, представляет собой эффективный и надежный подход к оценке состояния зерна. Предварительное погружение зерен в концентрированный раствор поваренной соли предотвращает окрашивание здоровых образцов, что является важнейшим этапом в обеспечении точности последующего тестирования.

При использовании 0,5% раствора конгорота для окрашивания зерен в течение пяти минут удается выявить патологические изменения и повреждения на молекулярном уровне. Это позволяет оперативно и качественно установить наличие дефектных зерен, что имеет существенное значение для дальнейших процессов обработки и использования сельскохозяйственной продукции. Подсушенные зерна изучались с помощью лупы LED SCALE LOUPE с 15-кратным увеличением.



Рисунок 3.6. Фото лупы с зерном

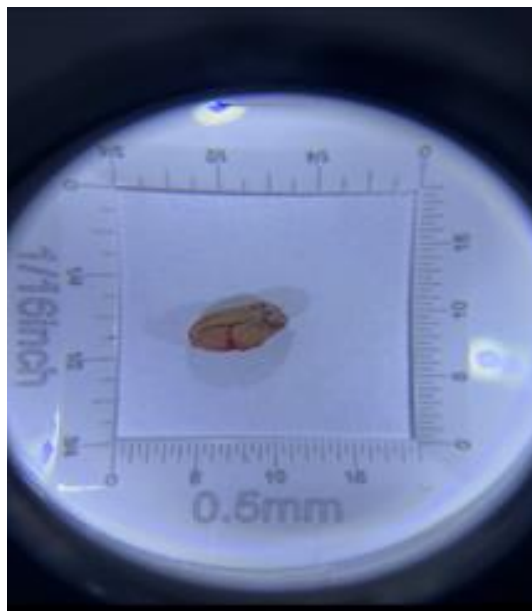


Рисунок 3.7. Фото изображения травмированного зерна под лупой

### 3.6. Методика определения влажности зерна

Для измерения уменьшения влажности исходного зернового материала после прохождения через сепарирующий метатель было использовано переносное устройство для измерения влажности Фауна-М. Это устройство позволяет с высокой точностью (до 0,2 %) определять влажность зерна вне лабораторных условий.



Рисунок 3.8. Переносной влагомер Фауна-М

Определению подвергалась влажность как начального зернового материала, так и зерна, прошедшего обработку на сепарирующем метателе, на каждом этапе процесса (после каждого пропуска зерна через метатель).

## **Глава IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕПАРИРУЮЩЕГО МЕТАТЕЛЯ ЗЕРНА**

Ведутся исследования по разработке сепарирующего метателя зерна. Данное устройство производит обработку зернового материала, включающую очистку, сушку и охлаждение зерна. Устройство способно выполнить все перечисленные операции за одну технологическую операцию. В настоящее время существуют подобные машины – зернометатели, однако из-за их главного недостатка – повреждение частиц зернового материала и травмирования – они ограниченно применяются в сельском хозяйстве.

Целью экспериментальных исследований является изучение влияния основных параметров сепарирующего метателя зерна на эффективность обработки зернового материала, а также выявление оптимальных параметров сепарирующего метателя зерна. Геометрические параметры устройства рассчитаны с помощью дифференциальных уравнений, аналитически описывающих движение зерна в барабане устройства. Изготовлена экспериментальная установка для проведения экспериментальных исследований и подтверждения теоретических исследований. Проведенные испытания сепарирующего метателя зерна в хозяйственных условиях показывают на работоспособность разработанного сепарирующего метателя зерна и подтверждают теоретические выводы.

Зернопроизводящие хозяйства нуждаются в современных, универсальных устройствах, способных за один этап произвести обработку зернового материала. Анализ существующих зернообработывающих устройств показал, что на данный момент нет машин, способных самостоятельно выполнить весь комплекс работ по обработке зернового материала.

Для определения ключевых показателей работы сепарирующего метателя зерна важно провести экспериментальные исследования, которые

помогут выяснить, как основные параметры данного устройства влияют на эффективность отделения легких, мелких и крупных примесей из зерна. Кроме того, изучить повреждения частиц зернового материала сепарирующим метателем зерна и определить на сколько снижается влажность зернового материала при его обработке на сепарирующем метателе зерна.

#### **4.1. Экспериментальные исследования движения частиц зернового материала в сепарирующем метателе зерна**

Для проверки адекватности математической модели перемещения частицы зернового материала по лопасти сепарирующего метателя зерна были проведены эксперименты по определению сектора вылета частиц зерна пшеницы из барабана.

Для этого подготовили зерновой материал пшеницы. Частицы пшеницы окрасили перманганатом калия и подсушили (рис.4.1).



Рисунок 4.1. Подготовленные зерна пшеницы, окрашенные перманганатом калия

Внутри барабана сепарирующего метателя зерна сектор вылета частиц зерна обклеили белой бумагой. Каждый сектор белой бумаги был разлинован на дуги по 10 градусов от вертикальной оси. Длина дуги 10 градусов сепарирующего метателя зерна составляет 6,5 см.



Рисунок 4.2. Внутренняя часть барабана, обклеенная белой бумагой

Затем на экспериментальной установке (рис. 4.2) были выполнены эксперименты при следующих параметрах:  $S_0 = 0.085$  м,  $U_0 = 0$  м/с,  $\beta_0 = 0^\circ$ ,  $\omega = 37.7$  рад/с,  $f = 0.4$  (коэффициент трения зерен пшеницы по стальному листу), меняя угол наклона лопасти в обратную сторону вращения на угол  $\alpha = -20^\circ$ , когда лопасти установлены по радиусу  $\alpha = 0^\circ$  и когда установлены в сторону вращения на угол  $\alpha = +20^\circ$ .

Опыты проводили в трёх повторностях. Загружали в приемный бункер окрашенные частицы пшеницы по 300 штук при каждой повторности опыта и включали сепарирующий метатель зерна. На рисунках представлены результаты удара частиц зерна в определённых секторах вылета частиц зерна пшеницы из барабана.

Анализ экспериментов показал, что частицы зерна, ударяясь об обклеенную бумагу внутри барабана, оставляют следы удара. По ним можно

определить сектор вылета частиц пшеницы из барабана в зависимости от угла наклона лопасти.

Анализ экспериментальных исследований показал, что наблюдается вылет частиц зерна в определённых секторах. Однако, как видно, что вылет частиц из барабана в реальных условиях различны, это связано с тем, что коэффициенты трения зерен пшеницы по стальному листу отличаются в зависимости от состояния поверхности отдельных зерен, а также от неравномерной подачи зерна.

Распределение частиц зерна при вылете из барабана наблюдается при угле наклона лопасти  $\alpha = 0^\circ$  в секторе от  $10^\circ$  до  $40^\circ$  от вертикальной оси барабана (рис. 4.3).

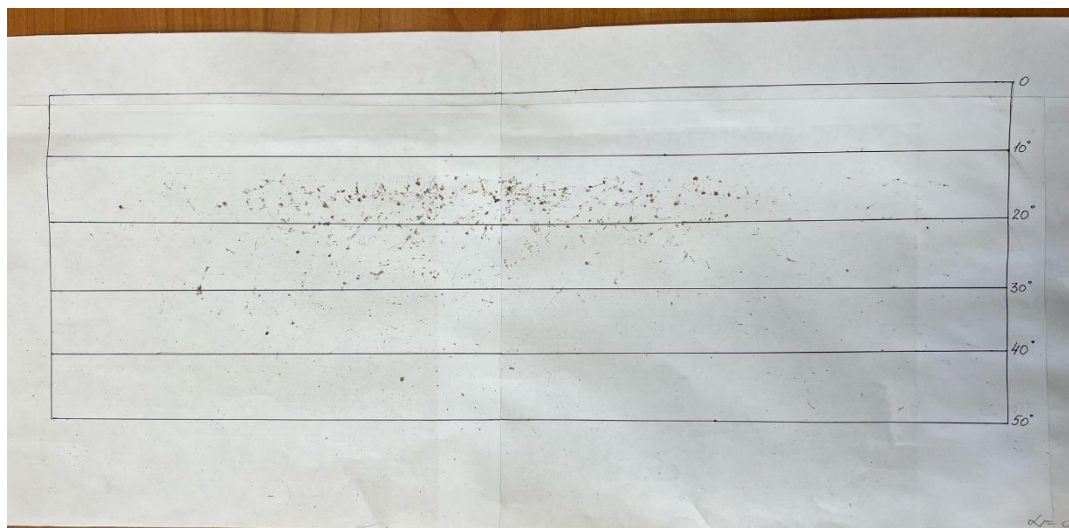


Рисунок 4.3. Распределение частиц зерна пшеницы при вылете из барабана при угле наклона лопасти  $\alpha = 0^\circ$

Экспериментальные данные при угле наклона лопасти  $\alpha = -20^\circ$  показал, что вылет частиц зерна пшеницы осуществляется в секторе от  $15^\circ$  до  $45^\circ$  от вертикальной оси барабана (рис. 4.4).

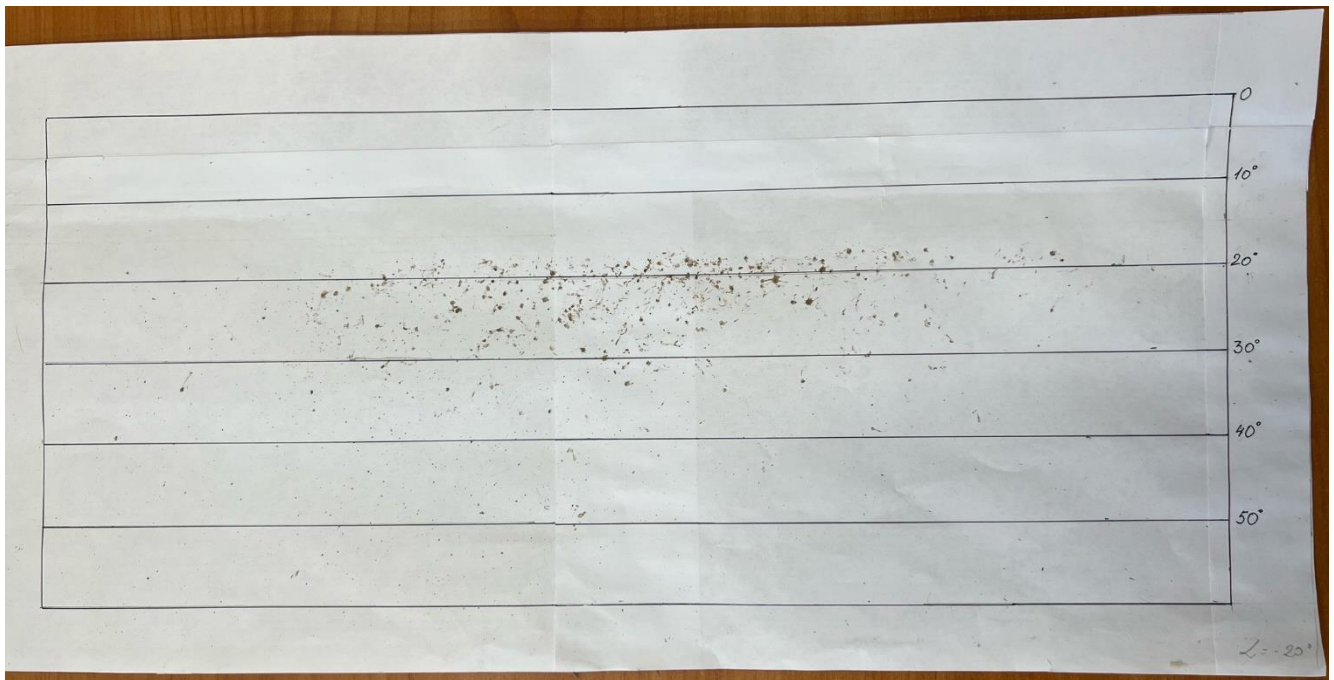


Рисунок 4.4. Распределение частиц зерна пшеницы при вылете из барабана при угле наклона лопасти  $\alpha = -20^\circ$

Вылет частиц зерна наблюдается при угле наклона лопасти в сторону вращения  $\alpha = +20^\circ$  в секторе от  $15^\circ$  вправо от вертикальной оси барабана до  $15^\circ$  влево от вертикальной оси барабана (рис. 4.5).

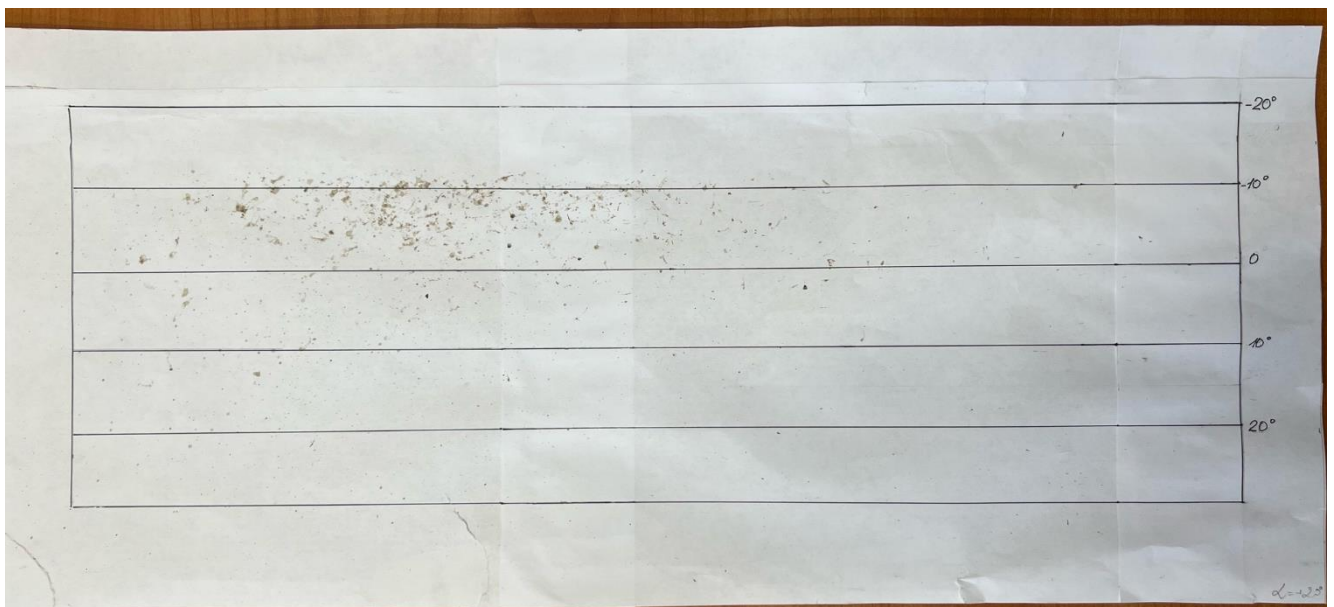


Рисунок 4.5. Распределение частиц зерна пшеницы при вылете из барабана при угле наклона лопасти  $\alpha = +20^\circ$

Таким образом, экспериментальные исследования перемещения частиц зерновых материалов по лопасти сепарирующего метателя зерна показали, что разработанная математическая модель, описывающая перемещение частиц зернового материала в сепарирующем метателе зерна, адекватно описывает процесс.

#### **4.2. Влияние частоты вращения барабана сепарирующего метателя зерна на эффективность очистки зерна**

В ходе каждого эксперимента соблюдалась следующая последовательность действий: сначала задавались конкретные значения исследуемых параметров (угол наклона выпускного патрубка относительно горизонта, скорость вращения кольцевого диска сепарирующего метателя зерна, удельная подача зернового материала).

Экспериментальные исследования проводили для определения эффективности очистки зерна от примесей сепарирующими устройствами, установленными во вращающийся барабан.

Исследования проводили при очистке зернового материала пшеницы сорта Бурятская-79 с влажностью зерна 14 %. Количество зернового материала в опытах составило 200 кг. Угол наклона сепарирующих устройств меняли от  $-35$  до  $15^\circ$ . Также устанавливали различную производительность устройства от 10 до 15 т/ч и содержание примесей в зерновом материале от 5 до 15 %. Мелкими примесями представляли частицы зерна пшеницы, колотые вдоль. Крупными примесями выступали колоски, горох и прочее.

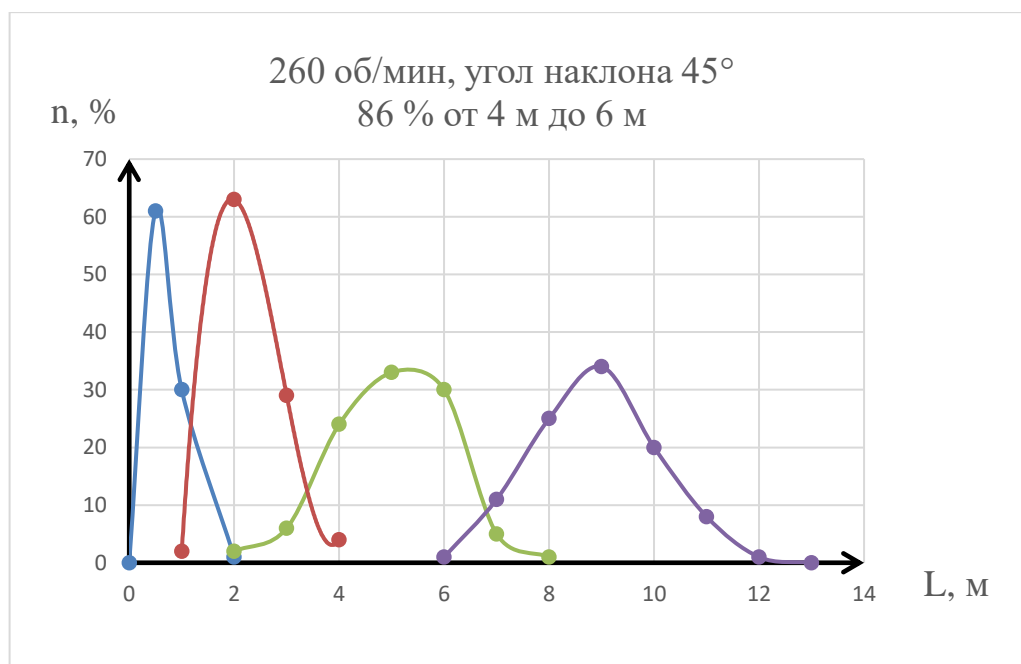
Для проверки аналитических исследований и обоснования основных параметров сепарирующего зернометателя произвели планирование эксперимента при помощи полного факторного эксперимента. После нахождения коэффициентов составили уравнение регрессии. Уравнение удовлетворило критериальному условию Фишера и адекватно представило результаты эксперимента.



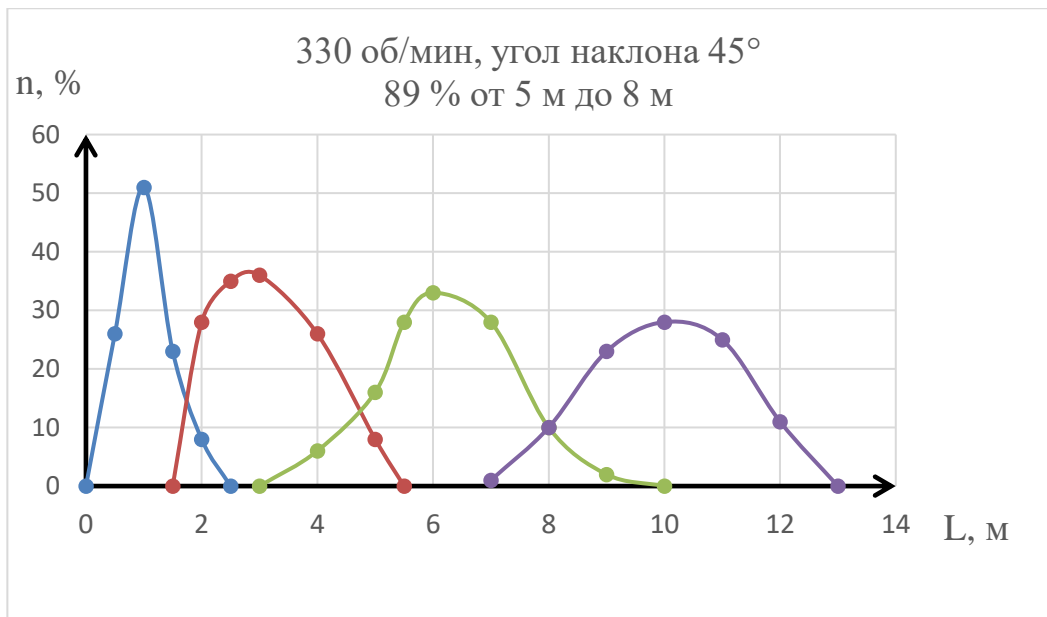
Результативность процесса разделения зернового материала при помощи сепарирующего метателя была оценена в соответствии с методом В.Г. и Г.В. Ньютонов [86].

### Результаты исследования и их обсуждение

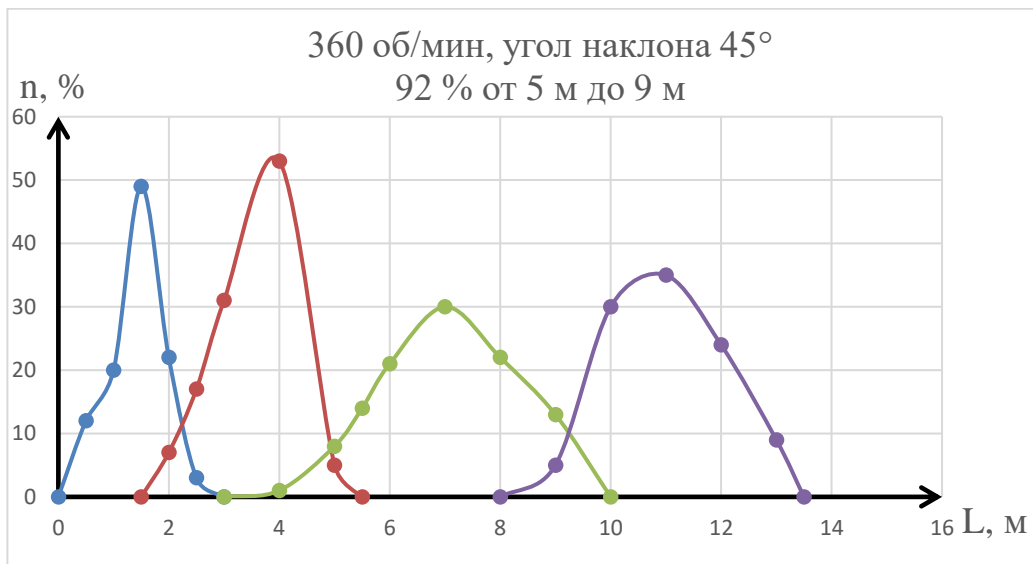
Чтобы определить наилучшую частоту вращения барабана, были выполнены исследования, посвященные анализу её воздействия на эффективность отделения зернового материала от разнообразных примесей. В процессе начальных экспериментов выяснилось, что максимальное выделение примесей происходит при наклоне выпускного патрубка на 45 градусов и подаче зернового материала со скоростью 2,7 кг/с [44]. С данными параметрами исследовали, как варьируется эффективность очистки зерна при изменении частоты вращения барабана сепаратора. На рисунке 4.6 показаны вариационные кривые распределения различных составляющих зернового материала по всей длине вылета.



а) 260 об/мин, угол наклона 45°, 86 %, от 4 м до 6 м



б) 330 об/мин, угол наклона 45°, 89 %, от 5 м до 8 м



в) 360 об/мин, угол наклона 45°, 92 %, от 5 м до 9 м

Рисунок 4.6. Распределение компонентов зернового материала (вылет частиц) в зависимости от частоты вращения барабана (а, б, в)

— легкая примесь; — мелкая примесь;  
— основное зерно; — крупная примесь

Результаты экспериментов продемонстрировали, «что с увеличением скорости вращения барабана зернометателя компоненты зерновой массы выкидываются на большие расстояния и имеют меньшее перекрытие. Наиболее результативное перераспределение элементов зернового материала

наблюдается при скорости вращения барабана 360 об/мин, при этом отлично отделяются легкие, мелкие и крупные примеси. Выделив фракцию зернового материала на дистанции от 5 до 9 метров, можно получить фракцию основного зерна (пшеница) с 92 % базисных кондиций. Зерновой материал с фракциями размером от 2,5 до 5 м и от 9 до 10 м можно направить на доработку на воздушно-решетные установки. Легкие и мелкие загрязнения, распределенные до глубины 2,5 м, а также крупные примеси на глубине от 10 до 13,5 м, подлежат утилизации, так как доля основного зерна (пшеницы) в этих частях составляет менее 1 %» [44].

#### 4.3. Влияние угла наклона выпускного патрубка сепарирующего метателя зерна к горизонту на длину полета частиц зернового материала

Влияние угла наклона выпускного патрубка сепарирующего метателя зерна к горизонту на длину полета частиц зернового материала изучали при частоте вращения кольцевого диска 360 об/мин, удельной подаче зернового материала 2,7 м/с.

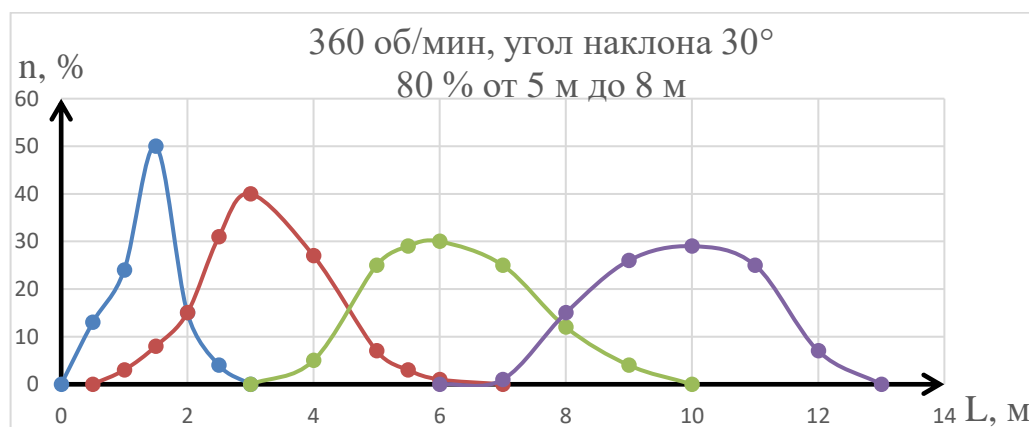


Рисунок 4.7. Дальность полета частиц при угле наклона выпускного патрубка 30° и распределение компонентов:

- легкая примесь; — мелкая примесь;
- основное зерно; — крупная примесь

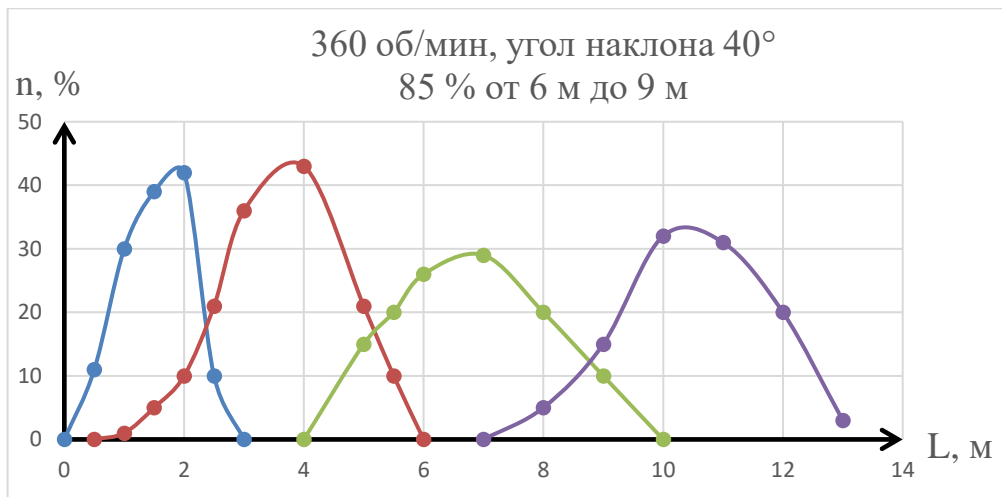


Рисунок 4.8. Дальность полета частиц при угле наклона выпускного патрубка 40° и распределение компонентов:

— легкая примесь; — мелкая примесь;  
— основное зерно; — крупная примесь

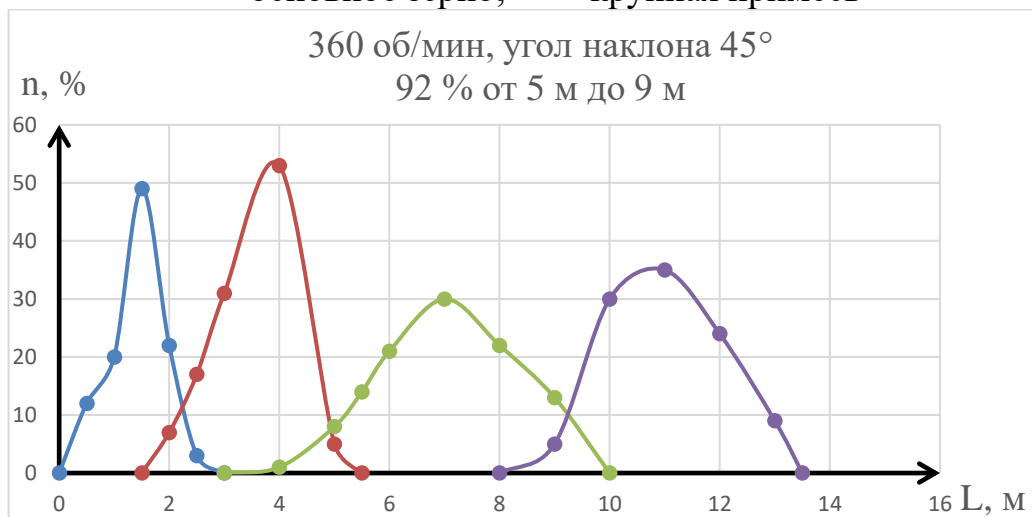


Рисунок 4.9. Дальность полета частиц при угле наклона выпускного патрубка 45° и распределение компонентов:

— легкая примесь; — мелкая примесь;  
— основное зерно; — крупная примесь

Анализ распределения компонентов зернового материала и их дальность вылета показал, что с увеличением угла наклона выпускного патрубка сепарирующего метателя зерна вариационные кривые распределения компонентов все меньше перекрываются. Так при угле

наклона выпускного патрубка 45 градусов можно выделить 92% основного зерна (пшеницы) базисных кондиций от 5 до 9 м.

#### 4.4. Обоснование основных параметров сепарирующего метателя зерна для очистки зерна от легкой, мелкой и крупной примесей

Для определения ключевых параметров сепаратора зерна (скорости вращения кольцевого диска, угла наклона выпускного патрубка и удельной подачи зернового материала) была разработана экспериментальная методика с использованием полного факторного эксперимента (ПФЭ-23).

По итогам предварительного ранжирования факторов были идентифицированы следующие параметры и уровни их варьирования, которые представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Априорное ранжирование факторов

Код	Факторы	Уровни варьирования факторов		Значимость факторов по степени влияния на параметр оптимизации				
				Специалисты				
		нижний	верхний	1	2	3	4	5
X <sub>1</sub>	Частота вращения кольцевого диска, об/мин	249,5	380,5	2	2	3	1	1
X <sub>2</sub>	Угол наклона выпускного патрубка, град.	26,5	48,5	3	4	2	3	2
X <sub>3</sub>	Удельная подача, кг/с	2,36	3,24	4	1	4	2	3
X <sub>4</sub>	Длина лопасти, м	0,15	0,60	6	5	1	4	4
X <sub>5</sub>	Влажность зерна, %	12	22	1	6	6	6	5
X <sub>6</sub>	Ширина барабана, м	1	2,5	5	3	5	5	6

По результатам априорного ранжирования факторов (табл. 4.1) были определены следующие наиболее значимые факторы: X<sub>1</sub> (частота вращения кольцевого диска), X<sub>2</sub> (угол наклона выпускного патрубка), X<sub>3</sub> (удельная подача). Определены интервалы и уровни варьирования данных факторов.

Значимость коэффициента конкордации определялась по критерию  $\chi^2$  – Пирсона. Так как  $\chi^2$  расч. >  $\chi^2$  табл., а также коэффициент конкордации существенно отличается от нуля, то гипотеза о наличии согласия специалистов была принята.

В ходе эксперимента применили ротатабельное планирование, что даёт возможность более точно математически описать поверхность отклика.

Таблица 4.2 – Матрица кодирования переменных и уровни варьирования

Переменные	Обозначения		Уровни варьирования				
	Общие	Кодируемые	-1,682	-1	0	+1	-1,682
Частота вращения	об/мин	$X_1$	249,5	270	315	360	380,5
Угол наклона	град.	$X_2$	26,5	30	37,5	45	48,5
Удельная подача	кг/с	$X_3$	2,36	2,5	2,8	3,1	3,24

Балданов В.Б. в своей работе применил «промежуточные значения (-1, 0, 1) определяют методом линейной интерполяции:

$$X_k = \frac{T - (-1,682)}{1,682 - (-1,682)}(B - A) + A, \quad (4.2)$$

где  $T$  – соответствующее значение уровня варьирования (-1, 0, 1);  $A$ ,  $B$  – начальное и конечное значение диапазона показателя.

Матрица планирования эксперимента приведена в таблице 4.3.

Основываясь на приведённых данных (табл. 4.2) и используя матрицу планирования эксперимента (табл. 4.3), обозначим запланированные точки для сбора статистических сведений (табл. 4.4)» [25].

Таблица 4.3 – Матрица планирования эксперимента

Система опытов	№ опыта	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>23</sub>
Полный факторный эксперимент	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
	2	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
	3	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1
	4	1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1
	5	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1
	6	1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1
	7	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1
	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Звездные точки	9	-1,682	0	0	2,828	0	0	0	0	0
	10	1,682	0	0	2,828	0	0	0	0	0
	11	0	-1,682	0	0	2,828	0	0	0	0
	12	0	1,682	0	0	2,828	0	0	0	0
	13	0	0	-1,682	0	0	2,828	0	0	0
	14	0	0	1,682	0	0	2,828	0	0	0
Центральная точка	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 4.4 – Планируемые точки сбора статистических данных

№ опыта	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sup>э</sup>
1	270	30	2,5	69,3
2	360	30	2,5	82,5
3	270	45	2,5	69,8
4	360	45	2,5	88,3
5	270	30	3,1	70,3
6	360	30	3,1	81,7
7	270	45	3,1	71,1
8	360	45	3,1	84,7
9	249,5	37,5	2,8	62,3
10	360	37,5	2,8	83,5
11	315	26,5	2,8	71,8
12	315	48,5	2,8	73,4
13	315	37,5	2,36	70,1
14	315	37,5	3,24	69,5
15	315	37,5	2,8	81,3
16	315	37,5	2,8	80,9
17	315	37,5	2,8	82,2
18	315	37,5	2,8	80,5
19	315	37,5	2,8	81,1
20	315	37,5	2,8	80,3

При ротатбельном ЦКП для вычисления коэффициентов регрессии и соответствующих оценок дисперсий находят следующие константы:

$$A = \frac{1}{2B[(n+2)B-n]}, \quad (4.3)$$

$$B = \frac{nN}{(n+2)(N-N_0)}, \quad (4.4)$$

$$C = \frac{N}{N-N_0}. \quad (4.5)$$

где  $n$  – число факторов;

$N$  – общее число опытов ротатбельного ЦКП;

$N_0$  – число опытов в центре плана.

На основании результатов эксперимента вычисляют следующие суммы:

$$S_0 = \sum_{j=1}^N y_j, \quad (4.6)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^N X_{ji} y_j \quad (\text{где } i=1,2,\dots,n), \quad (4.7)$$

$$S_{ik} = \sum_{j=1}^N X_{ji} X_{jk} y_j \quad (\text{где } i \neq k), \quad (4.8)$$

$$S_{ii} = \sum_{j=1}^N X_{ji}^2 y_j \quad (\text{где } i=1,\dots,n). \quad (4.9)$$

Формулы для расчета коэффициентов регрессии имеют следующий вид:

$$b_0 = \frac{2AB}{N} \left[ S_0 B(n+2) - C \sum_{i=1}^n S_{ii} \right], \quad (4.10)$$

$$b_i = \frac{cS_i}{N}, \quad (4.11)$$

$$b_{ik} = \frac{C^2 S_{ik}}{BN} \quad (\text{где } i \neq k), \quad (4.12)$$

$$b_{ii} = \frac{AC}{N} \left\{ S_{ii} C[B(n+2) - n] + C(1-B) \sum_{i=1}^n S_{ii} - 2BS_0 \right\}. \quad (4.13)$$

Согласно расчетам Балданова В.Б., «оценки дисперсий в определении коэффициентов регрессии вычисляют по следующим формулам:

$$S_{b_0}^2 = \frac{2AB(n+2)}{N} S_{\text{воспр.}}^2, \quad (4.14)$$



$$S_{b_i}^2 = \frac{S_{\text{воспр.}}^2}{N - N_0} \quad (\text{где } i = 1, 2, \dots, n), \quad (4.15)$$

$$S_{b_{ik}}^2 = \frac{C^2 S_{\text{воспр.}}^2}{N} \quad (\text{где } i \neq k), \quad (4.16)$$

$$S_{b_{ii}}^2 = \frac{AC^2 S_{\text{воспр.}}^2}{N} [B(n+1) - (n-1)]. \quad (4.17)$$

В ротатабельном ЦКП принято  $N$  считать, что коэффициент  $b_i$  значим, если  $|b_i| > S_{b_i} t_{\alpha n}$ . Аналогичные условия значимости справедливы и для других коэффициентов регрессии.

Оценку дисперсии адекватности рассчитывают по формуле:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_j^{\text{э}} - y_j^{\text{п}})^2 - S_{\text{воспр.}}^2 (N_0 - 1)}{N - \frac{(n+2)(n+1)}{2} - (N_0 - 1)}, \quad (4.18)$$

С ней связано число степеней свободы:

$$f_{\text{ад}} = N - \frac{(n+2)(n+1)}{2} - (N_0 - 1). \quad (4.19)$$

Проверку адекватности уравнения регрессии осуществляют с помощью критерия Фишера.

Для нахождения коэффициентов регрессии вычислим следующие вспомогательные коэффициенты:

$$B = \frac{3 \cdot 20}{(3+2)(20-6)} = 0,86;$$

$$A = \frac{1}{2 \cdot 0,86[(3+2)0,86 - 3]} = 0,447;$$

$$C = \frac{20}{20-6} = 1,43 \gg [25].$$

На основании результатов опытов вычислим вспомогательные суммы:

$$S_0 = \sum_{j=1}^N y_j = 1534,6,$$

$$S_1 = \sum_{j=1}^N X_{j1} y_j = 92,35,$$

$$S_2 = \sum_{j=1}^N X_{j2} y_j = 12,79,$$

$$S_3 = \sum_{j=1}^N X_{j3} y_j = -3,1,$$

$$S_{12} = \sum_{j=1}^N X_{j1} X_{j2} y_j = 7,5,$$

$$S_{13} = \sum_{j=1}^N X_{j1} X_{j3} y_j = -6,7,$$

$$S_{23} = \sum_{j=1}^N X_{j2} X_{j3} y_j = -2,5,$$

$$S_{11} = \sum_{j=1}^N X_{j1}^2 y_j = 1030,$$

$$S_{22} = \sum_{j=1}^N X_{j2}^2 y_j = 1028,32,$$

$$S_{33} = \sum_{j=1}^N X_{j3}^2 y_j = 1012,48.$$

Коэффициенты регрессии рассчитываем по формулам (4.10-4.13):

$$b_0 = \frac{2 \cdot 0,447 \cdot 0,86}{20} [1534,6 \cdot 0,86(3 + 2) - 1,43 \cdot 3070,83] = 83,94,$$

$$b_1 = \frac{1,43 \cdot 92,35}{20} = 6,59,$$

$$b_2 = \frac{1,43 \cdot 12,79}{20} = 0,91,$$

$$b_3 = \frac{1,43 \cdot (-3,1)}{20} = -0,22,$$

$$b_{12} = \frac{1,43^2 \cdot 7,5}{0,86 \cdot 20} = 0,89,$$

$$b_{13} = \frac{1,43^2 \cdot (-6,7)}{0,86 \cdot 20} = -0,79,$$

$$b_{23} = \frac{1,43^2 \cdot (-2,5)}{0,86 \cdot 20} = -0,29,$$

$$b_{11} = \frac{0,447 \cdot 1,43}{20} \{1030 \cdot 1,43[0,86(3 + 2) - 3] + 1,43(1 - 0,86) \cdot 3070,83 - 2 \cdot 0,86 \cdot 1534,6\}$$

$$= -3,58,$$

$$b_{22} = \frac{0,447 \cdot 1,43}{20} \{1028,32 \cdot 1,43[0,86(3 + 2) - 3] + 1,43(1 - 0,86) \cdot 3070,83 - 2 \cdot 0,86$$

$$\cdot 1534,6\} = -3,68,$$

$$b_{33} = \frac{0,447 \cdot 1,43}{20} \{1012,48 \cdot 1,43[0,86(3+2) - 3] + 1,43(1 - 0,86) \cdot 3070,83 - 2 \cdot 0,86 \cdot 1534,6\} = -4,61.$$

Для определения воспроизводимости дисперсии можно воспользоваться данными, полученными из экспериментов, проведенных в центральной области плана. Для этого следует произвести следующие вычисления:

$$\bar{y} = \frac{1}{N_0} \sum_{j=1}^{N_0} y_j^3 = \frac{1}{6} (81,3 + 80,9 + 82,2 + 80,5 + 81,1 + 80,3) = 81,05.$$

Тогда:

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{1}{N_0 - 1} \sum_{j=1}^{N_0} (y_j^3 - \bar{y})^2 = 0,455.$$

Эта величина найдена нами при числе степеней свободы:

$$f = N_0 - 1 = 6 - 1 = 5.$$

Оценки дисперсий в определении коэффициентов регрессии вычисляем по формулам (4.14-4.17):

$$S_{b_0}^2 = \frac{2 \cdot 0,447 \cdot 0,86(3+2)}{20} 0,455 = 0,087,$$

$$S_{b_i}^2 = \frac{0,455}{20 - 6} = 0,032,$$

$$S_{b_{ik}}^2 = \frac{1,43^2 \cdot 0,455}{20} = 0,046,$$

$$S_{b_{ii}}^2 = \frac{0,447 \cdot 1,43^2 \cdot 0,455}{20} [0,86(3+1) - (3-1)] = 0,029.$$

Жигжитов А.О. воспользовался «таблицей значений критерия Стьюдента, находим  $t_{\alpha,n}=2,57$  для  $f=5$  и  $P=0,95$ . Тогда:

$$S_{b_0} t_{\alpha,n} = 0,295 \cdot 2,57 = 0,758,$$

$$S_{b_i} t_{\alpha, n} = 0,180 \cdot 2,57 = 0,463,$$

$$S_{b_{ik}} t_{\alpha, n} = 0,215 \cdot 2,57 = 0,553 ,$$

$$S_{b_{ii}} t_{\alpha, n} = 0,172 \cdot 2,57 = 0,442 .$$

Для проверки значимости коэффициентов регрессии рассмотрим следующие соотношения:

$$|b_0| = 83,94 > S_{b_0} t_{\alpha, n},$$

$$|b_{13}| = 0,79 > S_{b_{ik}} t_{\alpha, n},$$

$$|b_1| = 6,59 > S_{b_i} t_{\alpha, n},$$

$$|b_{23}| = 0,29 < S_{b_{ik}} t_{\alpha, n},$$

$$|b_2| = 0,91 > S_{b_i} t_{\alpha, n},$$

$$|b_{11}| = 3,58 > S_{b_{ii}} t_{\alpha, n},$$

$$|b_3| = 0,22 < S_{b_i} t_{\alpha, n},$$

$$|b_{22}| = 3,68 > S_{b_{ii}} t_{\alpha, n},$$

$$|b_{12}| = 0,89 > S_{b_{ik}} t_{\alpha, n},$$

$$|b_{33}| = 4,61 > S_{b_{ii}}.$$

Из данного анализа видно, что коэффициенты регрессии  $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{13}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$  являются значимыми, в то время как коэффициенты  $b_3$  и  $b_{23}$  незначимы» [49].

Используя формулу (4.18), определяем значение дисперсии адекватности:

$$S_{ад}^2 = \frac{9,04 - 0,455(6 - 1)}{20 - \frac{(3 + 2)(3 + 1)}{2} - (6 - 1)} = 1,88 .$$

Балданов В.Б. нашел «число степеней свободы, связанных с этой оценкой дисперсии по формуле (4.20):

$$f_{ад} = 20 - \frac{(3 + 2)(3 + 1)}{2} - (6 - 1) = 5 .$$

Расчетное значение критерия Фишера:

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_{воспр}^2} = \frac{1,88}{0,455} = 4,1.$$

Согласно таблице значений критерия Фишера, соответствующее значение критерия  $F_T = 5,32$ . Выполнение условия  $F_P \leq F_T$  подтверждает правильность уравнения регрессии:

$$y = 83,94 + 6,59x_1 + 0,91x_2 + 0,89x_1x_2 - 0,79x_1x_3 - 3,58x_1^2 - 3,68x_2^2 - 4,61x_3^2,$$

адекватно представленным результатам эксперимента.

Для того чтобы получить представление о делении компонентов зернового материала, был построен график зависимости эффективности очистки зернового материала от легкой, мелкой и крупной примесей в программе Statistica 10.0» [25].

На рисунке 4.10 влияние факторов  $x_1$  и  $x_2$  представлено в уравнении регрессии следующего вида:

$$y = -4088,3523 + 22,2359x_1 + 6,3618x_2 - 0,0306x_1^2 + 0,0009x_1x_2 - 0,0683x_2^2 \quad (4.20)$$

На рисунке 4.11 влияние факторов  $x_1$  и  $x_3$  уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$y = -1026,9898 + 4,3279x_1 + 296,212x_3 - 0,0064x_1^2 + 0,0063x_1x_3 - 57,2222x_3^2 \quad (4.21)$$

На рисунке 4.12 влияние факторов  $x_2$  и  $x_3$  уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$y = -481,1389 + 338,9444x_2 + 5,1x_3 - 62,7778x_2^2 + 4,4409x_2x_3 - 0,0567x_3^2 \quad (4.22)$$

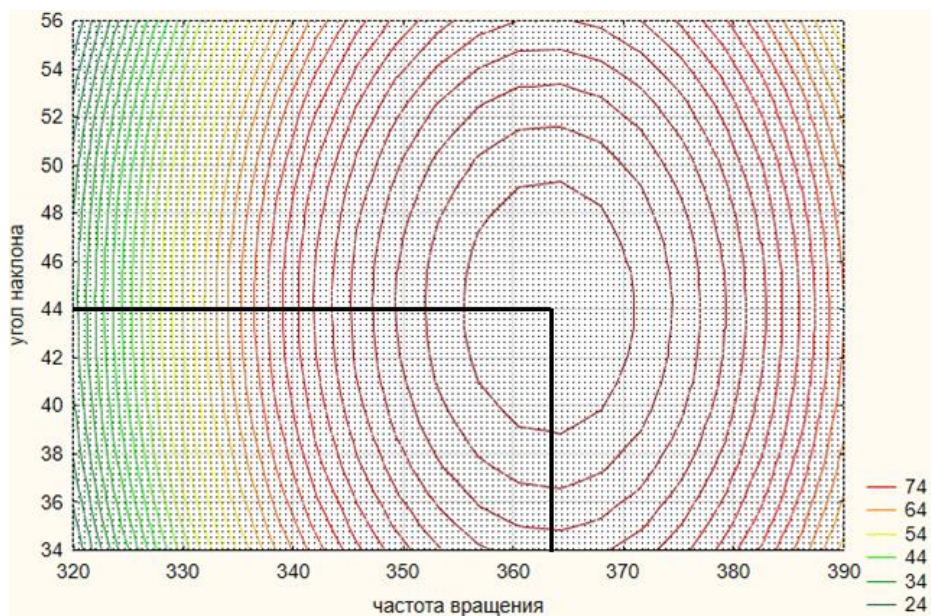


Рисунок 4.10. Эффективность очистки зерна в зависимости от частоты вращения кольцевого диска и угла наклона выпускного патрубка при постоянной удельной подаче

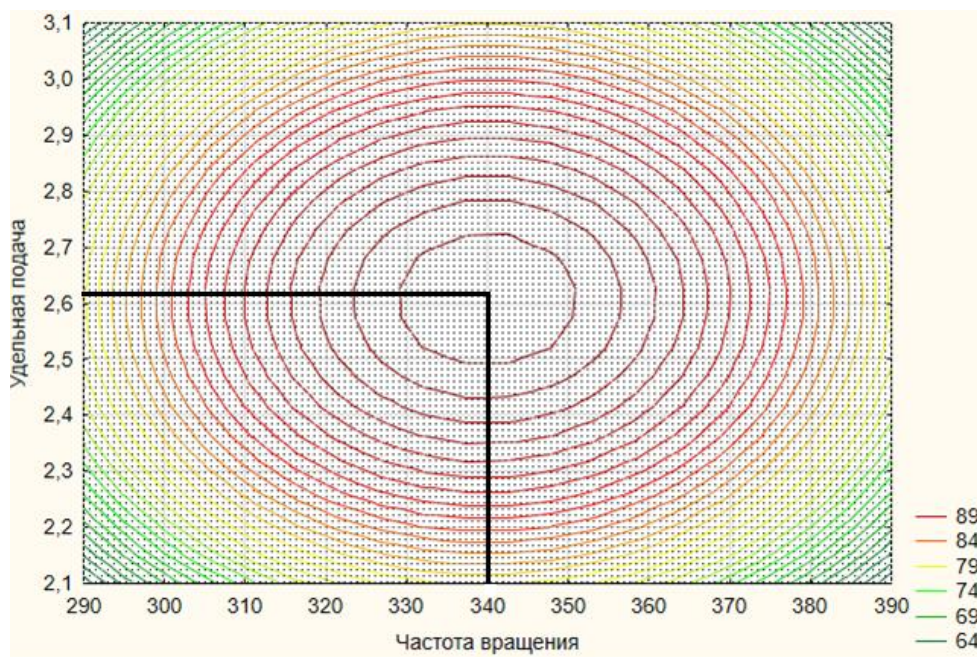


Рисунок 4.11. Эффективность очистки зерна от частоты вращения кольцевого диска и удельной подачи зернового материала при постоянном угле наклона выпускного патрубка

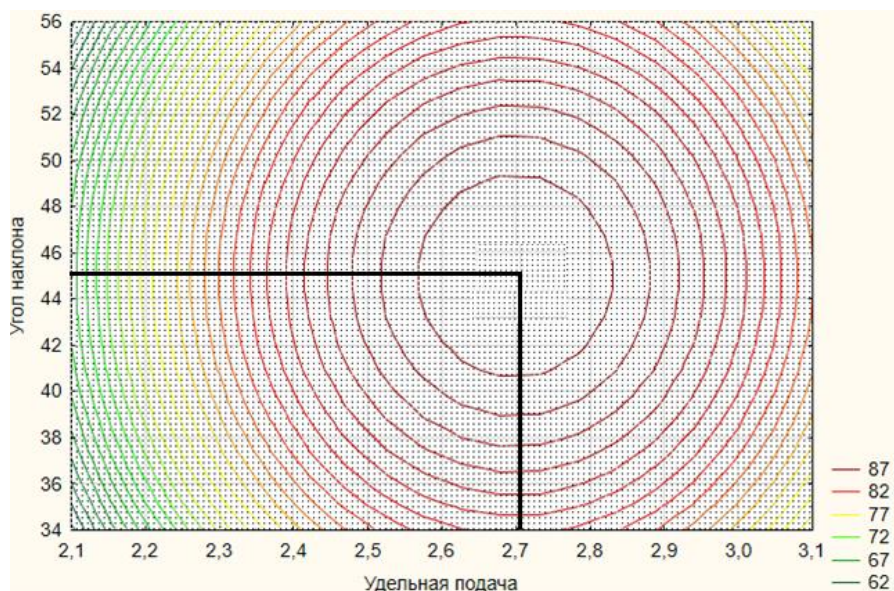


Рисунок 4.12. Эффективность очистки зерна от угла наклона выпускного патрубка и удельной подачи зернового материала при постоянном числе оборотов вращения кольцевого диска

Из анализа графиков следует, что оптимальными параметрами при очистке зернового материала сепарирующим метателем зерна являются угол наклона выпускного патрубка 45 градусов; частота вращения кольцевого диска – 360 об/мин; удельная подача зернового материала 2,7 кг/с. При этом можно довести более 90% зерна базисных кондиций.

Это подтверждается экспериментальными исследованиями (рис. 4.7). Дальность полета частиц при угле наклона выпускного патрубка 45° и распределение компонентов при изучении влияния угла наклона выпускного патрубка сепарирующего метателя зерна к горизонту на длину полета частиц зернового материала при частоте вращения кольцевого диска 360 об/мин и удельной подаче зернового материала 2,7 м/с. Так, если возьмем фракцию основного зерна от 5 до 9 м, то оно составляет 92 % основного зерна базисных кондиций. Так как в этой фракции оказалось 4 % мелкой примеси и 4 % крупной примеси. Если вычислить процент содержания мелкой примеси в данной фракции, то окажется:

$$92,24 \text{ кг} - 100 \%;$$

$$0,12 \text{ кг} - x;$$

$$\text{отсюда: } x = \frac{0,12 \cdot 100}{92,24} = 0,13 \%$$

Также вычислим процент содержания крупной примеси в данной фракции:

$$92,24 \text{ кг} - 100 \%;$$

$$0,12 \text{ кг} - x;$$

$$\text{отсюда } x = \frac{0,12 \cdot 100}{92,24} = 0,13 \%$$

Таким образом, всего 0,26 % примеси содержится в данной фракции основного зерна, т.е. в 92 % фракции основного зерна с мелкой и крупной примесью содержится 0,26 % мелкой и крупной примеси. В продовольственном зерне базисных кондиций не должно быть примесей больше 1%. Таким образом, при оптимальных параметрах сепарирующего метателя зерна можно получить более 90% зерна базисных кондиций.

Основным зерновым материалом служили 100 кг пшеницы, 3 кг мелкой примеси, 3 кг крупной примеси, 4 кг легкой примеси. Всего зерновой материал весит 110 кг, 92 % основного зерна пшеницы составляет 92 кг.

4 % мелкой примеси в данной фракции:

$$3 \text{ кг} - 100 \%;$$

$$x - 4 \%;$$

$$\text{отсюда: } x = \frac{3 \cdot 4}{100} = 0,12 \text{ кг.}$$

4 % крупной примеси в данной фракции:

$$3 \text{ кг} - 100 \%;$$

$$x - 4 \%;$$

$$\text{отсюда: } x = \frac{3 \cdot 4}{100} = 0,12 \text{ кг.}$$

Таким образом, всего в данной фракции зернового материала 92 кг пшеницы + 0,12 кг мелкой примеси + 0,12 кг крупной примеси = 92,24 кг.

А остальные фракции примесей (легкие, мелкие) до 4 м можно



отправить в отходы, также в отходы фракцию крупной примеси от 10 м и более. А фракцию основного зерна от 4 до 5 м с мелкой примесью и фракцию основного зерна с крупной примесью отправить на доработку на существующие решетные зерноочистительные машины.

#### **4.5. Исследование микротравмирования и макроповреждения частиц зернового материала после обработки на сепарирующем метателе зерна**

Микротравмирование частиц зерна оценивалось по методике Чазова С.А. [126] при следующих параметрах: удельная подача зернового материала – 2,78 кг/с. угол наклона выпускного патрубка –  $45^{\circ}$ , частота вращения лопастей – 360 об/мин., удаление точки забора проб – 6, 7, 8 метров, число проб на каждом метре – 4.

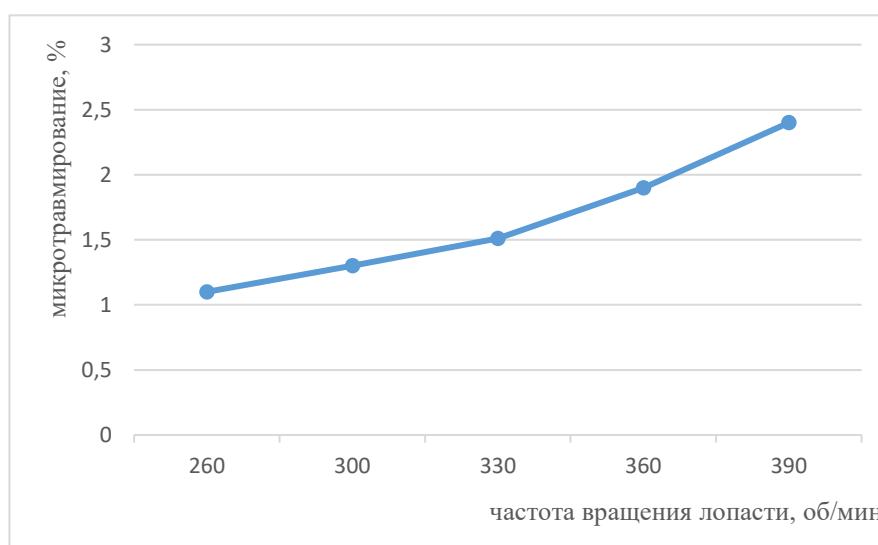


Рисунок 4.13. Зависимость микротравмирования зернового материала от частоты вращения лопастей

На рисунке 4.13 показаны сведения о степени микроповреждений зернового материала при различных скоростях вращения лопастей сепарирующего метателя зерна.

Исследование зависимости микроповреждений зернового материала от скорости вращения лопастей позволяет заключить, что с увеличением

частоты вращений возрастает и степень микроповреждений обработанного зернового материала. Например, при частоте вращения лопастей сепарирующего метателя зерна в 360 об/мин. микроповреждения составляют менее 2%. Объясняется это тем, что с увеличением частоты вращения лопастей увеличивается линейная скорость лопастей, а это ведет к увеличению мгновенной силы удара.

Зависимость макроповреждений частиц зернового материала от количества обработки представлена на рисунке 4.14.

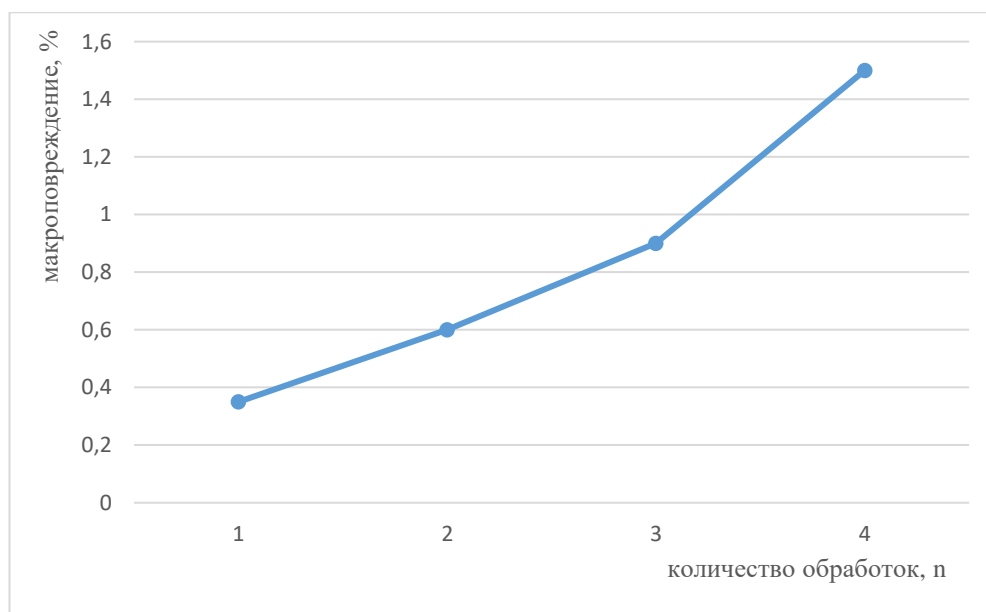


Рисунок 4.14. Зависимость макроповреждений зерна от количества обработки через сепарирующий метатель зерна

Макроповреждение исходного зернового вороха увеличивается с количеством обработки через машину. Макроповреждение частиц зернового материала при обработке на сепарирующем метателе зерна составляет 0,37% при однократной обработке. Этот показатель ниже, чем при обработке зернового материала на производственном зернометателе ЗМ-60, который составляет, в среднем, 0,57%. Это объясняется тем, что на лопасти сепарирующего метателя зерна установлены резиновые покрытия, которые снижают мгновенную силу удара лопасти о частицу зерна. Кроме этого, мгновенная сила удара снижается за счет установки наклона лопасти

назад вращению барабана на 30°. Можно также прийти к выводу, что степень макроповреждений не увеличивается линейно по мере увеличения числа операций. Это обстоятельство можно объяснить тем, что с каждой операцией в структуре зерновки накапливаются макроповреждения, сопровождающиеся снижением предельных напряжений, которые зерновка способна выдерживать, что подтверждается данными из литературных источников.

#### **4.6. Определение снижения влажности исходного зернового материала после пропуска через сепарирующий метатель**

Для выявления уменьшения влажности исходного зернового сырья после обработки через сепарирующий метатель зерна применялся портативный влагомер Фауна-М, который позволяет проводить измерения с высокой точностью (до 0,2 %) вне лабораторных условий.

Измерения проводились как для исходного зернового материала, так и для зерна, прошедшего обработку на сепарирующем метателе после каждого этапа обработки (после каждого пропуска через метатель).

Влажность изначального зернового сырья составляла 18,7 %, а после обработки на сепарирующем метателе с лопастями, движущимися со скоростью 14 м/с, снижалась до 17,1-17,6 %. При повторной обработке материала и снижении скорости лопастей до 13 м/с влажность зернового сырья уменьшалась на 0,5 % за один пропуск и составляла 16,6-17,1 %. При дальнейшем снижении скорости лопастей до 10 м/с уменьшение влажности составило всего 0,3 %, и конечный показатель составил 16,3-16,8 %.

Следовательно, можно заключить, что при скорости 14 м/с, оптимальной для технологического процесса, метатель зерна демонстрирует значительное уменьшение влажности обрабатываемого зерна, в среднем, на 1,35 % при однократном прохождении через устройство. После обработки зерна метателем ЗМ-60 его влажность

снижается на 0,98 %. Следовательно, экспериментальные данные показывают, что использование метателя зерна приводит к снижению влажности зернового вороха. Важным преимуществом данного устройства является эффективное удаление влаги из свежесобранного зерна, что нередко становится основной задачей при послеуборочной обработке.

#### **4.7. Испытание в хозяйственных условиях**

Опираясь на теоретические и экспериментальные исследования, был разработан метатель зерна с функцией сепарации, который служит для отделения лёгких, мелких и крупных загрязнителей от зерна.

Был создан и протестирован прототип устройства, оценена его работоспособность в производственной среде на зернопункте ООО «Куйтунское» Тарбагатайского района.

На рисунке 4.1 представлен вид макетной установки сепарирующего метателя зерна, который удаляет легкие, мелкие и крупные примеси.

Использовалась пшеница сорта Бурятская-79 с влажностью 17,6%. Подача зерна была 2,7 кг/с. В исходном зерновом материале было 10% примесей (4% лёгких, 3% мелких, 3% крупных). Общий объём зерна, использованного для испытаний, превысил 20 тонн. Испытания проводились при удельной подаче от 9 до 11 т/ч.

В ходе хозяйственных испытаний в ООО «Куйтунское» Табагатайского района были выполнены следующие работы:

1. Изучены физико-механические свойства компонентов зерновой смеси.
2. Проведены лабораторные исследования процесса сепарации зерновой смеси на сепарирующем устройстве.
3. Разработана проектно-техническая документация для изготовления сепарирующего устройства для зерна.

4. Изготовлен сепарирующий метатель зерна для очистки зернового вороха от легкой, мелкой и крупной примесей.

5. Проведены хозяйственные испытания на первичной очистке вороха пшеницы.

В ходе испытаний сепарирующего метателя зерна для первичной очистки пшеничного вороха были получены следующие данные, демонстрирующие его экономическую эффективность:

- производительность составляет 9-11 тонн в час;
- сепарирующий метатель зерна разделяет ворох на пять фракций:
- очищенное зерно, достигающее 84-89 % базисных кондиций;
- зерно с легкими и мелкими примесями, составляющими около 4-6 %;
- зерно с крупными примесями, составляющими 7-10 %;
- отходы с легкими и мелкими примесями;
- отходы с крупными примесями;
- эффективность отделения легких и мелких примесей превышает 90 %;
- эффективность отделения крупных примесей более 86 %.

Зерно с легкими, мелкими и крупными примесями было подвержено дополнительной обработке на зерноочистительных машинах для достижения базисных кондиций. За время испытаний было обработано свыше 20 тонн пшеницы.

Расчетная годовая экономическая эффективность от внедрения «Сепарирующего метателя зерна» в ООО «Куйтунское» составит более 50 тыс. рублей.

Использование сепарирующего метателя зерна с резиновыми покрытиями на лопастях позволяет снизить макроповреждения частиц зерна до 0,4 % зернового вороха.

Анализ хозяйственных испытаний сепарирующего метателя зерна показал, что при однократной обработке исходного зерна через машину влажность обработанного зернового материала снизилась, в среднем, на 1,1-1,4%.

Таким образом, хозяйственные испытания сепарирующего метателя зерна показали на работоспособность данного сепарирующего метателя зерна, при котором снижается повреждение частиц зернового материала по сравнению с производственными зернометателями и снижается влажность исходного зернового материала.

Сепарирующий метатель зерна позволяет получить за одну технологическую операцию более 90% зерна базисных кондиций и доработать промежуточные фракции на существующих зерноочистительных машинах.

Сепарирующий метатель зерна был использован при обработке зерна пшеницы для посева на зерноскладе и внедрен в хозяйстве ООО «Наследие» (прил. 2).

На зернопункте ООО «СибирьКонтинент» внедрен «Сепарирующий метатель зерна» для очистки зернового вороха от легкой, мелкой и крупной примесей (прил. 3).

### **Выводы**

Исследование экспериментальных данных показало, что зерновой сепаратор выбрасывает различные компоненты зернового материала на разные расстояния. Тяжелые и крупные частицы летят дальше других, частицы основного зерна оседают ближе, а самые мелкие и легкие примеси располагаются еще ближе.

Частицы легких примесей оказываются ближе всех остальных. Для получения зерна с базисными кондициями более 90 % частицы основного зерна можно выбирать в диапазоне от 5 до 9 метров. Все другие промежуточные фракции включают зерно с мелкими примесями (от 3 до 4 метров) и зерно с крупными примесями (от 9 до 10 метров), которое можно далее очищать на имеющемся оборудовании. Фракция с легкими и мелкими примесями (ближе 3 метров) и фракция крупных примесей (дальше 10 метров) направляются в отходы, при этом потери зерна не превышают 1 %.

Анализ экспериментальных исследований сепарирующего метателя зерна показал, что можно выделить более 90% зерна базисных кондиций при следующих основных параметрах: частота вращения кольцевого диска – 360 об/мин, угол наклона выпускного патрубка – 45°, удельная подача зернового материала – 2,7 кг/сек.

Экспериментальные исследования показали, что макроповреждение зерна составляет менее 0,37% при однократной обработке сепарирующим метателем зерна, а микротравмирование – не более 2%. Эти данные существенно ниже, чем на производственных зернометателях.

Подводя итоги, можно заключить, что на скорости 14 м/с сепарирующий метатель зерна достиг более значительного уменьшения влажности обрабатываемого материала, снижая её, в среднем, на 1,35% за один проход через машину. Для сравнения, обработка метателем ЗМ-60 снижает влажность зерна на 0,98%. Главным достоинством использования метателя зерна является способность эффективно удалять влагу из недавно собранного влажного зернового сырья, что нередко становится первоочередной задачей на этапе послеуборочной обработки зерна.

## Глава V. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты теоретических и практических исследований процесса разделения зерновых смесей при помощи сепарирующего метателя зерна демонстрируют его эффективность для удаления легких, мелких и крупных примесей из зерна. За один проход материала через сепарирующий метатель можно одновременно выделить легкие, мелкие и крупные примеси.

Ниже представлена технико-экономическая оценка использования сепарирующего метателя зерна для очистки продовольственного зерна от мелких и крупных примесей при производительности 10 т/ч.

Краткая техническая характеристика сравниваемых машин представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Техническая характеристика сравниваемых машин

№ п/п	Показатели	Размерность	Базовая машина ЗМС-60	Экспериментальная машина
1	Производительность	т/ч	60	10
2	Цена машин	руб.	480000	82683
3	Балансовая стоимость машин	руб.	1577337	99219
4	Установленная мощность электродвигателей машин	кВт	11,5	1,2
5	Количество обслуживающего персонала	чел.	1	0,5
6	Масса машин	кг.	1200	72
7	Удельная металлоемкость	кг/т/ч	20	7,2

Устройство для сепарации зерна может отделять более 90% зерна базисных кондиций. Позднее промежуточные фракции зерна, включающие легкие, мелкие и крупные примеси, подвергаются дополнительной очистке на существующих зерноочистительных установках.

В качестве базовой машины используется зернометатель модели ЗМС60.



## 5.1. Расчет оптовой цены сепарирующего метателя зерна

5.1.1. Согласно методике определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники и методике определения оптовых цен на новые сельскохозяйственные машины, предусмотрен «расчет отраслевой себестоимости сепарирующего метателя зерна по типовой методике:

$$C_0 = \lambda \frac{100 \cdot M_0}{q \cdot k_y} + d_c, \quad (5.1)$$

где  $M_0$  – общая стоимость сепаратора без покупных изделий, руб. (таблица 5.2);

$d_c$  – стоимость покупных изделий и деталей с добавлением затрат на транспортно-заготовительные расходы, руб.;

$\lambda$  – коэффициент конструктивной сложности новой машины по сравнению с аналогичными по технологии серийными машинами [82]:  $\lambda = 1$ ;

$q$  – удельный вес затрат на материалы в себестоимости машины без покупных изделий данной или аналогичной группы [82],  $q = 54\%$

$k_y$  – коэффициент изменения удельного веса материалов в зависимости от масштаба производства:

$$k_y = 0,6586 + 0,037x - 0,00035x^2,$$

где  $x$  – масштаб производства, тыс. штук в год.

Масштаб производства зерноочистительных машин производительностью 10 т/ч составляет 3 тыс. штук в год:  $k_y = 0,775$  [82].

Транспортно-заготовительные расходы составляют 7% от стоимости покупных изделий и деталей.

$$C_0 = 1 \cdot \frac{100 \cdot 27900}{54 \cdot 0,775} + 8500 = 75166.$$

### 5.1.2. Оптовая цена машины:

$$Ц_0 = C_0 + P_n, \quad (5.2)$$

где  $P_n$  – нормативная прибыль, руб.

Нормативная прибыль определяется пропорционально себестоимости сельскохозяйственной машины или оборудования с учетом удельного веса стоимости покупных изделий:

$$P_n = \frac{P_c \cdot C_0}{100}, \quad (5.3)$$

где  $P_c$  – дифференциальный отраслевой норматив рентабельности по отношению к себестоимости в процентах.

Доля покупных изделий в себестоимости сепарирующего метателя зерна составляет от 21 до 30%, при этом отраслевой норматив рентабельности принимаем 10%.

$$P_n = \frac{10 \cdot 75166}{100} = 7516,6;$$

$$Ц_0 = 75166 + 7516,6 = 82683.$$

Данные расчета оптовых цен сепарирующего метателя зерна представлены в таблице 5.2» [81,82].

Таблица 5.2 – Данные расчета оптовой цены сепарирующего метателя зерна

№ п/п	Показатели	Размерность	Сепарирующий метатель зерна
1	Количество всего лопастей	шт	8
2	Стоимость лопастей	руб.	2800
3	Масса лопастей	кг	7
4	Масса корпуса сепаратора	кг	22
5	Масса рамы	кг	15
6	Масса приемного бункера сепаратора	кг	8
7	Масса всего сепаратора без покупных изделий	кг	67
8	Общая стоимость сепаратора без покупных изделий	руб.	27900
9	Стоимость покупных изделий	руб.	8500
10	Масса всего сепаратора	кг	72
11	Установленная мощность электродвигателя	кВт	1,2

## 5.2. Расчет основных технико-экономических показателей

Аналогично работе Цыбенова Ж.Б. использовали «при расчете основных технико-экономических показателей типовые методики [80,81].

5.2.1. Балансовая стоимость машины:

$$Ц_6 = Ц_0 \cdot 1,2 = 82683 \cdot 1,2 = 99219, \quad (5.4)$$

где 1,2 – коэффициент перевода оптовой цены в балансовую цену для сельскохозяйственных машин, которые нужно монтировать [80].

5.2.2. Годовая выработка машины:

$$W_r = W \cdot t_r \cdot K = 10 \cdot 260 \cdot 0,85 = 2210, \quad (5.5)$$

где  $W$  – производительность машины за час;

$t_r$  – 260 ч – годовая загрузка зерноочистительной машины [80];

$K$  – коэффициент использования рабочего времени:  $K = 0,85$  [80].

5.2.3. Эксплуатационные затраты вычисляют для каждой из сравниваемых машин по формуле:

$$И = 3 + Э + А + R = 4,7 + 0,0056 + 5,6 + 5,8 = 16,1, \quad (5.6)$$

где 3 – зарплата рабочих, приходящаяся на единицу работы;

Э – стоимость электроэнергии на единицу работы;

А – амортизационные отчисления на реновацию на единицу работы;

R – затраты на ремонт и технический уход на единицу работы.

5.2.4. Заработная плата рабочих на единицу работы определяется:

$$3 = \frac{\sum \lambda \cdot z_{\text{ч}}}{W \cdot K} = \frac{0,5 \cdot 80}{10 \cdot 0,85} = 4,7,$$

где  $\lambda$  – количество рабочих каждой квалификации;

$z_{\text{ч}}$  – оплата за час работы по специальностям и квалификациям [80].

5.2.5. Стоимость электроэнергии на единицу работы определяется:

$$\mathcal{E} = \frac{N \cdot C_{\mathcal{E}}}{100 \cdot W \cdot K} = \frac{1,2 \cdot 4}{100 \cdot 10 \cdot 0,85} = 0,0056, \quad (5.8)$$

где  $N$  – установленная мощность двигателя машины, кВт;

$C_{\mathcal{E}}$  – цена 1 кВт.ч электроэнергии (для сельского хозяйства равна 4 руб.).

5.2.6. Амортизационные отчисления на реновацию, приходящиеся на единицу работы, определяются по формуле:

$$A = \frac{C_6 \cdot \alpha}{100 \cdot W \cdot t_r \cdot K} = \frac{99219 \cdot 12,5}{100 \cdot 10 \cdot 260 \cdot 0,85} = 5,6, \quad (5.9)$$

где  $\alpha$  – процент ежегодных отчислений на реновацию (на зерноочистительные машины составляет 12,5%) [80]» [121].

5.2.7. Дондоков Ю.Ж. применил расчет для определения «размера отчислений на капитальный, текущий ремонт и технический уход на единицу работы по формуле:

$$R = \frac{C_6 \cdot r}{100 \cdot W \cdot t_r \cdot K} = \frac{99219 \cdot 13}{100 \cdot 10 \cdot 260 \cdot 0,85} = 5,8, \quad (5.10)$$

где  $r$  – процент ежегодных отчислений на капитальный, текущий ремонт и технический уход (для зерноочистительных машин составляет 13%).

Общую сумму эксплуатационных затрат на единицу работы для каждой из сравниваемых машин получают суммированием затрат по всем элементам.

5.2.8. Удельные капиталовложения на единицу работы определяются:

$$K = \frac{C_6}{W \cdot t_r \cdot K} = \frac{99219}{10 \cdot 260 \cdot 0,85} = 44,89. \quad (5.11)$$

5.2.9. Приведенные затраты на единицу работы определяются по формуле:

$$J = И + E_{\text{нор}} \cdot K, \quad (5.12)$$

где  $E_{\text{нор}}$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложения, равный 0,15» [46].

$$J_{\text{н}} = 16,1 + 0,15 \cdot 44,89 = 22,8,$$

$$J_{\text{с}} = 31,8 + 0,15 \cdot 118,9 = 49,6.$$

5.2.10. Годовой экономический эффект от внедрения новой машины определяется:

$$\Delta_r = (J_{\text{с}} - J_{\text{н}}) \cdot K = (49,6 - 22,8) \cdot 2210 = 59228, \quad (5.13)$$

где  $J_{\text{с}}$  – приведенные затраты на единицу работы по старой машине;

$J_{\text{н}}$  – приведенные затраты на единицу работы по новой машине.

5.2.11. Экономия капиталовложений в связи с внедрением новой машины:

$$\pm \Delta_k = Ц_{\text{бн}} - Ц_{\text{бс}} \frac{W_{\text{ГН}}}{W_{\text{ГС}}} = 99219 - 1577337 \frac{2210}{13260} = 163670, \quad (5.14)$$

где  $Ц_{\text{бн}}$  – балансовая стоимость новой машины, руб.;

$Ц_{\text{бс}}$  – балансовая стоимость старой машины, руб.;

$W_{\text{ГН}}$  – годовая выработка новой машины, т.;

$W_{\text{ГС}}$  – годовая выработка старой машины, т.

Итоги расчетов представлены в таблице 5.3. Анализ данных показывает, что использование сепарирующего метателя зерна является экономически обоснованным. Ежегодный экономический эффект для одной машины составляет 59228 рублей. При этом уменьшаются:

- эксплуатационные расходы на 49%;
- металлоемкость в 2,7 раза;
- удельные капитальные затраты в 2,6 раза.

Ежегодный экономический эффект от внедрения в производство (при годовом объеме выпуска машин в 3 тысячи) сепарирующего метателя зерна производительностью 10 тонн в час составит 177 миллионов рублей.

Таблица 5.3 – Основные технико-экономические показатели машин

№ п/п	Показатели	Размерность	Базовая машина ЗМС-60	Экспериментальная машина
1	Балансовая стоимость машин	руб.	1577337	99219
2	Годовая выработка	т	13260	2210
3	Расходы на заработную плату	р/т	1,56	4,7
4	Расходы на электроэнергию	р/т	0,0090	0,0056
5	Амортизированные отчисления на реновацию	р/т	14,86	5,6
6	Затраты на ремонт и технический уход	р/т	15,46	5,8
7	Эксплуатационные затраты	р/т	31,8	16,1
8	Удельные капиталовложения	р/т	118,9	44,89
9	Приведенные затраты	р/т	49,6	22,8
10	Годовой экономический эффект на 1 машину	руб.	-	59228

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель перемещения частицы зернового материала по лопасти сепарирующего метателя зерна в виде дифференциального уравнения второго порядка, которое является линейным неоднородным с постоянными коэффициентами, отличающаяся тем, что учитывает угол наклона лопасти в обратную сторону вращения при определении расстояния от центра вращения барабана до зерна.

2. Разработана математическая модель сепарирующего метателя зерна, обеспечивающего эффективность выделения зерна с выявлением закономерностей взаимосвязи с комбинацией параметров со снижением повреждаемости. Экспериментально обоснованы основные параметры сепарирующего метателя зерна: частота вращения кольцевого диска – 360 об/мин, угол наклона выпускного патрубка – 45°, угол наклона лопасти в обратную сторону вращения – 30°-40°, удельная подача – 2,7 кг/сек. При этом можно выделить более 90 % основного зерна базисных кондиций.

3. Установлено снижение повреждаемости частиц зернового материала при установке на лопастях резиновых покрытий. Обоснован коэффициент  $k$ , зависящий от материала поверхности лопасти и кривизны поверхностей тел в точке контакта при установке на лопастях резиновых покрытий ( $k_{рез}=3,35$ ). Анализ экспериментальных исследований сепарирующего метателя зерна показал, что макроповреждение зерна составляет менее 0,37% при обработке сепарирующим метателем зерна, а микротравмирование не более 2%.

4. Ожидаемый экономический эффект от внедрения экспериментального сепарирующего метателя зерна составляет более 59 тыс. руб. на одну машину.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А. с. 1006337 СССР МКИЗ В 65 G 31/04 Зернометатель/ Н.А. Урханов и Г.Ф. Ханхасаев (СССР). – 3354221/29-03. Заявл. 18.11.81. Опубл. 23.03.83. Бюл. № 11.
2. А. с. 1643348 СССР МКИЗ 5 В 65 G 31/04 Порционный метатель/ Г.Ф. Ханхасаев, И.Т. Нуртазин, К.А. Кирилов, А.Г. Хамаганов и А.Н. Ханхасаев (СССР). 4685047/03 (22). Заявл. 28.04.89. Опубл. 23.04.91. Бюл. № 15.
3. А. с. 735709 СССР МКИЗ Е 02 F 3/24, В65 G 31/04 Метатель сыпучих материалов. Н.А. Урханов, Г.Ф. Ханхасаев и С.Б. Бальжинимаева (СССР). № 2577825/29-03. Заявл. 03.02.78. Опубл. 25.05.80. Бюл. № 19. С. 116-117.
4. А. с. 776962 СССР МКИЗ В 65 G 31/02 Зернометатель. Н.А. Урханов и Г.Ф. Ханхасаев (СССР). 2693869/22-03. Заявл. 08.12.78; Опубл. 07.11.80. Бюл. № 41.
5. А. с. 865433 СССР МКИЗ В 07 В 7/01, В 07 В 13/10 Сепаратор. Н.А. Урханов, Г.Ф. Ханхасаев, В.А. Кубышев, А.И. Климок и Г.Р. Озонов (СССР). 2903482/30-15. Заявл. 03.04.80. Опубл. 23.09.81. Бюл. № 35.
6. А. с. 876865 СССР МКИЗ Е 02 F 3/18 Метатель материала. В.А. Кубышев, Н.А. Урханов, Г.Ф. Ханхасаев, А.И. Климок и Г.Р. Озонов (СССР). 2881628/29-03. Заявл. 03.04.80. Опубл. 30.10.81. Бюл. № 40 Метатель материала.
7. Абидуев А.А. Повышение эффективности фракционного разделения и очистки зерна на порционном метателе: дис... канд. техн. наук: 05.20.01 : Улан-Удэ, 2004. 166 с.
8. Абрамова Г.К. Влияние травмирования семян в процессе уборки и послеуборочной обработки их на посевные качества. Г.К. Абрамова, В.Н. Топанов. Записки Ленинградского СХИ. Т.139. Вып. 2. С. 31-36.
9. Авдеев Н.Е. Научные основы процессов центробежного



сепарирования зерновых материалов и методы расчета инерционных сепараторов: автореф. дис. докт. техн. наук. М., 1984. 46 с.

10. Алфёров С.А. Механическая повреждаемость зерна при ударе. С.А. Алфёров, А.А. Попов. Механизация и электрификация с/х. № 3. 1981. С.50-51.

11. Анискин В.И. Основные проблемы послеуборочной обработки зерна в хозяйствах. Зерновое хозяйство, 1982. № 12. С. 15-18.

12. Анискин В.И. О повышении качества семян способами послеуборочной и предпосевной обработки. Сб. научн. тр. ВИМ. М., 1987. Т. 112.С. 3-19.

13. Анискин В.И. Технология и технические решения проблемы сохранности зерна в сельском хозяйстве: дис. докт. техн. наук. М., 1985. 538с.

14. Анискин В.И., Дринча В.М. Методологические изыскания инженерных решений машинных сельскохозяйственных процессов. НТБ ВИМ. М., 1994. Вып. 89. С. 3-7.

15. Анискин В.И., Дринча В.М., Ямпиров С.С. Анализ энергоёмкости основных зерновых культур. Энергосбережение в сельском хозяйстве: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. М., 1998. С. 3-4.

16. Анискин В.И., Елизаров В.П. Основные направления механизации обработки и хранения зерна. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1976. №11. С. 10-12.

17. Анискин В.И., Зюлин А.Н. Энергосберегающие технологии послеуборочной обработки зерна. Энергосбережение в сельском хозяйстве: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. М., 1998. С 93-95.

18. Анискин В.И., Матвеев А.С. Задачи исследований в области очистки зерна. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1986. № 1. С. 21-22.

19. Асатурян А.В. Обоснование технологического процесса работы и параметров усовершенствованного ленточного метателя зерна: дис...канд. техн. наук. Зерноград, 2017. 200 с.

20. Асатурян А.В.; Бутенко А.Ф. Модернизация зернометательной машины путём постановки экспериментального рабочего органа с целью снижения травмирования зерна. Асатурян А.В.; Бутенко А.Ф. Развитие агропромышленного комплекса юга России. Сборник тезисов научно-исследовательских проектов Всероссийского конкурса научно-исследовательских работ аспирантов и научных работников «Развитие АПК Юга России». Анапа, 2012. С. 68-73.

21. Асатурян А.В.; Бутенко А.Ф. Совершенствование процесса послеуборочной обработки зерна роторным метателем. Асатурян А.В.; Бутенко А.Ф. Научно-техническое творчество молодёжи – путь к обществу, основанному на знаниях. Сборник докладов V Международной научно-практической конференции. Москва, 2013. С. 328-333.

22. Асатурян А.В.; Бутенко А.Ф. Совершенствование процесса работы экспериментального роторного метателя. Асатурян А.В.; Бутенко А.Ф. Донская аграрная научно-практическая конференция. Сб. научных трудов. Секция «Высокоэффективные технологии и технические средства в сельском хозяйстве». Зерноград, 2012. С. 10-15.

23. Асатурян А.В.; Бутенко А.Ф.; Чепцов С.М. К совершенствованию конструкций рабочих органов ленточных метателей зерна. Асатурян А.В.; Бутенко А.Ф.; Чепцов С.М. Современные тенденции в образовании и науке: сб. науч. тр. по материалам международной науч.-практ. конф. в 14 частях. Часть 14. Тамбов, 2014. С. 20-25.

24. Асатурян А.В.; Бутенко А.Ф.; Чепцов С.М. Теоретические основы процесса работы экспериментального роторного зернометателя/Асатурян А.В.; Бутенко А.Ф.; Чепцов С.М. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. Краснодар: КубГАУ, 2014. №07 (101). IDA [article ID]: 1011407134 <http://ej.kubagro.ru/archive.asp?n=101>.

25. Балданов В.Б. Обоснование основных параметров гравитационного сепаратора для очистки зерна: дис...канд.техн.наук. Улан-Удэ, 2013. 160 с.

26. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗОВ. И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. М.: Наука, 1986. 544 с.
27. Бутенин, Н.В. Курс теоретической механики. Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркин. М.: Наука, 1985. Т. 2. 496 с.
28. Бутенко, А.Ф. Анализ травмирования семян зерновых культур. А.Ф. Бутенко, В.А. Максименко. Исследование и разработка эффективных технологий и технических средств для животноводства: сборник научных трудов. ВНИПТИМЭСХ. зерноград, 2004. С. 75-83.
29. Бутенко, А.Ф. Обоснование метательного рабочего органа в машинах для послеуборочной обработки зерна. А.Ф. Бутенко, А.М. Яковлева. Научная молодёжь агропромышленному комплексу: материалы науч. конф. – зерноград, 2003. С. 99-103.
30. Бутенко, А.Ф. Определение стойкости зерна к механическим нагрузкам. А.Ф. Бутенко. Научная молодёжь агропромышленному комплексу: материалы науч. конф. – зерноград, 2003. С. 92-99.
31. Бутенко, А.Ф. Снижение травмирования зерна роторным зернометателем: дис... канд. техн. наук. зерноград, 2005. 169 с.
32. Василенко, П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям с/х машин. П.М. Василенко. Киев: Изд-во Укр. акад. с/х наук, 1960. 384 с.
33. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей. Е.С. Вентцель. М.: Государственное изд-во физико-математической литературы, 1962. 562 с.
34. Воронков И.М. Курс теоретической механики. И.М. Воронков. М.: Наука, 1965. 596 с.
35. Высокопроизводительные машины для очистки зерна: обзорная информация. ВАСХНИЛ. 1982.
36. Гехтман А.А. Машина МПО-50 для предварительной очистки зерна. А.А. Гехтман, В.В. Антюхин. Тракторы и сельскохозяйственные машины № 5. 1983. С. 24-25.

37. Гладков Н.Г. Сепарирование семян по свойствам поверхности. Труды ВИСХОМ. М., 1959. Вып. 26. С. 9-11.
38. Гладков Н.Г. Зерноочистительные машины. Ц Машгиз, 1961. 367 с.
39. Глотов В.П. О снижении механических повреждений зерна на поточной линии. Научно-технический бюллетень по электрификации с/х. Тр. ВНИИЭСХ. 1969. Вып. 2(8). С. 87-94.
40. Глотов В.П. Прибор для исследования механических свойств зерна. Тр. ЧИМЭСХ. 1969. Вып. 36. С. 219-224.
41. Гончаров Е.С. Механико-технологическое обоснование и разработка универсальных виброцентробежных зерновых сепараторов: дис. докт. техн. наук. М., 1986. 299 с.
42. ГОСТ Р 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия
43. ГОСТ Р 7.0.11-2011. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. М. : Стандартинформ, 2012. 9 с.
44. Гылыкова С.Ж., Ямпиров С.С., Цыбенков Ж.Б., Хандакова Г.Ж., Балданов В.Б., Жигжитов А.О. Влияние частоты вращения барабана сепарирующего зернометателя на эффективность очистки зерна. Вестник ВСГУТУ. №1. 2024. С. 83-89.
45. Гылыкова С.Ж., Ямпиров С.С. Анализ конструкций зернометателей. Вестник научных конференции «Современное общество, образование и наука». Тамбов, 2020. N 8-2 (60). С. 35-37.
46. Дондоков Ю.Ж. Обоснование основных параметров секционного решетчатого сепаратора для очистки зерна с блоком загрузочных решет: дисс...канд.техн.наук. Улан-Удэ. 2003. 152 с.
47. Дринча, В.М. Влияние машинного воздействия на качество семян/ Техника в сельском хозяйстве № 1, 1998. С. 35-38.
48. Ерёмин, В.И. К вопросу о снижении травмирования семян. В.И. Ерёмин, В.В. Гагулин. Тракторы и с/х машины № 4, 1974. С. 30-33.

49. Жигжитов А.О. Обоснование основных параметров воздушно-гравитационного сепаратора для очистки зерна: дис...канд.техн.наук. Улан-Удэ, 2017. 212 с.

50. Жилин А.П. О некоторых закономерностях движения частиц минеральных удобрений в роторе с горизонтальной осью вращения. Исследование, проектирование и производство рабочих органов с/х машин. Ростов н/Д, 1980. С. 33-38.

51. Жилин А.П. Исследование процесса распределения минеральных удобрений ротором с горизонтальной осью вращения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 1975. 24 с.

52. Забродин В.П. Анализ взаимодействия частиц с лопаткой наружного диска распределительного рабочего органа. Совершенствование технологических процессов и конструкций сельскохозяйственных машин. Краснодар, 1989. Вып. 294 (322). С. 84-91.

53. Забродин В.П. Распределительный рабочий орган разбрасывателей удобрений. Механизация и электрификация сел. хоз-ва. № 7. 1985. С. 25-27.

54. Заика П.М. Динамика вибрационных зерноочистительных машин. М.: Машиностроение, 1977. 287 с.

55. Зюлин А.Н. Исследование процесса сепарации зерновых смесей на решетках: дис. канд. техн. наук. М., 1972. 146 с.

56. Зюлин А.Н. Технологические основы интенсификации процесса сепарации зерна по комплексу признаков делимости: дис. докт. техн. наук. М., 1987. 514 с.

57. Зюлин А.Н. Влияние неоднородности зернового материала на полноту разделения решетом. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1978. № 12. С. 17-19.

58. Зюлин А.Н. Теоретические вопросы совершенствования технологии очистки зерна. Труды ВИМ. М., 1984. Т. 100 С. 49-53.

59. Зюлин А.Н. Новое в очистке зерна при закладке на хранение. Достижения в АПК. 1999. №6. С. 14-16.

60. Зюлин А.Н. Теоретические проблемы развития технологий сепарирования зерна. М.: ВИМ, 1992. 209 с.
61. Зюлин А.Н., Гозман Г.И. Зерноочиститель СЗГ-25. Техника в сельском хозяйстве. 1997. № 6. С. 30-31.
62. Зюлин А.Н., Воронин В.М. Исследование делимости зернового материала. В сб.: «Проблемы механизации сельскохозяйственного производства». М., 1985. 85 с.
63. Зюлин А.Н., Ямпиров С.С. Влияние содержания примеси и влажности зерна на эффективность очистки каскадом однородных решет. Развитие комплексной механизации производства зерна с учетом зональных условий. Тез. докл. Всесоюзного научно-технического совещания. М., 1982. 194 с.
64. Зюлин А.Н., Ямпиров С.С., Дринча В.М. Предварительная очистка семян в хозяйствах. Вестник семеноводства в СНГ. 1998. № 2. С. 28-31.
65. Зюлин А.Н., Ямников С.С. Результаты испытаний каскадного решетного сепаратора для зерна. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1982. № 10. С. 52-53.
66. Кильчевский, Н.А. Теория соударения твердых тел. Киев: Наукова думка, 1969. 246 с.
67. Клёнин Н.И. Повреждение зерна от местных деформаций и общего сжатия. Сб. науч. тр. МИИСП. 1978. Т. 15. Вып. 1. С. 82-85.
68. Климок А.И., Пучков М.М. Выбор признака для сортирования семян. В сб.: «Совершенствование технологии и организации уборки и послеуборочной обработки зерна». Новосибирск, 1983. С. 52-57.
69. Кожуховский И.Е. Конструкции, проектирование и расчет зерноочистительных машин. М., 1963. 55 с.
70. Кожуховский И.Е. Зерноочистительные машины. М.: Машиностроение, 1974. 200 с.
71. Кожуховский И.Е., Павловский Г.Т. Механизация очистки и сушки зерна. М.: Колос, 1968. 440 с.

72. Косилов Н.И. Интенсификация сепарации зернового вороха: автореф. дис. доктора техн. наук. Челябинск, 1989. 39 с.

73. Косилов Н.И. Результаты сравнительных испытаний сепараторов на предварительной очистке зерна. Н.И. Косилов, В.В. Пивень, А.В. Миронов. Повышение производительности и качества работы зерноуборочных машин. Сб. науч. тр. ЧМЭСХ. 1989. С. 50-54.

74. Кубышев В.А. Технологические основы интенсификации процесса сепарации зерна: дис. докт. техн. наук. Челябинск, 1968. 371 с.

75. Кубышев В.А., Тулькибаев М.А., Климок А.И., Кацева Р.З. Пути интенсификации процессов послеуборочной обработки зерна. В сб.: «Интенсификация процессов послеуборочной обработки зерна». Труды ЧИМЭСХ. Челябинск, 1974. Вып. 87. С. 6-12.

76. Кукибный, А.А. Метательные машины. М.: Машиностроение, 1964. 195 с.

77. Кукибный А.А. Механизация погрузки сыпучих грузов метанием. Механизация и автоматизация производства. № 10. 1977. С. 5-7.

78. Лебедев В.Б. Влияние различных видов механических повреждений зерна пшеницы на его посевные качества. Научные труды ЦИНТИ Госкомзага СССР. 1969. Вып. 6. С. 22-25.

79. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. С.В. Мельников, В.Р. Алёшкин, П.М. Рошин. Л.: Колос, 1980. 168 с.

80. Методика определения экономической эффективности новых сельскохозяйственных машин. ОНТИ, ВИСХОМ. М., 1969. 58 с.

81. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации. М., 1998. 219 с.

82. Методика определения оптовых цен на новые сельскохозяйственные машины. М.: Прейскурантгиз, 1979. 239 с.

83. Бабченко В.Д., Минаев В.Н. Очистка семян от трудноотделимых примесей. Селекция и семеноводство. 1973. № 5. С. 68-71.
84. Наумов И.А. Исследование прочности зерна при сжатии. Мукомольно-элеваторная промышленность. № 1. 1956. С. 16-19.
85. Несиков А.А., Филатов Н.А. Обоснование и исследование конусного решетчатого сепаратора для разделения семян по длине. Труды ЧИМЭСХ. Челябинск, 1974. Вып. 87. С.48-54.
86. Ньютон Г.В., Ньютон В.Г. Исследование эффективности классификации // Труды Московского дома ученых. – М., 1937. – Вып. 2. – С. 59-74.
87. Оробинский В.И. Получение полноценного зерна при послеуборочной обработке путем фракционной технологии очистки. Оробинский В.И., Гиевский А.М. Получение полноценного зерна при послеуборочной обработке путем фракционной технологии очистки. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2007. № 14. С. 136-146.
88. Пат. №2332267 РФ, МПК В65G31/04 В07В11/00 В07В1/08 Сепарирующий метатель сыпучих материалов. Цыбенков Ж.Б., Ямпилков С.С., Матуев А.А., Цыбенкова Л.Г., Хандакова Г.Ж. (RU ). 2015100908/11, Заявл.12.01.2015. Оpubл. 27.03.2016. Бюл. №9. Изобретения. 2016. №9.
89. Пат. на полезную модель № 145791 РФ, МПК7 В65 G 31/04, 31/02 Метатель сыпучих материалов. А.В. Асатурян, А.Ф. Бутенко (RU). 20141071553/11. Заявл. 25.02.2014. Оpubл: 27.09.2014. Бюл. №27. Изобретения. Полезные модели. 2014. №27.
90. Пат. № 2546755 РФ, МПК7 В65G31/02 В65G31/04 Метатель сыпучих материалов. А.В. Асатурян, А.Ф. Бутенко (RU). 2013157136/11, Заявл. 23.12.2013. Оpubл. 10.04.2015. Бюл. № 10. Изобретения. Полезные модели. 2015. №10.



91. Пикуза И.Ф. Теоретические основы методов сепарирования зерна. Учёные записки Казанского государственного ветеринарного ин-та им. Баумана. Йошкар-Ола: Марийское кн. изд-во, 1957. 320 с.
92. Попов А.А. Травмирование семян в результате трения. Механизация и электрификация с/х. № 11. 1980. С. 18-19.
93. Протокол 27-54 испытания веялки-зернопульта конструкции Борщёва. Сев. Кав-я гос. МИС. 1954.
94. Протокол № 24-38-80 гос. испытаний зернопогрузчика поворотного самопередвижного ЗПС-60. Сев. Кав. МИС. 1980.
95. Протокол № 59-74 контрольных испытаний зернопогрузчика ЗПС-60. Сев. Кав. МИС. 1974.
96. Птицын С.Д. Изменение качества семян под воздействием ударных нагрузок. Вестник с/х науки. № 8. 1963. С. 101-104.
97. Пугачёв А.Н. Повреждение зерна машинами. М.: Колос, 1976. 320 с.
98. Сводный доклад по результатам испытаний зернометателя самопередвижного производительностью 60 т/ч ЗМ-60. Зерноград, 1979.
99. Сельскохозяйственная техника. Каталог Т 1. Под редакцией академика ВАСХНИЛ В.И. Черноиванова. М.: Информагротех. 1991. 397 с.
100. Семена с/х культур. ГОСТ 12037-81. Методы определения чистоты и отхода семян.
101. Семена с/х культур. ГОСТ 12038-84. Методы определения всхожести.
102. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. М.: Колос, 1975. 496 с.
103. Стрикунов Н.И. Мобильная техника и технологии для послеуборочной обработки зерна и семян. Мобильные зерноочистительные машины: учебное пособие. Иванов Н.М., Леканов С.В., Стрикунов Н.И. РАСХН. Сиб. отд. СибИМЭ; научн. ред. Н.М. Иванов. Новосибирск, 2013. 326 с.

104. Стрикунов Н.И. К вопросу классификации способов предварительной подготовки зернового материала. Леканов С.В., Стрикунов Н.И., Черкашин С.А. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 4 (114). С. 142-148.

105. Тарасенко А.П. Влияние внешних нагрузок и физико-механических свойств семян на их травмирование и посевные качества. А.П. Тарасенко, И.А. Резниченко, В.И. Руденко, Н.В. Коноплин. Пути снижения травмирования семян с/х машинами и повышение их качества. Сб. научн. тр. Воронежского СХИ. 1983. С. 26-44.

106. Тарасенко А.П. Пути снижения травмирования зерна. Пути снижения травмирования семян с/х машинами и повышение их качества. Сб. научн. тр. Воронежского СХИ. 1983. С. 5-26.

107. Тарасенко А.П. Пути реконструкции и совершенствования зерноочистительных агрегатов. А.П. Тарасенко, М.Э. Мерчалова, Р.А. Тарасенко, А.Н. Кремнев, А.А. Гехтлан, Н.Н. Хабрат. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2001. - С. 34-35.

108. Тарасенко Р.А. Влияние количества механических воздействий на травмирование зерна. Сб. науч. тр. Воронежского госагроуниверситета. 2000. С. 31-35.

109. Тарасенко Р.А. Снижение травмирования семян путем совершенствования процесса их послеуборочной обработки: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2006. 124 с.

110. Тельманов Н.И. Исследование работы зернопульта: автореф. дис. канд. техн. наук. Челябинск, 1958. 22 с.

111. Терсков Г.Д. Расчет зерноуборочных машин. Москва -Свердловск: Машгиз, 1949. 206 с.

112. Тиц З.Л. Машины для послеуборочной поточной обработки семян. М.: Машиностроение, 1967. 447 с.

113. Ульрих Н.Н. Научные основы очистки и сортирования семян. М. Л. ВАСХНИЛ, 1937. 87 с.

114. Ульрих Н.Н. Новое в области очистки и сортирования семян. М.: Сельхозгиз, 1937. 69 с.
115. Ульрих Н.Н. Задачи и механические средства очистки и сортирования зерна. М.: Сельхозгиз, 1935. Т. 1. С. 83-132.
116. Урханов НА. Интенсификация послеуборочной обработки и очистки зерна от примесей по длине. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 1999. 320 с.
117. Урханов НА. Интенсификация технологического процесса очистки зерна от примесей по длине. Новосибирск, 1998. 43 с.
118. Хакимзянов, Р.Р. Теоретическое исследование параметров, определяющих производительность погрузчиков непрерывного действия буртованных грузов. Фундаментальные исследования. 2013. №10-1. С. 59-62.
119. Хакимзянов, Р.Р. Теоретическое исследование процесса взаимодействия барабанного питателя погрузчика непрерывного действия с зерном. Р.Р. Хакимзянов, С.С. Сизов. Депонированная рукопись № 72-В2011. 18.02.2011.
120. Ханхасаев Г.Ф. Интенсификация обработки зернового вороха зернометательными машинами на открытых площадках зернотоков хозяйств Сибири. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1995. 206 с.
121. Цыбенков Ж.Б. Обоснование основных параметров энергосберегающего сепаратора для очистки зерна с использованием сил гравитации: дис...канд.техн.наук. Улан-Удэ, 2005. 152 с.
122. Цыбенков Ж.Б., Ямпиров С.С., Балданов В.Б., Гылыкова С.Ж. Аналитическое описание движения зернового материала по очистительному устройству сепарирующего зернометателя. Вестник ВСГУТУ №2. 2020. С.31-35.
123. Цыбенков Ж.Б., Ямпиров С.С., Балданов В.Б., Гылыкова С.Ж. Дифференциальное уравнение движения частицы зернового материала в сепарирующем зернометателе. Вестник ВСГУТУ №2. 2022. С.56-61.

124. Цыбенков Ж.Б., Ямпиров С.С., Гылыкова С.Ж., Шуханов С.Н., Кузьмин А.В. Обоснование кинематических параметров сепарирующей зернометательной машины. Вестник БГСХА. Вып. №1. 2024, С.131-140.
125. Цыбенков Ж.Б., Ямпиров С.С., Балданов В.Б. Гылыкова С.Ж. Сепарирующий зернометатель с щелевидными рабочими органами. Материалы национальной научно-практической конференции «Образование и наука». Серия: Технологии и технические средства в АПК. Биомедицинская техника. Вып. 15. Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2021. С.9-11.
126. Чазов С.А. Микроповреждения зерна и методы их определения. С.А. Чазов, В.А. Фёдорова. Тр. Свердловского СХИ. 1972. Т. 26. С. 106-114.
127. Чазов С.А. Пути снижения травмирования семян. С.А. Чазов, В.Ф. Плаксин. Селекция и семеноводство № 4, 1969. С. 101-105.
128. Чазов С.А. Факторы, способствующие травмированию семян зерновых культур. Тр. Свердловского СХИ. 1972. Т.26. С. 101-105.
129. Шабанов Н.И., Бутенко А.Ф. Теоретические исследования процесса взаимодействия зерновки с лопаткой ротора. Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2004. №3. С. 108-111.
130. Штаерман И.Я. Контактная задача теории упругости. М.-Л.: Гостехиздат, 1949. 270 с.
131. Шуханов С.Н. Движение частиц зернового вороха по лопатке барабана порционного метателя. С.Н. Шуханов, Н.И. Овчинникова, А.Л. Токмакова. Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2014. № 2 (35). С. 76-80.
132. Шуханов С.Н. Обзор конструкций зернометательных машин. С.Н. Шуханов, А.Л. Токмакова. Вестник ИрГСХА. 2013. № 59. С. 111-115.
133. Шуханов С. Н. Совершенствование рабочего процесса зернометателей и зернопогрузчиков: дис. докт. техн. наук: Улан-Удэ, 2012. 285 с.
134. Ямпиров С.С., Цыбенков Ж.Б., Жигжитов А.О., Пашинова И.В., Гылыкова С.Ж. Исследование процесса разделения зернового материала в сепарирующем зернометателе. Вестник ВСГУТУ. №2. 2023. С. 57-64.

135. Ямпиров С.С., Цыбенков Ж.Б., Гылыкова С.Ж. Анализ теоретических исследований процесса взаимодействия зерновки с лопаткой метателя зерна. Научный альманах, N 2-3 (112). 2024. С. 76-80.

136. S.S. Yampilov, Zh.B. Tsybenov , S.Zh. Gylykova , L.O. Onkhonova and N.I. Moshkin. Separating grain thrower for processing grain material. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. To cite this article: S S Yampilov et al 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 839 052053 doi:10.1088/1755-1315/839/5/052053 (Scopus)

137. S.S. Yampilov, Zh.B. Tsybenov, S.Zh. Gylykova, V.B. Baldanov and N.I. Moshkin. Grain Separating and Throwing Machine in inline Grain Processing ETESD-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1112 (2022) 012071 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/1112/1/012071.

138. Trins H. Luftbewegung um dreschtrommel "Grundlagen der Landtechnik" 1999 Heft.6

139. Федеральная служба государственной статистики. Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации в 2022 году [Электронный ресурс] // <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата обращения: 11.03.2024).

140. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Бурятия. Статистический ежегодник 2023 года [Электронный ресурс] // [https://03.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/ege2023\\_17.pdf](https://03.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/ege2023_17.pdf) (дата обращения: 11.03.2024).

141. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Бурятия. Социально-экономическое положение Республики Бурятия Январь – декабрь 2023 года [Электронный ресурс] // [https://03.rosstat.gov.ru/storage/document/document\\_publication\\_plan/2024-02/09/01-01-01%2012.pdf?ysclid=lto9owy4z111928023](https://03.rosstat.gov.ru/storage/document/document_publication_plan/2024-02/09/01-01-01%2012.pdf?ysclid=lto9owy4z111928023) (дата обращения: 11.03.2024).

142. ФГБУ «Россельхозцентр» по Республике Бурятия. Увеличение засоренности посевов зерновых культур Республики Бурятия [Электронный

ресурс]<https://old.rosselhocenter.ru/index.php/stati-36?ysclid=luc63xhmzo178244864>

(дата обращения: 11.03.2024).

143. Пат. на полезную модель № 227398 РФ (51) МПК В07В 11/00 (2006.01) Метатель зерновых материалов. Ямпиров С.С., Цыбенков Ж.Б., Гылыкова С.Ж., Балданов В.Б., Хандакова Г.Ж. (RU) 2024116801/03(037699) Заявл. 19.06.2024. Оpubл. 18.07.2024.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

  
«Утверждаю»  
Проректор по НИИ ВСГУТУ  
Дм.В. Шалбуев  
2024 г.

«Утверждаю»  
Директор ООО «Куйтунское»  
Г.М. Мясников  
2024 г.  


**АКТ ВНЕДРЕНИЯ**  
научно-исследовательской работы  
«Обоснование основных параметров сепарирующего метателя зерна»

Комиссия в составе: представители ООО «Куйтунское»  
зав. зерноскладом Игумнова А.А.  
представители ВСГУТУ  
проф. Ямпилова С.С.  
преп. Гылыковой С.Ж.

Составили настоящий акт о том, что на зернопункте ООО «Куйтунское» Тарбагатайского района внедрен «Сепарирующий метатель зерна», для очистки зернового вороха от легкой, мелкой и крупной примесей.

I. В процессе внедрения выполнены следующие работы:

1. Исследованы физико-механические свойства компонентов зернового вороха.
2. Проведены лабораторные исследования процесса сепарации зернового вороха на сепарирующем метателе зерна.
3. Разработана проектно-техническая документация на изготовление сепарирующего метателя зерна.
4. Изготовлен сепарирующий метатель зерна для очистки зернового вороха от легкой, мелкой и крупной примесей.
5. Проведены лабораторно-полевые и хозяйственные испытания на первичной очистке вороха пшеницы.

II. Техничко-экономические показатели внедрения

В результате лабораторно-полевых и хозяйственных испытаний сепарирующего метателя зерна для первичной очистки зернового вороха (пшеницы) были получены следующие результаты, позволяющие судить об экономической эффективности использования сепарирующего метателя зерна:

производительность 9-11 т/ч;

зерновой ворох разделяется сепарирующим метателем зерна на 5 фракций:

очищенное зерно, составляющее более 84-89 % базисных кондиций;

зерно с легкими и мелкими примесями составляющие около 4-6 %;



зерно с крупными примесями составляющие 7-10 %;  
отходы (легкие и мелкие примеси);  
отходы (крупные примеси);  
полнота выделения легких и мелких примесей составляет более 90 %;  
полнота выделения крупных примесей – более 86 %.  
Фракции зерна с легкими, мелкими и крупными примесями были доработаны на зерноочистительных машинах агрегата до базисных кондиций. За период испытания обработано пшеницы более 20 т.  
Расчетная годовая экономическая эффективность от внедрения «Сепарирующего метателя зерна» в ООО «Куйтунское» составит более 50 тыс. рублей.

Использование сепарирующего метателя зерна с резиновыми покрытиями на лопастях позволяет снизить макроповреждения частиц зерна до 0,4 %.  
Анализ хозяйственных испытаний сепарирующего метателя зерна показал, что сепарирующий зернометатель показывает снижение влажности обрабатываемого зернового материала при однократном пропуске через машину в среднем 1,1-1,4 %

III. Предложение о дальнейшем внедрении работы.  
«Сепарирующий метатель зерна» для очистки зернового вороха от легкой, мелкой и крупной примесей может быть внедрен в крестьянских хозяйствах Республики Бурятия и соседних областях.

Представители ООО «Куйтунское»

Зав. зерноскладом

Игумнов А.А.

Представители ВСГУТУ

Научный руководитель, д.т.н., проф.

Ямпиллов С.С.

Преподаватель

Гылыкова С.Ж.



## А К Т

о хозяйственных испытаниях сепарирующего метателя зерна для очистки зернового вороха от легкой, мелкой и крупной примесей в ООО «Куйтунское» Тарбагатайского района Республики Бурятия

29.03-04.04.2024 г.



Зерновой материал, поступающий от зерноуборочных комбайнов, почти всегда требует дополнительной обработки и сушки. Чаще всего его убирают в неблагоприятную погоду. Для обработки зернового вороха и сушки ООО «Куйтунское» имеет зерноочистительный агрегат. Он имеет низкую производительность при обработке засоренного и влажного зерна. Это приводит к скоплению необработанного зерна на токах и оно может самосогреваться и плесневеть. Для уменьшения потерь зерна целесообразно зерновой ворох подвергать предварительной, а затем и первичной очистке с целью получения зерна базисных кондиций.

С этой целью был изготовлен и испытан «Сепарирующий метатель зерна» для очистки зернового вороха от легкой, мелкой и крупной примесей конструкции Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, лопасти барабана, которые имеют серповидную и приёмную части, первая из которых имеет на периферии закругленный конусообразный участок с радиусом кривизны  $r$ , установленная на угол наклона лопасти  $\alpha$  к начальному радиусу в противоположную сторону вращения на  $40^\circ$ , а приемная часть и серповидная часть имеют обрезиненную рабочую поверхность. Кроме того, цилиндрическая часть выпускного патрубка имеет обрезиненную поверхность.

Испытания показали:

1. Производительность сепарирующего метателя зерна с лопастями, которые имеют серповидную и приёмную части составила при влажности пшеницы (17,6 %) и засоренности (9-11%) 9-11 т/ч.
2. При обработке зернового вороха пшеницы сепарирующим метателем зерна за один пропуск снижается влажность в среднем на 1,1-1,4 %.
3. Сепарирующий метатель зерна удаляет свыше 90 % легкой и мелкой примесей и более 86 % крупной примеси, при этом получается более 84-89 % основного зерна (пшеницы) базисных кондиций и 4-6 % фракции зерна с легкой и мелкой примесями, а также 7-10 % зерна с крупной примесью.
4. Фракции зерна с легкой, мелкой и крупной примесями были доработаны на зерноочистительном агрегате до базисных кондиций.
5. За период испытания обработано пшеницы более 20 т. Использование сепарирующего метателя зерна позволяет сразу за одну технологическую операцию очистить основную часть зернового вороха (около 90 %) и довести его до базисных кондиций, а также одновременно снизить влажность зерна более чем на 1%.

6. Сепарирующий метатель зерна можно рекомендовать использовать как машину, работающую отдельно на зернопункте для очистки зерна от легкой, мелкой и крупной примесей для перелопачивания зернового материала, а также для погрузки зерна в машины.

7. Установлено, что использование сепарирующего метателя зерна с резиновыми покрытиями на лопастях, и лопасти барабана имеют серповидную и приёмную части, первая из которых установлена на угол наклона к начальному радиусу в противоположную сторону вращения на  $40^{\circ}$ , при обработке зерна – макроповреждение зерна составляет 0,4 %.

8. Расчетная экономическая эффективность от внедрения «Сепарирующего метателя зерна» в ООО «Куйтунское» составит более 50 тыс. руб.

9. По результатам испытаний «Сепарирующий метатель зерна», в котором установлены лопасти, состоящие из серповидной и приёмной частей, первая из которых установлена на угол наклона к начальному радиусу в противоположную сторону вращения на  $40^{\circ}$  и все лопасти обрезинены может быть рекомендован для внедрения в крестьянские хозяйства, СПК и другие предприятия Республики Бурятия и соседних областей.

Директор ООО «Куйтунское»

Гл. агроном

Зав. зерноскладом

Научный руководитель, д.т.н., проф.

Преподаватель



Мясников Г.М.

Мясников В.Г.

Игумнов А.А.

Ямпиров С.С.

Гылыкова С.Ж.



**АКТ ВНЕДРЕНИЯ**  
научно-исследовательской работы  
«Обоснование основных параметров сепарирующего метателя зерна»

Комиссия в составе: представители ООО «Наследие»  
генеральный директор Николаев А.Н.  
агроном Идамжапов А.Ц.  
представители ВСГУТУ  
проф. Ямпиров С.С.  
преп. Гылыкова С.Ж.

Составили настоящий акт о том, что на зерноскладе ООО «Наследие» внедрен «Сепарирующий метатель зерна», для очистки пшеницы от легкой, мелкой и крупной примесей.

I. В процессе внедрения выполнены следующие работы:

1. Проведены лабораторные исследования процесса сепарации зернового вороха на сепарирующем метателе зерна.
2. Изготовлен сепарирующий метатель зерна для очистки зернового вороха от легкой, мелкой и крупной примесей;
3. Сепарирующий метатель зерна использован для обработке зерна пшеницы при подготовке к посеву.

II. Техничко-экономические показатели внедрения

В результате производственных испытаний сепарирующего метателя зерна для первичной очистки пшеницы были получены следующие результаты, позволяющие судить об экономической эффективности использования сепарирующего метателя зерна:

производительность 9,0-10,5 т/ч;

зерновой ворох пшеницы разделяется сепарирующим метателем зерна на 5 фракций:

очищенное зерно, составляющее более 82-92 % базисных кондиций;

зерно с легкими и мелкими примесями составляющие около 5-12 %;

зерно с крупными примесями составляющие 3-6 %;

отходы (легкие и мелкие примеси);

отходы (крупные примеси);

полнота выделения легких и мелких примесей составляет 88-96 %;

полнота выделения крупных примесей – 84-92 %.

Фракции зерна с легкими, мелкими и крупными примесями были доработаны на других зерноочистительных машинах до базисных кондиций. За период испытания обработано зерновой материал (пшеница) более 25 т.

Расчетная годовая экономическая эффективность от внедрения «Сепарирующего метателя зерна» в ООО «Наследие» составит более 53 тыс. рублей.

Использование сепарирующего метателя зерна с резиновыми покрытиями на лопастях позволяет снизить макроповреждения частиц зерна до 0,37 % зерна.

Анализ производственных испытаний сепарирующего метателя зерна показал, что сепарирующий зернометатель показывает снижение влажности обрабатываемого зернового материала при однократном пропуске через машину в среднем 1,3 %.

### III. Предложение о дальнейшем внедрении работы.

«Сепарирующий метатель зерна» для очистки зерна от легкой, мелкой и крупной примесей может быть внедрен в малых крестьянских хозяйствах Республики Бурятия и соседних областях.

Представители ООО «Наследие»

генеральный директор

Николаев А.Н.

Главный агроном

Идамжапов

А.Ц.



Представители ВСГУТУ

Научный руководитель, проф.

Ямпиров С.С.

Преподаватель

Гылыкова С.Ж.



**АКТ ВНЕДРЕНИЯ**  
научно-исследовательской работы  
«Обоснование основных параметров сепарирующего метателя зерна»

Комиссия в составе: представители ООО «Сибирь Континент»  
генеральный директор Овчинников С.А.  
зав. Зерноскладом Максимчук А.В.  
представители ВСГУТУ  
проф. Ямпилова С.С.  
преп. Гылыковой С.Ж.

Составили настоящий акт о том, что на зернопункте ООО «Сибирь Континент» внедрен «Сепарирующий метатель зерна», для очистки зернового вороха от легкой, мелкой и крупной примесей.

I. В процессе внедрения выполнены следующие работы:

1. Проведены лабораторные исследования процесса сепарации зернового вороха на сепарирующем метателе зерна.
2. Разработана проектно-техническая документация на изготовление сепарирующего метателя зерна.
3. Изготовлен сепарирующий метатель зерна для очистки зернового вороха от легкой, мелкой и крупной примесей.
4. Проведены хозяйственные испытания на первичной очистке вороха пшеницы.

II. Техничко-экономические показатели внедрения

В результате хозяйственных испытаний сепарирующего метателя зерна для первичной очистки зернового вороха (пшеницы) были получены следующие результаты, позволяющие судить об экономической эффективности использования сепарирующего метателя зерна:

производительность 8,5-10,5 т/ч;

зерновой ворох разделяется сепарирующим метателем зерна на 5 фракций:

очищенное зерно, составляющее более 80-90 % базисных кондиций;

зерно с легкими и мелкими примесями составляющие около 5-6 %;

зерно с крупными примесями составляющие 4-5 %;

отходы (легкие и мелкие примеси);

отходы (крупные примеси);

полнота выделения легких и мелких примесей составляет 85-95 %;

полнота выделения крупных примесей – 86-90 %.

Фракции зерна с легкими, мелкими и крупными примесями были доработаны на зерноочистительных машинах агрегата до базисных кондиций. За период испытания обработано пшеницы более 30 т.

Расчетная годовая экономическая эффективность от внедрения «Сепарирующего метателя зерна» в ООО «Сибирь Континент» составит более 50 тыс. рублей.

Использование сепарирующего метателя зерна с резиновыми покрытиями на лопастях позволяет снизить макроповреждения частиц зерна до 0,35 % зерна. Анализ хозяйственных испытаний сепарирующего метателя зерна показал, что сепарирующий зернометатель показывает снижение влажности обрабатываемого зернового материала при однократном пропуске через машину в среднем 1,5 %.

III. Предложение о дальнейшем внедрении работы.

«Сепарирующий метатель зерна» для очистки зернового вороха от легкой, мелкой и крупной примесей может быть внедрен в крестьянских хозяйствах Республики Бурятия и соседних областях.

Представители ООО «Сибирь Континент»

Зав. Зерноскладом



Максимчук А.В.

Представители ВСГУТУ

Научный руководитель, д.т.н., проф.



Ямпиров С.С.

Преподаватель



Гылыкова С.Ж.

Распределение компонентов зернового материала по длине вылета частиц

№ пп	Угол наклона вып. патрубка, град.	Удел. подача, кг/сек	Частота вращения кольц.диска, об/мин	Компоненты зернового материала, примесь	Распределение компонентов (%) по секциям																		
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19					
1	45	2,7	260	легкая примесь	97	3																	
				мелкая примесь	3	73	19	5															
				пшеница			6	22	36	29	6	1											
				крупная примесь						1	11	25	33	20	9	1							
						300	легкая примесь	73	26	1													
							мелкая примесь		28	36	26	9	1										
							пшеница			1	4	51	28	10	2								
							крупная примесь							1	8	24	30	26	10	1			
						360	легкая примесь	30	69	1													
							мелкая примесь		5	43	50	2											
							пшеница					7	32	30	20	10	1						
							крупная примесь										3	30	34	22	10	1	



Распределение компонентов зернового материала по длине вылета частиц

№ пп	Частота вращения кольц. диска, об/мин	Удел. подача, кг/сек	Угол наклона выпускного патрубка, град.	Компоненты зернового материала, примесь	Распределение компонентов (%) по секциям																
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
1	360	2,7	30	легкая примесь	35	62	3														
				мелкая примесь	2	20	40	28	10												
				пшеница				5	27	30	25	10	3								
				крупная примесь								1	10	28	30	27	4				
			40	легкая примесь	10	28	53	9													
				мелкая примесь		7	34	40	18	1											
				пшеница				1	14	25	30	20	9	1							
				крупная примесь									2	13	32	30	20	3			
			45	легкая примесь	29	70	1														
				мелкая примесь		4	44	51	1												
				пшеница					5	26	30	20	11	3							
				крупная примесь											3	30	35	22	8	2	

## Приложение 5

Микротравмирование частиц зернового материала в зависимости от частоты вращения кольцевого диска

№ п/п	Удельная подача, кг/ с	Угол наклона выпускн. патрубка, град.	Частота вращения кольцевого диска, об/мин	Микротравмирование частиц зернового материала, %
1	2,7	45	260	1,1
2			300	1,3
3			330	1,5
4			360	1,95
5			390	2,45

Макроповреждение частиц зернового материала в зависимости от количества обработок

№ п/п	Удельная подача, кг/ с	Угол наклона выпускн. патрубка, град.	Частота вращения кольцевого диска, об/мин	Кол-во обработок	Макроповреждение частиц зернового материала, %
1	2,7	45	360	1	0,37
2				2	0,6
3				3	0,83
4				4	1,43

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

**№ 227398**

**Метатель зерновых материалов**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления" (RU)*

Авторы: *Ямпиров Сэнгэ Самбуевич (RU), Цыбенков Жаргал Борисович (RU), Гылыкова Сэлмэг Жаргаловна (RU), Балданов Вячеслав Баирович (RU), Хандакова Гэсэгма Жаргаловна (RU)*

Заявка № **2024116801**

Приоритет полезной модели **19 июня 2024 г.**

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **18 июля 2024 г.**

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает **19 июня 2034 г.**

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

*Ю.С. Зубов*



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
(РОСПАТЕНТ)**

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993. Телефон (8-499) 240-60-15. Факс (8-495) 531-63-18

На № - от -

Наш № 2024116801/03(037699)

*При перепечатке просим сослаться на номер заявки*

**Исходящая корреспонденция от  
05.07.2024**

ФГБОУ ВО "Восточно-Сибирский государственный  
университет технологий и управления", Сизов  
Игорь Геннадьевич  
ул. Ключевская, 40в, стр. 1  
г. Улан-Удэ  
Респ. Бурятия  
670013

**РЕШЕНИЕ**

**о выдаче патента на полезную модель**

(21) Заявка № 2024116801/03(037699)

(22) Дата подачи заявки 19.06.2024

В результате экспертизы заявки на полезную модель установлено, что заявленная полезная модель относится к объектам патентных прав, соответствует условиям патентоспособности, сущность заявленной полезной модели в документах заявки раскрыта с полнотой, достаточной для осуществления полезной модели, в связи с чем принято решение о выдаче патента на полезную модель.

Заключение по результатам экспертизы прилагается.

Приложение: на 4 л. в 1 экз.

Начальник Управления  
организации  
предоставления  
государственных услуг

Документ подписан электронной подписью  
Сведения о сертификате ЭП  
Сертификат  
0418DA81005EB00DA040076C1111D2C713  
Владелец Травников  
Дмитрий Владимирович  
Срок действия с 14.08.2023 по 14.08.2024

Д. В. Травников



**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРТИЗЫ**

(21) Заявка № 2024116801/03(037699)

(22) Дата подачи заявки 19.06.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента 19.06.2024

ПРИОРИТЕТ УСТАНОВЛЕН ПО ДАТЕ

(22) подачи заявки 19.06.2024

(72) Автор(ы) Ямпилов Сэнгэ Самбуевич, Цыбенов Жаргал Борисович, Гылыкова Сэлмэг Жаргаловна, Балданов Вячеслав Банрович, Хандакова Гэсэгма Жаргаловна, RU

(73) Патентообладатель(и) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления", RU

(54) Название полезной модели Метатель зерновых материалов

(см. на обороте)

01	1	030507
----	---	--------

**ВНИМАНИЕ!** С целью исключения ошибок просьба проверить сведения, приведенные в заключении, т.к. они без изменения будут внесены в Государственный реестр полезных моделей Российской Федерации, и незамедлительно сообщить об обнаруженных ошибках.

Адрес для переписки с патентообладателем или его представителем, который будет опубликован в официальном бюллетене

указан на лицевой стороне бланка решения

Адрес для направления патента

указан на лицевой стороне бланка решения

В результате экспертизы заявки по существу, проведенной в соответствии со статьей 1390 Гражданского кодекса Российской Федерации, введенного в действие Федеральным законом от 12 марта 2014 г. № 35-ФЗ (далее - Кодекс), в отношении первоначальной формулы полезной модели установлено соответствие заявленной полезной модели требованиям статьи 1349 Кодекса, условиям патентоспособности, установленным статьей 1351 Кодекса, и соответствие документов заявки требованию достаточности раскрытия сущности полезной модели, установленному пунктом 2 статьи 1376 Кодекса.

Формула полезной модели приведена на странице(ах) 3.

(21) 2024116801/03

(51) МПК

*B07B 11/00* (2006.01)

*B65G 31/04* (2006.01)

(57)

Метатель зерновых материалов, включающий барабан, состоящий из приемного и несущего кольцевых дисков, закрепленных между ними лопастей, выполненных из двух соединенных между собой серповидной и приемной частей, первая из которых имеет на периферии закругленный конусообразный участок с радиусом кривизны  $r$ , а приемная часть имеет обрезиненную рабочую поверхность, на периферии несущего кольцевого диска барабана установлен конусообразный обод, охватывающий концы лопастей барабана, образующий зазор шириной  $H$  с периферией приемного кольцевого диска, при этом барабан приемной стороной с зазором шириной  $H$  расположен в цилиндрической части выпускного патрубка, а несущей стороной с конусообразным ободом – вне выпускного патрубка, отличающийся тем, что серповидная часть лопасти имеет обрезиненную рабочую поверхность и установлена на угол наклона лопасти  $\alpha$  к начальному радиусу в противоположную сторону вращения на  $30^\circ$ - $40^\circ$ , при этом цилиндрическая часть выпускного патрубка имеет обрезиненную поверхность.

(56) RU 2332267 C1, 27.08.2008;

RU 2578918 C1, 27.03.2016;

RU 2021427 C1, 15.10.1994;

RU 206866 U1, 30.09.2021;

RU 2440859 C1, 27.01.2012;

US 4597491 A, 01.07.1986.

Приложение: 1. Извещение об уплате патентных пошлин на 2 л. в 1 экз.

*Электронный охраняемый документ (патент или свидетельство) будет доступен по нижеуказанной ссылке после регистрации объекта интеллектуальной собственности в соответствующем государственном реестре:*

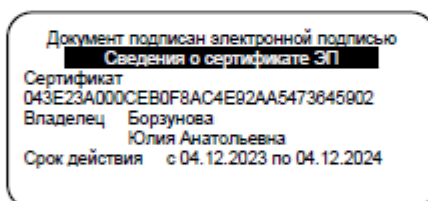
<https://fips.ru/EGD/#6586986-1ac3-4c40-96e9-3491caac1805>

*Для доступа следует:*

*" если ссылка получена на бумажном носителе, ввести ссылку вручную с использованием клавиатуры в адресную строку интернет-браузера и инициировать клавишу «Ввод»;*

*" если ссылка получена в электронной форме, инициировать ссылку указателем мыши либо скопировать ее, вставить в адресную строку интернет-браузера и инициировать клавишу «Ввод».*

Ведущий  
государственный  
эксперт по  
интеллектуальной  
собственности отдела  
горного дела,  
строительства и легкой  
промышленности  
ФИПС



Ю. А. Борзунова  
8(499)240-64-97